

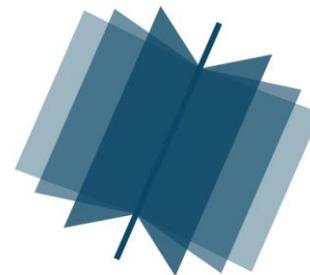
№ 11 (77) ▪ 2018
Часть 1 ▪ Ноябрь

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

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

Екатеринбург
2018



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: 620075, г. Екатеринбург, ул.
Красноармейская, д. 4, корп. А, оф. 17.
Электронная почта: editors@research-journal.org
Сайт: www.research-journal.org
16+

**№ 11 (77) 2018
Часть 1
Ноябрь**

Дата выхода 19.11.2018.
Подписано в печать 19.11.2018.
Тираж 900 экз.
Цена: бесплатно.
Заказ 28290.
Отпечатано с готового оригинал-макета.
Отпечатано в типографии ООО "Компания ПОЛИГРАФИСТ",
623701, г. Березовский, ул. Театральная, дом № 1, оф. 88.

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

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

Члены редколлегии:

Филологические науки:

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

Технические науки:

Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (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);
Свицунов Ю.А. д-р физ.-мат. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Географические науки:

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

Биологические науки:

Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия);
Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского (Саратов, Россия);
Еськов Е.К. д-р биол. наук, проф., Российский государственный аграрный заочный университет (Балашиха, Россия);
Шеуджен А.Х. д-р биол. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Ларионов М.В. д-р биол. наук, профессор, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия).

Архитектура:

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

Ветеринарные науки:

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

Медицинские науки:

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

Исторические науки:

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

Культурология:

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

Искусствоведение:

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

Философские науки:

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

Юридические науки:

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

Сельскохозяйственные науки:

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

Социологические науки:

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

Химические науки:

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

Науки о Земле:

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

Экономические науки:

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

Политические науки:

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

Фармацевтические науки:

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА РИДБЕРГОВСКИЕ nD -СОСТОЯНИЯ ХОЛОДНЫХ АТОМОВ ЛИТИЯ

Бронин С.Я., Бобров А.А., Фомичев Д.Е., Саакян С.А., Саутенков В.А., Зеленер Б.Б., Зеленер Б.В. 8

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ПЕРВОГО РОДА В ГАЗЕ РЕЗОНАНСНО ВОЗБУЖДЕННЫХ РИДБЕРГОВСКИХ АТОМОВ

Бронин С.Я., Зеленер Б.Б., Зеленер Б.В., Клярфельд А.Б. 15

ИНТЕГРИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА ДЛЯ 2D ДВИЖЕНИЯ СЖИМАЕМОЙ СРЕДЫ

Коптев А.В., Войтко И.В. 21

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

ТЕРМОДИФфуЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ГИДРООБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ

Александров В.А., Кудряшов Б.А. 27

ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА УНИВЕРСИТЕТА

Андреева А.А. 34

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ВО ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ЗАПОРНЫХ ЗАДВИЖЕК

Асланов Д.Н., Гусейнли З.С. 38

УПРОЩЕННЫЙ И ДОСТОВЕРНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАНА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В БИОГАЗЕ

Дибиров Я.А., Дибиров К.Я. 42

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РФ

Зыков А.В., Юнин В.А., Захаров А.М. 47

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ И РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ, ХРАНЕНИЮ И РЕАЛИЗАЦИИ КАРТОФЕЛЯ

Зыков А.В., Юнин В.А., Захаров А.М. 51

РАЗРАБОТКА БЛОКА ПАРОКОМПРЕССОРА ДЛЯ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Горшкалев А.А., Корнеев С.С., Урлапкин В.В., Шиманов А.А. 57

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСТИЛЛЯЦИОННОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Благин Е.В., Горшкалев А.А., Корнеев С.С., Урлапкин В.В. 63

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ СИЛ ПУЧЕНИЯ ПРИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСЕ В ОКРЕСТНОСТИ ОДИНОЧНОЙ СВАИ

Попов В.И. 70

О СООТВЕТСТВИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ ФЕРРИТА И ФЕРРИТНОГО ЧИСЛА В АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЯХ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ РОССИЙСКИМИ ФЕРРИТОМЕТРАМИ

Ригмант М.Б., Корх М.К. 74

ОРГАНИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Якубайлик О.Э., Павличенко Е.А., Ромасько В.Ю. 79

ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Якубайлик О.Э., Кадочников А.А., Токарев А.В. 82

НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЯ И ЖЕЛЕЗА В ПОЧВАХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ХИБИН И ЛОВОЗЁРСКИХ ТУНДР

Семенов В.А., Козаренко А.Е.	86
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЗОЛОТВАЛА ЧИТИНСКОЙ ТЭЦ-1	
Усманова Л.И., Усманов М.Т.	91

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / GEOLOGY AND MINERALOGY

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЖАМГЫР (ЗАПАДНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)	
Ревинский Ю.А.	96
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД ТЕХНОГЕННЫХ ВОДОЕМОВ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ	
Чечель Л.П.	100
ТИПОМОРФНЫЕ ПРИЗНАКИ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАРАЖЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ	
Шумилова Т.Г.	104

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СОХРАНЕНИЯ КОЛЛЕКЦИИ И ОСОБЕННОСТИ АГРОТЕХНИКИ ТЮЛЬПАНОВ БЕЗ ЕЖЕГОДНОЙ ВЫКОПКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЛЕТНЕГО ОПЫТА	
Данилина Н.Н., Семенова М.В., Енина О.Л.	109
БИОХИМИЧЕСКИЙ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РОДА <i>ABRAMIS</i> (<i>CYPRINIFORMES</i>, <i>CYPRINIDAE</i>)	
Карнаухов Г.И.	120
СОСНОВЫЕ ЛЕСА НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЧИКОЙ» В БАССЕЙНЕ РЕКИ АЦА	
Макаров В.П., Пак Л.Н., Малых О.Ф.	123
СВОЙСТВА ПОЧВ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ТЕХНОГЕННЫХ КАТЕН ПРИМОРСКОГО КРАЯ (НА ПРИМЕРЕ ОТВАЛОВ УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА «ПАВЛОВСКИЙ»)	
Полохин О.В.	129
ПСИХРОТОЛЕРАНТНЫЕ БАКТЕРИИ ПОЧВ МОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ПРИМОРСКОГО КРАЯ	
Сидоренко М.Л., Бойко А.Н., Слепцова Н.А., Сидоренко В.А.	132
ПОЛУЧЕНИЕ ДЕЛЕЦИОННЫХ МУТАНТОВ <i>BACILLUS PUMILUS</i> ПО ГЕНАМ ПРОТЕИНАЗ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ CRISPR-CAS9	
Тойменцева А.А., Альтенбухнер Дж.	136
ВЛИЯНИЕ ГЕТЕРОАУКСИНА И ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ ПОСЛЕ ИХ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ	
Сафина Г.Ф., Филипенко Г.И.	143
ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФЕНОЛОГИЮ ЖУКА КАЗАРКИ <i>RHYNCHITES VACCHUS L. 1758</i> В УСЛОВИЯХ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ	
Хуламханов И.М., Хуламханов С.М.	148
ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СМОРОДИННОЙ ЛИСТОВЕРТКИ <i>PANDEMIS CERASANA (RIBEANA) HBK. 1786</i> В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ	
Хуламханов И.М., Хуламханов С.М.	152

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ТЕТРАСУЛЬФОФТАЛОЦИАНИНА КОБАЛЬТА И МОДИФИЦИРОВАННОГО МОНТМОРИЛЛОНИТА	
Коваленко О.Н., Хрустова К.А.	157

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ / MEDICINE

ПСЕВДОАККОМОДАЦИЯ У БОЛЬНЫХ ДВУСТОРОННЕЙ АРТИФАКИЕЙ	
Малов В.М., Стебнев В.С., Малов И.В., Стебнев С.Д., Карлова Е.В., Павлова О.В., Ерошевская Е.Б.	163
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УЩЕРБ ПОСЛЕДСТВИЯ ГНОЙНО-СЕПТИЧЕСКИХ НОЗОКОМИАЛЬНЫХ КАРДИОХИРУРГИЧЕСКИХ ИНФЕКЦИЙ	

Настас А.Ф.....	166
ВЛИЯНИЕ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ВЕТРЯНОЙ ОСПОЙ В РЕСПУБЛИКЕ МОЛДОВА	
ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЕКТИВНОЙ ПЛАЗМОСОРБЦИИ И ПЛАЗМООБМЕНА ПРИ ПЕЧЁНОЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ У БОЛЬНЫХ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ЖЕЛТУХОЙ	
Титова Г.В., Фомин А.М.....	178

ВЕТЕРИНАРНЫЕ НАУКИ / VETERINARY SCIENCE

НЕМАТОДОЗЫ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА У ЛОШАДЕЙ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ И ВЫЗЫВАЕМЫЙ ИМИ УЩЕРБ	
Дашинимаев Б.Ц., Боярова Л.И.	187
РЕЗУЛЬТАТЫ ДОКЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НОВОГО РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ОСТРЫХ РАССТРОЙСТВ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА ПОРОСЯТ	
Савельева Л.Н., Бондарчук М.Л., Куделко А.А.....	191

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.001>**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА РИДБЕРГОВСКИЕ nD -СОСТОЯНИЯ ХОЛОДНЫХ АТОМОВ ЛИТИЯ**

Научная статья

Бронин С.Я.¹, Бобров А.А.^{2,*}, Фомичев Д.Е.³, Саакян С.А.⁴, Саутенков В.А.⁵, Зеленер Б.Б.⁶, Зеленер Б.В.⁷^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Объединенный институт высоких температур Сибирского отделения Российской академии наук, Москва, Россия;⁵ Физический институт им. Н. П. Лебедева Сибирского отделения Российской академии наук, Москва, Россия;⁶ Национальный исследовательский университет — Московский энергетический институт, Москва, Россия;⁶ Национальный исследовательский университет — Московский инженерно-физический институт, Москва, Россия

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

Аннотация

В работе исследуется влияние слабого электрического поля на когерентный двухфотонный резонанс $2S-nD$ методом регистрации падения флюоресценции атомов Li в магнитооптической ловушке. В экспериментах наблюдалось, что под действием слабого нескомпенсированного электрического поля отдельная линия за счет эффекта Штарка превращается в полосу. При этом ширина полосы растет с ростом значения главного квантового числа n (или величины электрического поля). Показано, что резонансное излучение, настроенное на левый или правый край полосы, позволяет получить газ ридберговских атомов с постоянным большим дипольным моментом $d \sim ea_0 n^2$, ориентированным соответственно вдоль или против поля. Излучение, настроенное в центр полосы позволит получить атомные состояния с нулевым дипольным моментом, но с большим вкладом состояний с максимальным значением орбитального квантового числа $l \sim n$.

Ключевые слова: эффект Штарка, ридберговские атомы.**INFLUENCE OF ELECTRIC FIELD ON RYDBERG nD -STATES OF COLD LITHIUM ATOMS**

Research article

Bronin S.Ya.¹, Bobrov A.A.^{2,*}, Fomichev D.E.³, Saakyan S.A.⁴, Sautenkov V.A.⁵, Zelener B.B.⁶, Zelener B.V.⁷^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Joint Institute for High Temperatures RAS, Moscow, Russia;⁵ P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;⁶ National Research University – Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia;⁶ National Research University – Moscow Engineering Physics Institute, Moscow, Russia

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

Abstract

The effect of the weak electric field on the coherent two-photon resonance $2S-nD$ is considered in the work by means of recording the fluorescence incidence of Li atoms in the magneto-optical trap. In the course of experiments, it was observed that a separate line is transformed into a band due to the Stark effect under the effect of the weak uncompensated electric field. In this case, the width of the band increases with the increase of the value of the principal quantum n number (or the value of the electric field). It is shown that resonant radiation tuned to the left or right edge of the line allows obtaining gas of Rydberg atoms with a constant large dipole moment $d \sim ea_0 n^2$ oriented along or against the field, respectively. The radiation tuned to the center of the band will allow obtaining atomic states with a zero dipole moment but with a large contribution of states with a maximum value of the orbital quantum number $l \sim n$.

Keywords: Stark effect, Rydberg atoms.**Введение**

Ридберговские атомы очень чувствительны к внешним электрическим и магнитным полям. В большинстве экспериментов существенный вклад в ширину наблюдаемых ридберговских переходов дают нескомпенсированные паразитные электрические поля. Чувствительность ридберговских атомов к полю растет очень быстро с ростом главного квантового числа как n^7 .

В работе [1] поле было уменьшено до 45 мкВ/см, что позволило наблюдать ридберговские состояния бария с $n=520$. В работе [2] ридберговские состояния использовались для измерения слабых электрических полей и была достигнута точность порядка 20 мкВ/см. В реальных экспериментальных условиях полностью компенсировать электрические поля практически невозможно. Измерительная аппаратура и системы регистрации заряженных частиц являются потенциальными источниками электрического поля. Исследуемые атомы могут осаждаться в виде пленок на элементах системы регистрации и создавать контактную разность потенциалов [3]. При этом остаточное электрическое поле может приводить к возбуждению ридберговских состояний, с большим орбитальным квантовым числом l . Состояния с большим l (водородоподобные состояния) [4] имеют большой дипольный момент.

В данной работе экспериментально, по падению резонансной флуоресценции нейтральных атомов лития-7 в магнито-оптической ловушке (МОЛ) [5], [6], изучалось влияние не скомпенсированного электрического поля на ширину ридберговских резонансов $49D$, $59D$, $70D$, и $82D$. Были сделаны квантово-механические расчеты для исследуемых ридберговских состояний с учетом эффекта Штарка в рамках теории возмущений. Получено хорошее согласие с экспериментальными результатами для всех рассматриваемых ридберговских состояний при подстановке в

уравнения значения поля $E = 12$ мВ/см. Близкое значение поля было получено нами ранее другим способом [7]. Показано также, что при наличии даже слабого электрического поля резонансное излучение, настроенное на левый или правый край полосы, позволяет получить газ ридберговских атомов с постоянным большим дипольным моментом ориентированным соответственно вдоль или против поля.

Эксперимент

Все описанные в данной работе эксперименты проводились в МОЛ для атомов лития, подробное описание которой можно найти в работах [5], [6], [7].

Для лазерного охлаждения и захвата в МОЛ атомов лития используется два лазера с длиной волны 671 нм. Первый охлаждающий лазер I_c стабилизирован на частоте перехода $2S_{1/2}(F=2) - 2P_{3/2}(F'=3)$. Второй охлаждающий лазер I_{op} стабилизирован на частоте перехода $2S_{1/2}(F=1) - 2P_{3/2}(F'=3)$. В каждом из шести пучков, формирующих МОЛ, соблюдается отношение интенсивностей $I_c/I_{tot} = 0.7$ и $I_{op}/I_{tot} = 0.3$ ($I_{tot} = I_{op} + I_c$). Суммарная интенсивность пучков МОЛ $I_{tot} = 72$ мВт/см².

Двухфотонные резонансы в ридберговские состояния возбуждаются двумя встречными лазерными пучками \vec{k}_{671} и \vec{k}_{350} (Рис. 1(б)) для уменьшения доплеровского уширения. Лазерный пучок \vec{k}_{671} формируется охлаждающим лазером стабилизированным на переходе $2S_{1/2}(F=2) - 2P_{3/2}(F'=3)$ и отстроено от перехода $2P_{3/2}(F'=3)$ на частоту $\Delta = 593$ МГц в красную сторону. Пучок \vec{k}_{350} является результатом удвоения частоты титан-сапфирового лазера, который стабилизировался на высокочастотном интерферометре Фабри-Перо методом PDH [8]. Интенсивность УФ-пучка \vec{k}_{350} во всех экспериментах не превышала 3 мВт/см². Резонансы в ридберговские состояния регистрировались по падению резонансной флуоресценции нейтральных атомов лития в МОЛ [6].

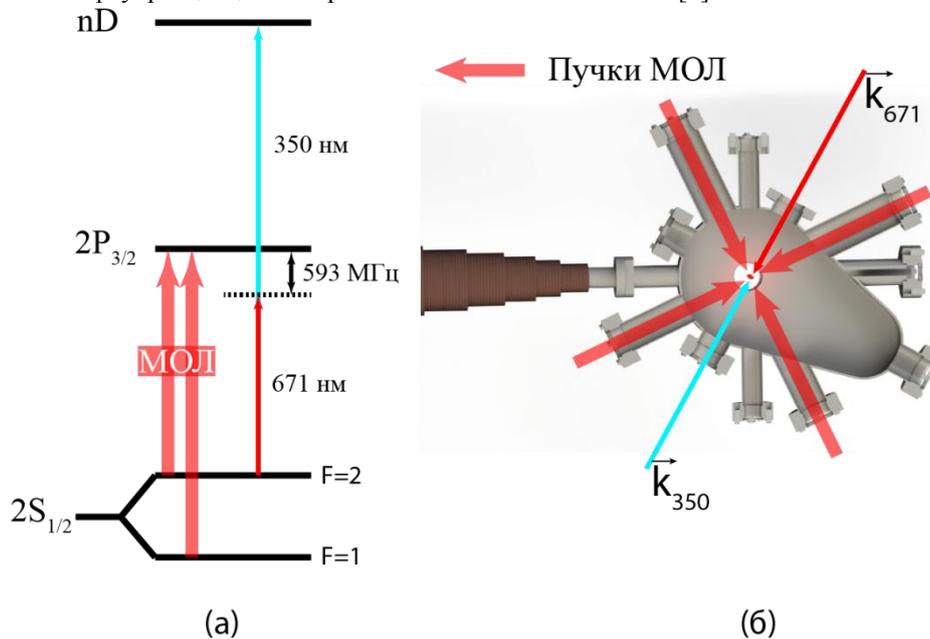
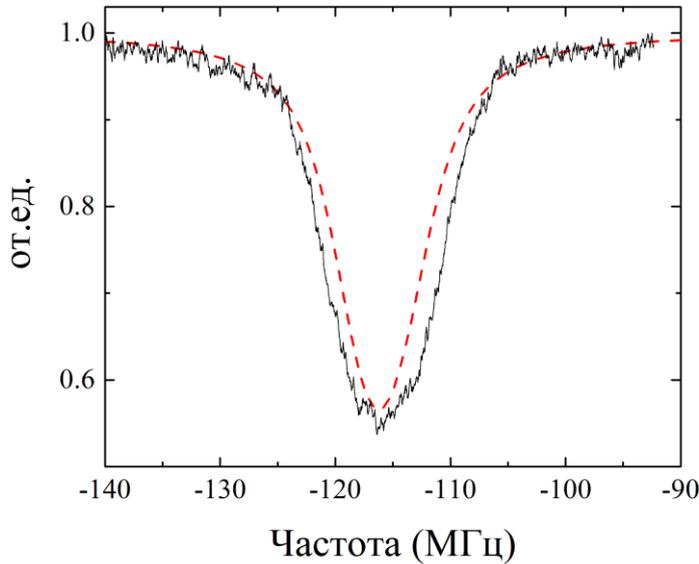


Рис. 1 – Диаграмма уровней ⁷Li (а) и принципиальная схема эксперимента (б)

Форма резонансных спектральных линий для всех n определяется совместным действием неоднородного доплеровского (гауссова) и однородного (лоренцева) уширения, обусловленного в основном уширением полем пучков МОЛ. Во всех экспериментах температура атомов была порядка 0.6 мК, при этой температуре доплеровская полуширина составляет 1,8 МГц. Суммарная интенсивность пучков МОЛ 72 мВт/см², что соответствует лоренцевой полуширине порядка 2,8 МГц. Подробное исследование влияния интенсивности пучков МОЛ на ширину двухфотонных ридберговских резонансов можно найти в работе [9]. Суммарная полуширина линий красного и УФ-лазера (на рис. 1(б) \vec{k}_{671} и \vec{k}_{350} соответственно) составляла порядка 0.2 МГц [10].

На рис. 2 показан спектральный профиль когерентного двухфотонного резонанса $2S - 2P - 49D$. Здесь сдвиг и расщепление перехода $2P - 49D$ за счет действия электрического поля незначительны по сравнению с шириной наблюдаемого резонанса. Расчетный резонанс представлен в виде свертки функций Лоренца и Гаусса (профиль Фойгта), отношение полевого


 Рис. 2 – Форма линии двухфотонного когерентного перехода $2S - 2P - 49D$:

Черная сплошная линия – экспериментальные данные; красная пунктирная линия представляет результат расчетов уширения к доплеровскому составляет 1.5.

Ширина наблюдаемых резонансов увеличивалась с ростом значения главного квантового числа n . Для описания этого уширения необходимо учитывать расщепление состояний nD за счет эффекта Штарка. В части 3 настоящей работы рассмотрен эффект Штарка и в части 4 производится сравнение полученных экспериментальных данных с расчетами.

Теоретическая модель штарковского расщепления

В отсутствие электрического поля спектр поглощения в интервале между двумя соседними водородными уровнями представлен двумя спектральными линиями $2P_{3/2} - nD$ и $2P_{3/2} - nS$. С появлением электрического поля процесс поглощения, благодаря эффекту Штарка, начинают вовлекаться $5(n-3)$ уровня со значениями орбитального числа $l > 2$ и магнитными квантовыми числами $m = 0, \pm 1, \pm 2$. Связано это с тем, что в разложении каждого штарковского состояния по невозмущенным собственным состояниям присутствует компонента nD , благодаря чему каждое такое состояние связано с уровнем $2P_{3/2}$ дипольным матричным элементом, делающим возможным резонансный переход в это состояние. В результате с ростом напряженности поля одиночная спектральная линия превращается в полосу, состоящую из $5(n-2)$ линий. Формирующие эти полосы уровни попарно связаны друг с другом матричными элементами

$$V_{n,l,m} = \langle n, l, m | \mathbf{E} \mathbf{d} | n, l+1, m \rangle = E e r_{nl} \xi_{l,m},$$

где радиус атома r_{nl} рассчитывается с использованием квазиклассического приближения, $\xi_{l,m} = \xi_{l,-m}$, $\xi_{l,m} = \int_{-1}^1 \Theta_{l,m}^*(t) t \Theta_{l+1,m}(t) dt$, где $Y_{l,m}(\vartheta, \varphi) = \Theta_{l,m}(\cos \vartheta) \exp(im\varphi) / \sqrt{2\pi}$, $\Theta_{l,m}(\cos \vartheta)$ – множитель разложения сферической функции $Y_{l,m}(\vartheta, \varphi)$, $\xi_{l,m} \rightarrow 1/2$, при $l \rightarrow \infty$.

Дефект уровня nD равен $\delta_2 = 0.002$, дефектами остальных уровней можно пренебречь так, что в невозмущенной системе уровни энергии представлены двумя значениями:

$$E_0 = -R_y / (n - 0.002)^2, \quad l = 2,$$

и энергией n -го водородного уровня

$$E_1 = -R_y / n^2, \quad l = 3, 4, \dots, n-1,$$

расстояние между которыми равно

$$\varepsilon_0 = E_1 - E_0 \approx 2R_y \delta_2 / n^3.$$

При не слишком больших значениях поля E , когда влиянием уровня nP можно пренебречь, возмущенные уровни энергии и соответствующие им состояния являются собственными значениями и собственными функциями матричного оператора $H = H_0 + V$ с размерностью $(n-2) \times (n-2)$. Около диагональные элементы матрицы $H_{i,j}$ равны: $H_{1,1} = -\varepsilon_0$, $H_{i,i} = 0$, $H_{i,i+1} = V_{n,i+1,m}$, $H_{i+1,i} = V_{n,i,m}^*$, $i = 1, 2, \dots, n-2$. При малых значениях поля E имеет место квадратичный Штарк-эффект, при больших – линейный. Граничным значением поля E_{St} является его величина, при которой $E_{St} 3e a_0 n^2 / 2 = \varepsilon_0$ и $E_{St} = 2e \delta_2 / 3a_0^2 n^5$.

Собственные значения энергии $\varepsilon_k = E_{n,m}^{(k)} - E_0$, $k = 1, 2, \dots, n-2$ определяются численным решением уравнения $\det |H_{i,j} - \varepsilon \delta_{i,j}| = 0$. По известным значениям $\varepsilon_k(n, m)$ коэффициенты разложения собственных функций по функциям невозмущенной системы $|\Psi^{(k)}\rangle = \sum_{l=2}^{n-1} C_l^{(k)}(n, m) |n, l, m\rangle$ определяются из системы уравнений:

$$\begin{aligned}
 & -(\varepsilon_k + \varepsilon_0)C_2^{(k)} + V_{n,2,m}C_3^{(k)} = 0 \\
 & V_{n,2,m}^*C_2^{(k)} - \varepsilon_k C_3^{(k)} + V_{n,3,m}C_4^{(k)} = 0 \\
 & \dots \\
 & V_{n,l-1,m}^*C_{l-1}^{(k)} - \varepsilon_k C_l^{(k)} + V_{n,l,m}C_{l+1}^{(k)} = 0 \\
 & \dots \\
 & V_{n,n-2,m}^*C_{n-2}^{(k)} - \varepsilon_k C_{n-1}^{(k)} = 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

Ширина полосы $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{n-2} - \varepsilon_1$ при $E > E_{St}$ также, как и для водорода дается равенством $\Delta\varepsilon \approx 2\varepsilon_0 E/E_{St} = 3ea_0 n^2 E$. Поскольку в каждом из $n-2$ собственных состояний присутствует состояние $|n, 2, m\rangle$ с некоторым коэффициентом $C_2^{(k)}(n, m)$, то каждое из них связано с состоянием $2P_{3/2}$ с силой осциллятора пропорциональной $|C_2^{(k)}|^2$, причем $\sum_k |C_2^{(k)}|^2 = 1$. По этой причине отдельная линия с фиксированным значением магнитного числа при включении поля превращается в полосу, состоящую из $n-2$ линий с той же суммарной силой осциллятора и шириной пропорциональной величине электрического поля при $E > E_{St}$.

Собственные состояния $|\Psi^{(k)}\rangle$, в отличие от состояний $|n, l, m\rangle$, имеют отличные от 0 средние значения $d^{(k)}$, проекции дипольного момента на направление поля:

$$d^{(k)}E = \langle \Psi_k | dE | \Psi_k \rangle = E \sum_{l=2}^{n-2} (C_l^{(k)*} C_{l+1}^{(k)} d_{l,l+1} + C_{l+1}^{(k)*} C_l^{(k)} d_{l+1,l}),$$

где $d_{l,l+1} = \langle n, l, m | d_z | n, l+1, m \rangle = V_{n,l,m}/E$.

Умножая каждое уравнение (1) на $C_l^{(k)*}$ и суммируя, получим:

$$d^{(k)}E = (\varepsilon_k + \varepsilon_0)|C_2^{(k)}|^2 + \varepsilon_k \sum_{l=3}^{n-1} |C_l^{(k)}|^2 = (\varepsilon_k + \varepsilon_0)|C_2^{(k)}|^2 + \varepsilon_k(1 - |C_2^{(k)}|^2) = \varepsilon_k + \varepsilon_0|C_2^{(k)}|^2 \tag{2}$$

При малых E/E_{St} правая часть (2) пропорциональна квадрату E и $d^{(k)} \sim E$, при больших E/E_{St} она пропорциональна E и среднее значение дипольного момента не зависит от E . Сумма по k всех значений $d^{(k)}$ всегда равна 0, в чем можно убедиться просуммировав (2):

$$\sum_{k=1}^{n-2} d^{(k)}E = \sum_{k=1}^{n-2} \varepsilon_k + \varepsilon_0 \sum_{k=1}^{n-2} |C_2^{(k)}|^2 \tag{3}$$

Первая сумма в правой части (3) равна спуту оператора H ($SpH = -\varepsilon_0$), вторая сумма равна единице, поскольку величины $C_l^{(k)}$ являются коэффициентами разложения состояний $|n, l, m\rangle$ по ортонормированной системе функций $|\Psi^k\rangle$. Окончательно имеем $\sum_{k=1}^{n-2} d^{(k)} = 0$.

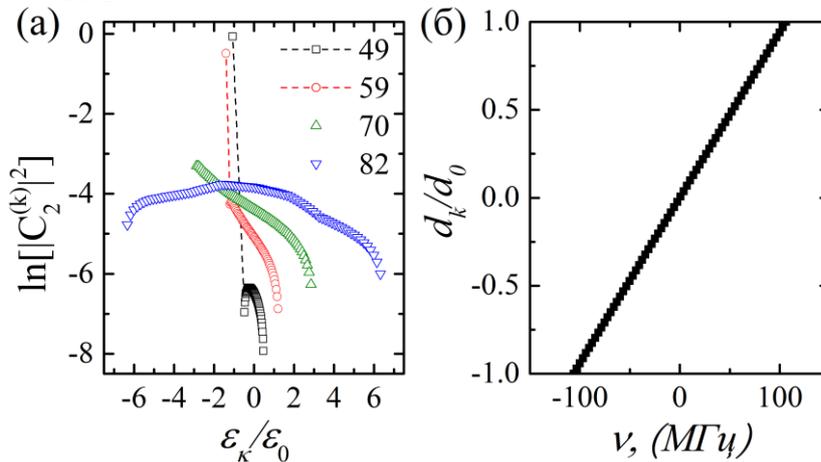


Рис. 3 – (а) Значения $|C_2^{(k)}(n, 0)|^2$ в разложении k -й шарковской компоненты по сферическим функциям в зависимости от энергии шарковского уровня $\varepsilon_k/|\varepsilon_0|$ (энергия отсчитывается от n -го водородного уровня, ε_0 – энергия уровня $|n, 2, m\rangle$) для $n=49, 59, 70, 82$ и $E = 12$ мВ/см. (б) Дипольный момент ридберговских атомов, нормированный на его максимальное значение d_0 ($d_0 = 3ea_0 n^2/2$) как функция частоты резонансного поглощения, $n = 70, E = 12$ мВ/см

На рис. 3 (а) представлены величины $|C_2^{(k)}(n, 0)|^2$ в зависимости от энергии шарковских уровней, отсчитываемой от n -го водородного уровня, для $n = 49, 59, 70, 82, m = 0$ и $E = 12$ мВ/см. Значения отношения E/E_{St} равны соответственно: 0.49, 1.24, 2.92 и 6.45. При $n = 49$ и 59 с малыми значениями отношения E/E_{St} , доминируют коэффициенты $C_2^{(1)}(n, 0)$, представляющие слабо смещенные состояния $|n, 2, 0\rangle$ (квадратичный шарк-эффект). При $n = 70$ и 82 все $n-2$ шарковских уровня участвуют в формировании полосы, которая с ростом n становится все более симметричной относительно водородного уровня (линейный шарк-эффект), приближаясь в пределе к

результату, реализующемуся для атома водорода. Поскольку $E/E_{St} \sim En^5$ такая же эволюция имеет место при увеличении E при фиксированном n . На рис. 3 (б) представлены значения дипольных моментов штарковских уровней в зависимости от их энергии, отсчитываемой от водородного уровня, для $n = 70$, $m = 0$ и $E = 12$ мВ/см. Практически идеальная пропорциональная зависимость этих величин, означает линейность штарк-эффекта при котором значения дипольных моментов перестают зависеть от величины поля.

Таким образом, при наличии даже слабого электрического поля резонансное излучение, настроенное на край штарковской полосы, позволяет получить газ ридберговских атомов с большим дипольным моментом $d_0 \sim n^2$, ориентированным либо вдоль поля (правый край полосы $k = n - 2$, $d = d_0$), либо против поля (левый край $k = 1$, $d = -d_0$).

Коэффициент поглощения полосы $f_2(\nu)$ ($\int f(\nu) d\nu = 1$) является суммой вкладов всех собственных состояний возмущенной системы и дается равенством:

$$f_l(\nu) = \frac{1}{5} \sum_{m=-2}^2 \sum_{k=1}^{n-2} |C_l^{(k)}(n, m)|^2 f_0(\nu - \nu_k(n, m)) \quad (4)$$

где $f_0(\nu)$ – общая для всех штарковских состояний форма спектральной линии, ν_k – энергетические уровни для данных значений m и n , выраженные в единицах частоты и $\int f_l(\nu) d\nu = 1$.

Условиям эксперимента, как следует из расчетов, выполненных в [9], соответствует фойгтовский профиль спектральной линии $f_0(\nu)$ с отношением лоренцевой полуширины к доплеровской равным 1,51. Расчетные значения представлены в виде $\exp(-\lambda f_2(\nu))$, где λ – подгоночный параметр, характеризующий оптическую глубину облака атомов.

На рис. 4 представлены функции $f_l(\nu)$. Уравнение (4) определяет статвес, для невозмущенных функций с данным значением орбитального углового момента l . Вследствие уширения линий, описываемых фойгтовским профилем $f_0(\nu)$, в возбужденном состоянии смешано несколько соседних штарковских уровней. Как видно на рис. 4, состояния с максимальным орбитальным моментом дают основной вклад в штарковские состояния вблизи энергии, соответствующей водородному уровню (т. е. когда квантовый дефект равен нулю).

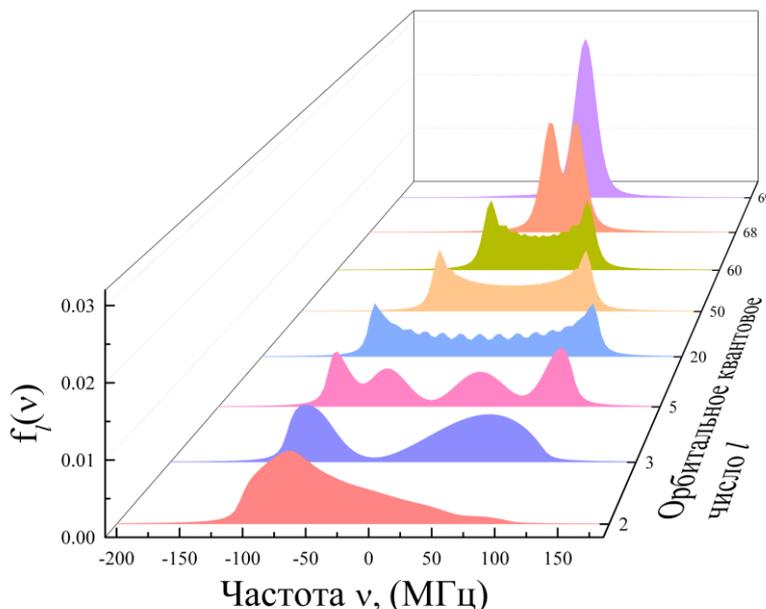


Рис. 4 – Вес, с которым невозмущенные функции с данным орбитальным угловым моментом l входят в разложение состояния, которое возникает при резонансном поглощении излучения на данной частоте для $n = 70$, $E = 12$ мВ/см

Результаты и обсуждение

На рис. 2 представлен резонанс в состоянии 49D. Здесь влияние электрического поля сводится к небольшому смещению линии $2P_{3/2} - 49D$ и незначительному ее расщеплению на три компоненты, соответствующие зеемановским подуровням, малому по сравнению с шириной самой линии.

На рис. 5(а)-(в) представлены когерентные двухфотонные резонансы в 59, 70 и 82 состоянии. Наблюдаемая ширина резонансов хорошо согласуется с теоретической моделью. При $n = 59$ расщепление по зеемановским подуровням становится заметным: сдвиг подуровней, соответствующих $|m| = 2$ превышает ширину линий. Кроме того, становится заметным вклад остальных штарковских уровней, формирующих полосу справа от основной линии. При $n = 70$ и 82 одиночные спектральные линии заменяются спектральными полосами, в которых участвуют все штарковские уровни, в том числе уровни с энергиями большими n -го водородного уровня.

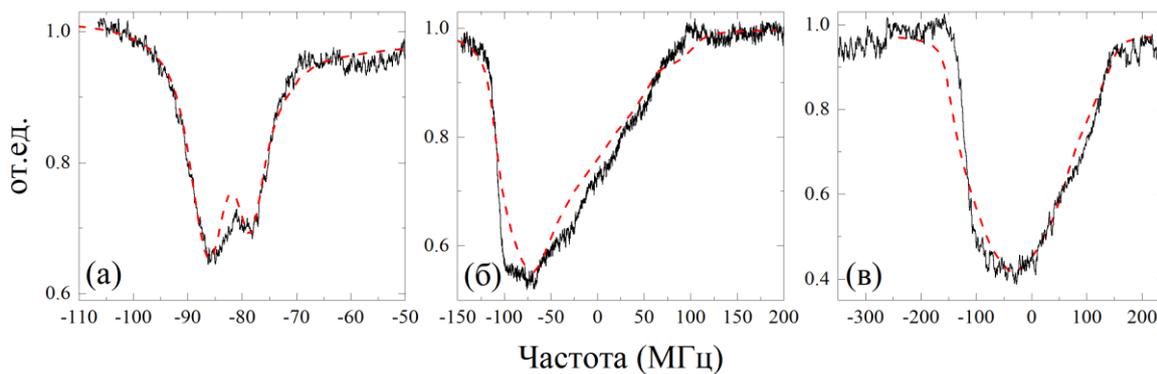


Рис. 5 – Двухфотонные когерентные резонансы в ридберговские состояния (а) $59D$, (б) $70D$, (в) $82D$; черная кривая – эксперимент, красная пунктирная – теоретическая кривая при остаточном поле в вакуумной камере 12 мВ/см; ноль по оси абсцисс соответствует частоте водородного уровня с соответствующим главным квантовым числом

Результаты расчетов, представленные на рис. 4 также как экспериментальные и теоретические кривые на рис. 5(в) демонстрируют возможность перевода атомов в состояния с произвольным орбитальным угловым моментом для любого значения главного квантового числа с вероятностью возбуждения, пропорциональной энергии возбуждения.

Ридберговские атомы с максимальными значениями орбитального углового момента могут быть возбуждены с вероятностью 14% в присутствии небольшого поля, когда частота поля лазера настроена на уровень с нулевым квантовым дефектом.

Анализ полученных экспериментальных результатов показал, что при наличии даже слабого электрического поля отдельная линия ридберговского уровня энергии превращается в полосу и резонансное излучение, настроенное на левый или правый край полосы, позволяет получить газ ридберговских атомов с постоянным большим дипольным моментом. В условиях эксперимента температура этого газа $\sim 10^{-3}$ К, а плотность может достигать 10^9 см $^{-3}$.

В работах [13], [14], [15], [16], [17] были предложены и апробированы методики пространственной визуализации ридберговских атомов. Причем в [13], по всей видимости, наблюдалась цепочка атомов. Использование этих методик позволит изучить свойства плотной фазы резонансно возбужденного газа. Изучение самоорганизации и анизотропии свойств газа ридберговских атомов за счет наличия выделенного направления электрического поля открывает новые направления в физике ультрахолодных газов, а также дает возможность учесть эти эффекты в резонансно возбужденных газах, например, при комнатных температурах.

Заключение

В представленной работе было исследовано влияние слабого электрического поля на когерентное возбуждение ридберговских состояний на переходе $2s - nD$ с использованием метода регистрации резонансной флюоресценции атомов лития в МОЛ. Наблюдался переход узкой линии в полосу вследствие эффекта Штарка. Спектральная ширина полосы увеличивалась с увеличением значения главного квантового числа n . Для описания наблюдаемой спектральной формы полосы были сделаны расчеты в рамках теории возмущений. Результаты расчетов показали, что линейный эффект Штарка может привести к образованию ридберговских атомов с постоянными дипольными моментами. Экспериментально наблюдаемые спектры ридберговских состояний nD хорошо согласуются с результатами расчетов.

Финансирование

Работа поддержана Программой фундаментальных исследований Президиума Российской академии Наук «Исследование вещества в экстремальных состояниях» под руководством академика Фортова В.Е.

Благодарности

Авторы признательны сотрудникам Теоретического отдела им. Л. М. Бибермана за полезные и конструктивные замечания.

Конфликт интересов

Не указан.

Funding

This work was supported by the Basic Research Program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences “Study of Substance in Extreme States” under the supervision of Academician Fortov V. Ye.

Acknowledgement

The authors are grateful to the staff of the Theoretical Department named after L. M. Biberman for useful and constructive comments.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Neukammer J. Spectroscopy of Rydberg atoms at $n \approx 500$: Observation of quasi-Landau resonances in low magnetic fields / J. Neukammer, H. Rinneberg, K. Vietzke and others // Physical review letters. – 1987. – Vol. 59. – №. 26. – P. 2947.
2. Osterwalder A. Using high Rydberg states as electric field sensors / A. Osterwalder, F. Merkt // Physical review letters. – 1999. – Vol. 82. – №. 9. – P. 1831.

3. Tretyakov D. B. Effect of photoions on the line shape of the Förster resonance lines and microwave transitions in cold rubidium Rydberg atoms / D. Tretyakov, I. I. Beterov, V. M. Entin and others // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 2012. – Vol. 114. – №. 1. – P. 14-24.
4. Zimmerman M. L. Stark structure of the Rydberg states of alkali-metal atoms / M. L. Zimmerman, M. G. Littman, M. M. Kash and others // *Physical Review A*. – 1979. – Vol. 20. – №. 6. – P. 2251.
5. Sautenkov V. A. Observation of Rydberg Transitions in Resonance Fluorescence of Ultracold Lithium-7 Atoms / V. A. Sautenkov, S. A. Saakyan, E. V. Vilshanskaya and others // *Journal of Russian Laser Research*. – 2015. – Vol. 36. – №. 2. – P. 193-199.
6. Zelener B. B. Efficient excitation of Rydberg states in ultracold lithium-7 atoms / B. B. Zelener, S. A. Saakyan, V. A. Sautenkov and others // *JETP letters*. – 2014. – Vol. 100. – №. 6. – P. 366-370.
7. Zelener B. B. Laser diagnostics of the energy spectrum of Rydberg states of the lithium-7 atom / B. B. Zelener S. A. Saakyan, V. A. Sautenkov and others // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 2015. – Vol. 121. – №. 6. – P. 950-954.
8. Saakyan S. A. Long-term frequency stabilized and linewidth-narrowed cw-laser system for excitation of lithium Rydberg states / S. A. Saakyan, V. A. Sautenkov, B. B. Zelener // *Journal of Physics: Conference Series*. – IOP Publishing, 2018. – Vol. 946. – №. 1. – P. 012128.
9. Sautenkov V. A. Differential two-photon spectroscopy for nondestructive temperature measurements of cold light atoms in a magneto-optical trap / V. A. Sautenkov, S. A. Saakyan, A. A. Bobrov and others // *JOSA B*. – 2018. – Vol. 35. – №. 7. – P. 1546-1551.
10. Bobrov A. A. Determination of characteristics of a magneto-optical trap by the spectral width of coherent two-photon resonance / A. A. Bobrov, S. A. Saakyan, V. A. Sautenkov and others // *Quantum Electronics*. – 2018. – Vol. 48. – №. 5. – P. 438.
11. Lifshitz E. M. *Quantum Mechanics Non-relativistics Theory* / E. M. Lifshitz, J. Menzies, L. D. Landau. – Elsevier Science, 1996.
12. D'yachkov L. G. The hydrogen Balmer spectrum in the near-threshold region: unified semiclassical calculation of line and continuum contributions / L. G. D'yachkov, G. A. Kobzev, P. M. Pankratov // *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*. – 1988. – Vol. 21. – №. 10. – P. 1939.
13. Carroll T. J. Many-body interactions in a sample of ultracold Rydberg atoms with varying dimensions and densities / T. J. Carroll, S. Sunder, M. W. Noel // *Physical Review A*. – 2006. – Vol. 73. – №. 3. – P. 032-725.
14. van Ditzhuijzen C. S. E. Spatially resolved observation of dipole-dipole interaction between rydberg atoms / C. S. E. Van Ditzhuijzen, A. F. Koenderink, J. V. Hernandez and others // *Physical Review Letters*. – 2008. – Vol. 100. – №. 24. – P. 243-201.
15. Thaicharoen N. Control of spatial correlations between Rydberg excitations using rotary echo / N. Thaicharoen, A. Schwarzkopf, G. Raithel // *Physical review letters*. – 2017. – Vol. 118. – №. 13. – P. 133-401.
16. Goncalves L. F. Motion of Rydberg atoms with strong permanent-electric-dipole interactions / L. F. Goncalves N. Thaicharoen N., Raithel G. J. // *Journal of Physics B*. – 2016. – T.49. – C. 154005.
17. Schwarzkopf A. Spatial correlations between Rydberg atoms in an optical dipole trap / A. Schwarzkopf, D. A. Anderson, N. Thaicharoen and others // *Physical Review A*. – 2013. – Vol. 88. – №. 6. – P. 061406.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.002>**ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ПЕРВОГО РОДА В ГАЗЕ РЕЗОНАНСНО ВОЗБУЖДЕННЫХ РИДБЕРГОВСКИХ АТОМОВ**

Научная статья

Бронин С.Я.¹, Зеленер Б.Б.², Зеленер Б.В.^{3,*}, Клярфельд А.Б.⁴^{1, 2, 3, 4} Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия;² Национальный исследовательский университет – Московский энергетический институт, Москва, Россия² Национальный исследовательский университет – Московский инженерно-физический институт, Москва, Россия

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

Аннотация

В работе методом Монте Карло в *NVT* ансамбле рассчитано уравнение состояния модели газа резонансно возбужденных ридберговских атомов. Рассмотрены варианты систем с произвольно и одинаково ориентированными дипольными моментами. В обоих случаях определены критические параметры фазового перехода и бинадаль. Критические температуры в обоих вариантах практически совпадают. Однако критическая плотность для одинаково ориентированных диполей в 20 раз меньше. Показано, что специфической особенностью фазового перехода в дипольных системах является отсутствие пространственного расслоения в области сосуществования плотной и разреженной фаз, что обусловлено топологическими особенностями кластеров плотной фазы. Определены области параметров для экспериментального наблюдения самоорганизации ультрахолодных ридберговских атомов на существующих экспериментальных стендах. Обнаруженная самоорганизация атомов резонансно возбужденного газа в виде цепочек открывает новые возможности для создания квантовых компьютеров на ридберговских атомах.

Ключевые слова: дипольное взаимодействие, ридберговские атомы, фазовые переходы.**PHASE TRANSITION OF THE FIRST CLASS IN GAS OF RESONANTLY ACTIVATED RYDBERG ATOMS**

Research article

Bronin S. Ya.¹, Zelener B. B.², Zelener B. V.^{3,*}, Klyarfeld A. B.⁴^{1, 2, 3, 4} Joint Institute for High Temperatures RAS, Moscow, Russia² National Research University – Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia,² National Research University - Moscow Engineering Physics Institute, Moscow, Russia

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

Abstract

The equation of the state of the gas model of resonantly activated Rydberg atoms was calculated in the work with the help of the Monte Carlo method in the *NVT* ensemble. Variants of systems with arbitrarily and equally oriented dipole moments are considered. In both cases, critical parameters of the phase transition as well as binodal are determined. Critical temperatures almost coincide in both variants. However, the critical density for equally oriented dipoles is 20 times lower. It is shown that a specific feature of the phase transition in dipole systems is the absence of spatial separation in the region of the coexistence of dense and rarefied phases, which is due to the topological features of clusters of the dense phase. The parameters for the experimental observation of the self-organization of ultra-cold Rydberg atoms on the existing experimental stands are determined. The discovered self-organization of atoms in resonantly activated gas in the form of chains opens up new possibilities for creating quantum computers on Rydberg atoms.

Keywords: dipole interaction, Rydberg atoms, phase transitions.**Введение**

Среды с дипольным взаимодействием между частицами с произвольно ориентированными диполями, интенсивно исследуются экспериментальными и численными методами. В основном внимание уделяется изучению поведения ферромагнитных материалов в немагнитных жидкостях. Выполненные исследования демонстрируют наличие фазового перехода 1-го рода в таких системах.

В то же время существуют другие среды, в которых существенно взаимодействие электрических диполей. Такими, в том числе, являются газы резонансно возбужденных атомов (например, среда газовых лазеров). Впервые влияние взаимодействия диполей на свойства этих газов обсуждалось в работах [8], [9] еще в 1968 году. Там же на основании оценки второго вириального коэффициента, учитывающего это взаимодействие, был предсказан фазовый переход первого рода. Проверить экспериментально эти предсказания в то время было затруднительно, так как создание сред с параметрами по оценкам [8], [9] было проблематично.

Однако в последние годы появилось много экспериментальных работ, в которых изучаются ультра-холодные газы, состоящие из атомов щелочных металлов, резонансно возбужденных на водородоподобные квазиклассические уровни. Так называемые ридберговские газы, характеризуются сильным дипольным взаимодействием, так как высокие ридберговские состояния электрона в атоме обладают большим электрическим дипольным моментом. Так как ультрахолодные ридберговские газы чрезвычайно разрежены, то диполь-дипольное взаимодействие превышает все другие виды взаимодействия между атомами. В этом смысле эти газы являются идеальной моделью для изучения влияния диполь-дипольного взаимодействия на свойства систем из резонансно возбужденных атомов.

В отличие от ферромагнитных систем частиц газы резонансно возбужденных атомов являются неравновесной средой. В них непрерывно появляются и исчезают возбужденные состояния атомов. Исчезают за счет процессов

распада, а появляются за счет непрерывного источника энергии (например, непрерывного или квази-непрерывного монохроматического источника лазерного излучения). Время жизни высоко возбужденных ридберговских состояний с главным квантовым числом ~ 100 составляет $\sim 10^{-3}$ с. Тем не менее, можно говорить о стационарном состоянии газа с определенной температурой и плотностью. Температура газа совпадает с температурой невозбужденного газа, а плотность определяется мощностью источника энергии и вероятностью возбуждения атома на заданный уровень.

Ультрахолодные ридберговские газы помимо прочего интересны тем, что дают возможность создания системы одинаково ориентированных диполей. Такая возможность возникает при наложении электрического поля. В отсутствие поля коэффициент поглощения представляет собой узкую спектральную линию, соответствующую переходу в состояние с определенным орбитальным моментом, например переход $3P \rightarrow nD$ в литии (n - главное квантовое число). В присутствии электрического поля формируется система штарковских уровней, причем резонансное излучение может быть поглощено с переходом на каждый из них. Это становится возможным благодаря тому, что в разложении каждого из этих состояний по сферическим функциям присутствует сферическая функция состояния nD . В результате вместо одиночной спектральной линии формируется широкая полоса образованная большим числом перекрывающихся спектральных линий. Особенностью этих состояний является наличие у них собственного дипольного момента в направлении поля и меняющегося от значения $-d_0$ до d_0 при изменении частоты резонансного излучения от левого края полосы до правого ($d_0 = 3n^2ea_0^2/2$, e - заряд электрона, a_0 - радиус Бора). На рис. 1 показан коэффициент поглощения полосы и значения d/d_0 для перехода $3P \rightarrow 82D$ и $E = 12$ мВ/см в литии. Приведенные значения коэффициента поглощения и дипольного момента являются результатом стандартного расчета штарковского эффекта. При больших n или больших значения поля, как в случае, представленном на рис. 1, система штарковских уровней повторяет структуру уровней атома водорода [17]. Эта особенность штарковского спектра позволяет создавать систему дипольных частиц с заданным распределением вероятности различных значений дипольного момента, для чего нужно сформировать необходимое распределение интенсивности излучения по частоте в пределах полосы. В частности можно сформировать систему одинаково ориентированных диполей либо против поля, при излучении, локализованном у левого края полосы, либо по полю, если у правого края.

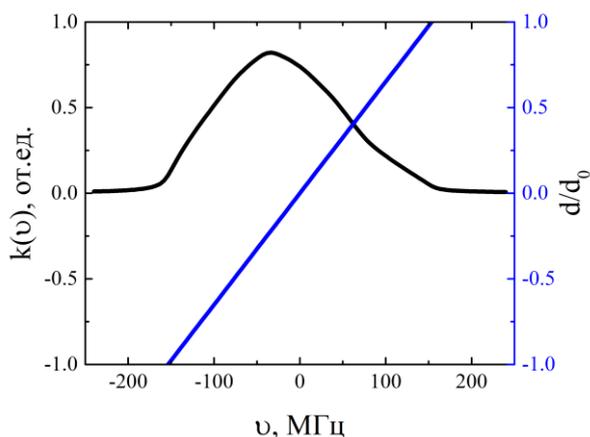


Рис. 1 – Кривая линия – коэффициент поглощения резонансного излучения, соответствующего полосе из 204 перекрывающихся спектральных линий для перехода $3P_{3/2} - nD$, $n=70$ [15]:
 Прямая – дипольный момент компоненты полосы, соответствующий максимальному значению $-d/d_0$ ($d_0 = 3n^2ea_0^2/2$).
 Ноль на оси X соответствует водородному уровню $n=70$

Интерес представляет вариант, при котором формируется дипольный момент атома, ориентированный против поля (левое крыло полосы где $d/d_0 < 0$), поскольку в этом случае вторичное поле, порожденное системой диполей, совпадает по направлению с начальным и не меняет ни величины ни направления наведенных диполей.

Физическая модель

В настоящей работе представлены расчеты методом Монте Карло области фазового перехода системы частиц с дипольным взаимодействием. Расчеты выполнены как для системы изотропно ориентированных диполей, так и для системы одинаково ориентированных диполей, с тем, чтобы можно было оценить различия фазовых переходов в этих двух случаях.

Рассматривается система частиц с парным потенциалом взаимодействия типа:

$$U = U_s(r_{12}) + U_d(\mathbf{r}_{12}, \mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2)$$

$$U_d = \frac{(\mathbf{d}_1 \mathbf{d}_2) - 3(\mathbf{d}_1 \mathbf{n}_{12})(\mathbf{d}_2 \mathbf{n}_{12})}{r_{12}^3}, \tag{1}$$

где $r_{12} = |\mathbf{r}_{12}|$, $U_s(r)$ - сферически симметричный потенциал, соответствующий короткодействующим силам отталкивания, $\mathbf{n}_{12} = \mathbf{r}_{12}/r_{12}$, $\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2$ - дипольные моменты частиц. Величины дипольных моментов одинаковы и равны d_0 . Выбор в качестве $U_s(r)$ потенциала hard sphere или какого-то варианта soft sphere не меняет качественной картины. Потенциал $U_s(r)$ был выбран таким же, как в работе [18]:

$$U_s(r) = \sigma / r^{12} = 4d_0^2 a^9 / r^{12},$$

(2)

где a определяет расстояние r_0 до главного минимума потенциала $U(r)$, равного: $U_0 = -3d_0^2/4a^3$; $r_0 = 2^{1/3} a$.

Этот минимум достигается, когда направления диполей совпадают и оба они параллельны вектору \mathbf{r}_{12} (конфигурация head-to-tail). Другой локальный минимум потенциала, равный $U_0/2^{4/3}$ достигается на расстоянии $2^{1/9} r_0$ с противоположно направленными дипольными моментами, перпендикулярными вектору \mathbf{r}_{12} (реализуется только в системе произвольно ориентированных диполей). Безразмерные температура τ , плотность ρ и давление p определяются соотношениями:

$$\tau = kTa^3 / d_0^2 \quad \rho = na^3 \quad p = Pa^6 / d_0^2.$$

В обоих случаях исследуется область параметров вблизи предполагаемой критической точки фазового перехода 1-го рода. Применение метода Монте-Карло в NVT ансамбле обеспечивает наибольшую точность при фиксированном компьютерном ресурсе, в сравнении с другими: Gibbs ensemble, Grand canonical, NPT , которые обычно используются при исследовании дипольных систем вблизи критической точки. Этот метод не применим в случае, когда пространственная однородность нарушается фазовым расслоением, как это имеет место для обычного перехода газ - жидкость. В этом случае в силу сферического характера потенциала межчастичного взаимодействия элементы конденсированной фазы представляют собой плотные трехмерные образования с некоторым объемом v и площадью поверхности $s \sim v^{2/3}$. Минимизация суммарной энергии поверхностного натяжения и, следовательно, суммарной поверхности, приводит к консолидации конденсированной фазы в изолированное от газовой фазы пространственное образование. Рассматриваемая здесь дипольная система отличается несферическим характером потенциала, благодаря чему образуются не объемные, а линейные комплексы – цепочки диполей, выстроенных head-to-tail. В плотной фазе внутренние звенья таких цепочек с противоположно направленными дипольными моментами могут соединяться друг с другом, образуя сложные фрактальные образования (networks) малой размерности [19], [20], которые не обнаруживают стремления к пространственному отделению от разреженной фазы. Эта особенность дипольных систем обуславливает пространственную однородность в области сосуществования двух фаз.

Расчеты выполнены для $N=2000$ частиц в кубическом объеме с периодическими граничными условиями. При таком количестве частиц, как показали расчеты с использованием процедуры Эвальда [21], можно не учитывать взаимодействие основной ячейки с удаленными, влияние которых остается в пределах 1%.

Результаты расчетов

Результатами расчетов являются значения давления p :

$$p = \rho \left(\tau + \frac{1}{N} \left[4 \left\langle \sum_{i<j} \frac{a^{12}}{r_{ij}^{12}} \right\rangle + \left\langle \sum_{i<j} f_{ij} \frac{a^3}{r_{ij}^3} \right\rangle \right] \right), \quad (3)$$

где $f_{ij} = (\vec{\mu}_i \vec{\mu}_j) - 3(\vec{\mu}_i \vec{n}_{ij})(\vec{\mu}_j \vec{n}_{ij})$, $\vec{\mu}_i = \vec{d}_i/d_0$, $\vec{n}_{ij} = \vec{r}_{ij}/r_{ij}$.

На рис. 2 представлены результаты расчетов изотерм для системы одинаково ориентированных диполей. Надо отметить, что для расчета каждого значения приведенного объема реализовывались марковские цепи в несколько миллиардов шагов. Расстояние между точками представлено на графике. Это позволило достаточно точно определить для каждой изотермы границы левой и правой устойчивой ветви, в которых совпадают значения давления. Пунктирные кривые демонстрируют неопределенность расчетов в двухфазной области. Через точки границ устойчивых ветвей изотерм была проведена бинодаль. В результате удалось определить критические параметры.

Отметим, что влияние электрического поля отдаленных ячеек на основную не существенно, так как его ориентация совпадает с начальной ориентацией диполей и влияет только на внутреннюю энергию ридберговских атомов, не изменяя величины и направления их дипольных моментов.

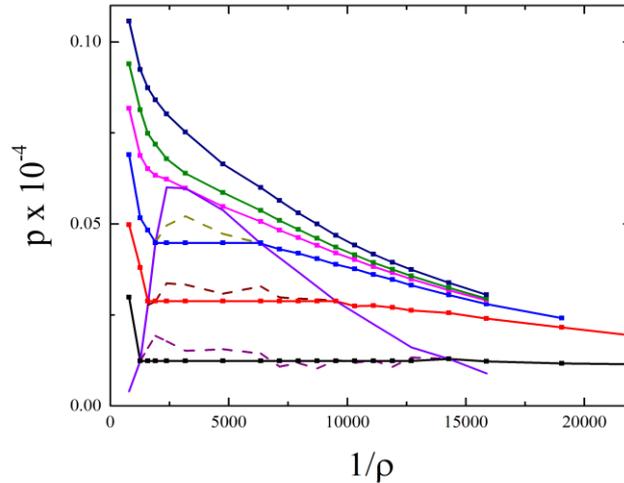


Рис. 2 – Зависимость давления от приведенного объема $1/\rho$ в системе одинаково ориентированных диполей для шести значений температуры (сверху вниз): $\tau = 0.053, 0.052, 0.0515, 0.0505, 0.049, 0.045$.

Горизонтальные участки – линии сосуществования фаз. Нижняя кривая – бинадаль

Если критическое значение температуры может быть определено достаточно точно: $\tau_{cr} = 0.0515 \pm 0.0005$, критическое значение приведенного объема определяется менее точно, поскольку она фиксируется положением точки перегиба на критической изотерме. Данные расчетов позволяют ее оценить как $\rho_{cr} = 0.0004 \pm 0.0001$.

Такие же расчеты с тем же числом $N=2000$ частиц были выполнены для системы изотропно ориентированных диполей. Критическая температура в этом случае почти такая же, как и в предыдущем: $\tau_{cr} = 0.053 \pm 0.0005$, тогда как критическое значение плотности в 20 раз больше: $\rho_{cr} = 0.006 \pm 0.002$, то есть фазовый переход в системе изотропно ориентированных диполей возникает в гораздо более плотной среде при тех же примерно значениях безразмерной температуры. Полученные значения близки к результатам работы [6]: $\tau_{cr} = 0.063 \pm 0.004$ и $\rho_{cr} = 0.0033 \pm 0.001$.

В системе ориентированных диполей парный потенциал имеет только один локальный минимум, достигаемый в конфигурации head-to-tail. По этой причине вместо большого разнообразия кластеров конденсированного состояния остаются только линейные цепочки, ориентированные так же, как сами диполи. Очевидно, что при этом пространственная консолидация линейных цепочек и, соответственно, пространственное разделение фаз, невозможны, так как между ними действуют силы отталкивания как между диполями одинаковой ориентации. На рис. 3 представлен фрагмент такой цепочки, состоящий из 13 звеньев в проекции на плоскости (X, Z). В качестве единицы длины здесь выбрано расстояние r_0 до главного минимума потенциала. Так же выглядит проекция на плоскость (Y, Z). Видно, что длина каждого звена почти в точности равна r_0 .

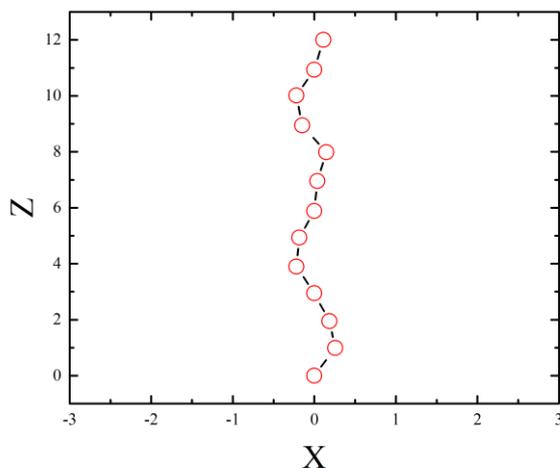


Рис. 3 – Проекция фрагмента линейной цепочки на плоскость (X, Z). Координаты отнесены к расстоянию до минимума парного потенциала $r_0 = 2^{1/3} a$

Обсуждение

На основании полученных фазовых диаграмм для двух вариантов моделей газа резонансно возбужденных атомов можно рассчитать область параметров, где можно было бы сейчас наблюдать в эксперименте различные фазы расслоения таких газов. Плотность и температура соответствующая критическим значениям газа ридберговских атомов в случае одинаково ориентированных диполей с главным квантовым числом $n = 100$ составляет 10^8 см^{-3} и 1 К. В этом случае параметры газов ультрахолодных ридберговских атомов 10^{-3} К , $10^6 - 10^9 \text{ см}^{-3}$, изучаемых на современных экспериментальных стендах, находятся глубоко внизу на диаграмме состояний в межфазной области. В межфазной области, наряду с отдельными частицами, существуют цепочки диполей. Причем, чем ближе к левому краю бинадали, тем их становится больше, и они будут длиннее.

Как было сказано выше, в последние годы интенсивно ведутся исследования ультрахолодных ридберговских газов, в том числе параметров диполь-дипольного взаимодействия. В этих экспериментах удалось получить картину пространственного расположения, ридберговских атомов и определить расстояние между ними в зависимости от главного квантового числа. Надо отметить, что оно совпадает со значением расстояния минимума потенциала, использованного нами при расчете уравнения состояния методом Монте-Карло. В [15] при изучении Li^7 , было показано, что в МОЛ существует слабое электрическое поле $\sim 10\text{-}12 \text{ мВ/см}$. За счет поля резонансные линии высоких ридберговских состояний превращаются в полосы как на рис. 1. Поэтому возникает возможность в рамках подобного эксперимента наблюдать расслоение фаз газа ридберговских атомов, используя методики пространственной визуализации.

Обнаруженная самоорганизация атомов резонансно возбужденного газа в виде цепочек открывает новые возможности для создания квантовых компьютеров на ридберговских атомах.

Финансирование

Работа поддержана Программой фундаментальных исследований Президиума Российской академии Наук «Исследование вещества в экстремальных состояниях» под руководством академика Фортова В.Е.

Funding

This work was supported by the Basic Research Program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences “Study of Substance in Extreme States” under the supervision of Academician Fortov V. Ye.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Van Leeuwen M. E. What makes a polar liquid a liquid? / M. E. Van Leeuwen, B. Smit // *Physical review letters*. – 1993. – Vol. 71. – №. 24. – P. 3991.
2. Caillol J. M. Search of the gas-liquid transition of dipolar hard spheres / J. M. Caillol // *The Journal of chemical physics*. – 1993. – Vol. 98. – №. 12. – P. 9835-9849.
3. Shelley J. C. Liquid-vapor coexistence in fluids of dipolar hard dumbbells and spherocylinders / J. C. Shelley, G. N. Patey, D. Levesque and others // *Physical Review E*. – 1999. – Vol. 59. – №. 3. – P. 3065.
4. Camp P. J. Structure and scattering in colloidal ferrofluids / P. J. Camp, G. N. Patey // *Physical Review E*. – 2000. – Vol. 62. – №. 4. – P. 5403.
5. Ganzenmüller G. Vapor-liquid coexistence in fluids of charged hard dumbbells / G. Ganzenmüller, P. J. Camp // *The Journal of Chemical Physics*. – 2007. – Vol. 126. – P. 191104.
6. McGrother S. C. Island of vapor-liquid coexistence in dipolar hard-core systems / S. C. McGrother, G. Jackson // *Physical review letters*. – 1996. – Vol. 76. – №. 22. – P. 4183.
7. Rovigatti L. No evidence of gas-liquid coexistence in dipolar hard spheres / L. Rovigatti, J. Russo, F. Sciortino // *Physical review letters*. – 2011. – Vol. 107. – №. 23. – P. 237801.
8. Мальнев В. Н. Межмолекулярное взаимодействие и уравнение состояния высоковозбужденного газа / В. Н. Мальнев, С. И. Пекар // *Журн. эксп. теор. физ.* – 1966. – Т. 51. – С. 1811.
9. Мальнев В. Н., Пекар С. И. // *ЖЭТФ*. – 1979. – Т. 58. – №. 22. – С. 1113.
10. Day J. O. Dynamics of low-density ultracold Rydberg gases / J. O. Day, E. Brekke, T. G. Walker // *Physical Review A*. – 2008. – Vol. 77. – №. 5. – P. 052712.
11. Löw R. An experimental and theoretical guide to strongly interacting Rydberg gases / R. Löw, H. Weimer, J. Nipper and others // *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*. – 2012. – Vol. 45. – №. 11. – P. 113001.
12. Dunning F. B. Recent advances in Rydberg physics using alkaline-earth atoms / F. B. Dunning, T. C. Killian, S. Yoshida // *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*. – 2016. – Vol. 49. – №. 11. – P. 112003.
13. Pillet P. Rydberg atom interactions from 300 K to 300 K / P. Pillet, T. F. Gallagher // *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*. – 2016. – Vol. 49. – №. 17. – P. 174003.
14. Zelener B. B. Efficient excitation of Rydberg states in ultracold lithium-7 atoms / B. B. Zelener, S. A. Saakyan, V. A. Sautenkov // *JETP letters*. – 2014. – Vol. 100. – №. 6. – P. 366-370.
15. Zelener B. B. Laser diagnostics of the energy spectrum of Rydberg states of the lithium-7 atom / B. B. Zelener, S. A. Saakyan, V. A. and others // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 2015. – Vol. 121. – №. 6. – P. 950-954.
16. Zelener B. B. Effect of magnetic stabilization of Rydberg atoms and multiparticle complexes in an ultracold plasma / B. B. Zelener, B. V. Zelener, E. A. E. Manykin // *JETP letters*. – 2012. – Vol. 96. – №. 1. – P. 27-30.
17. Landau L. D. Quantum mechanics / L. D. Landau, E. M. Lifshitz // *Course of theoretical physics*. – 1977. – Vol. 3.
18. Jia R. Gas-liquid coexistence in a system of dipolar soft spheres / R. Jia, H. Braun, R. Hentschke // *Physical Review E*. – 2010. – Vol. 82. – №. 6. – P. 062501.
19. Tlusty T. Defect-induced phase separation in dipolar fluids / T. Tlusty, S. A. Safran // *Science*. – 2000. – Vol. 290. – №. 5495. – P. 1328-1331.
20. Kalyuzhnyi Y. V. Thermodynamic properties and liquid-gas phase diagram of the dipolar hard-sphere fluid / Y. V. Kalyuzhnyi, L. A. Protsykevych, P. T. // *EPL (Europhysics Letters)*. – 2007. – Vol. 80. – №. 5. – P. 56002.
21. Darden T. Particle mesh Ewald: An $N \cdot \log(N)$ method for Ewald sums in large systems / T. Darden, D. York, L. Pedersen // *The Journal of chemical physics*. – 1993. – Vol. 98. – №. 12. – P. 10089-10092.
22. Carroll T. J. Many-body interactions in a sample of ultracold Rydberg atoms with varying dimensions and densities / T. J. Carroll, S. Sunder, M. W. Noel // *Physical Review A*. – 2006. – Vol. 73. – №. 3. – P. 032725.
23. van Ditzhuijzen C. S. E. LD Noordam, and HB van Linden van den Heuvell / C. S. E. van Ditzhuijzen, A. F. Koenderink, J. V. Hernández // *Phys. Rev. Lett.* – 2008. – Vol. 100. – P. 243201.
24. Thaicharoen N. Control of spatial correlations between Rydberg excitations using rotary echo / N. Thaicharoen, A. Schwarzkopf, G. Raithe // *Physical review letters*. – 2017. – Vol. 118. – №. 13. – P. 133401.
25. Gonçalves L. F., Thaicharoen N., Raithe G. // *J. Phys. B*. – 2016. – T. 49. – C. 154005.
26. Schwarzkopf A. Spatial correlations between Rydberg atoms in an optical dipole trap / A. Schwarzkopf, D. A. Anderson, N. Thaicharoen and others // *Physical Review A*. – 2013. – Vol. 88. – №. 6. – P. 061406.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Van Leeuwen M. E. What makes a polar liquid a liquid? / M. E. Van Leeuwen, B. Smit // *Physical review letters*. – 1993. – Vol. 71. – №. 24. – P. 3991.

2. Caillol J. M. Search of the gas-liquid transition of dipolar hard spheres / J. M. Caillol // The Journal of chemical physics. – 1993. – Vol. 98. – №. 12. – P. 9835-9849.
3. Shelley J. C. Liquid-vapor coexistence in fluids of dipolar hard dumbbells and spherocylinders / J. C. Shelley, G. N. Patey, D. Levesque and others // Physical Review E. – 1999. – Vol. 59. – №. 3. – P. 3065.
4. Camp P. J. Structure and scattering in colloidal ferrofluids / P. J. Camp, G. N. Patey // Physical Review E. – 2000. – Vol. 62. – №. 4. – P. 5403.
5. Ganzenmüller G. Vapor-liquid coexistence in fluids of charged hard dumbbells / G. Ganzenmüller, P. J. Camp // The Journal of Chemical Physics. – 2007. – Vol. 126. – P. 191104.
6. McGrother S. C. Island of vapor-liquid coexistence in dipolar hard-core systems / S. C. McGrother, G. Jackson // Physical review letters. – 1996. – Vol. 76. – №. 22. – P. 4183.
7. Rovigatti L. No evidence of gas-liquid coexistence in dipolar hard spheres / L. Rovigatti, J. Russo, F. Sciortino // Physical review letters. – 2011. – Vol. 107. – №. 23. – P. 237801.
8. Mal'nev V. N. Mezhmolekulyarnoe vzaimodejstvie i uravnenie sostoyaniya vysokovozbuzhdenного газа [Intermolecular interactions and equation of state for high excited gases] / V. N. Mal'nev, S. I. Pekar // ZHurn. ehksp. teor. fiz. [Journal of Experimental and Theoretical Physics]. – 1966. – V. 51. – P. 1811. [in Russian]
9. Mal'nev V. N., Pekar S. I. // ZHEHTF [Journal of Experimental and Theoretical Physics]. – 1979. – T. 58. – №. 22. – S. 1113. [in Russian]
10. Day J. O. Dynamics of low-density ultracold Rydberg gases / J. O. Day, E. Brekke, T. G. Walker // Physical Review A. – 2008. – Vol. 77. – №. 5. – P. 052712.
11. Löw R. An experimental and theoretical guide to strongly interacting Rydberg gases / R. Löw, H. Weimer, J. Nipper and others // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. – 2012. – Vol. 45. – №. 11. – P. 113001.
12. Dunning F. B. Recent advances in Rydberg physics using alkaline-earth atoms / F. B. Dunning, T. C. Killian, S. Yoshida // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. – 2016. – Vol. 49. – №. 11. – P. 112003.
13. Pillet P. Rydberg atom interactions from 300 K to 300 K / P. Pillet, T. F. Gallagher // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. – 2016. – Vol. 49. – №. 17. – P. 174003.
14. Zelener B. B. Efficient excitation of Rydberg states in ultracold lithium-7 atoms / B. B. Zelener, S. A. Saakyan, V. A. Sautenkov // JETP letters. – 2014. – Vol. 100. – №. 6. – P. 366-370.
15. Zelener B. B. Laser diagnostics of the energy spectrum of Rydberg states of the lithium-7 atom / B. B. Zelener, S. A. Saakyan, V. A. and others // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2015. – Vol. 121. – №. 6. – P. 950-954.
16. Zelener B. B. Effect of magnetic stabilization of Rydberg atoms and multiparticle complexes in an ultracold plasma / B. B. Zelener, B. V. Zelener, E. A. E. Manykin // JETP letters. – 2012. – Vol. 96. – №. 1. – P. 27-30.
17. Landau L. D. Quantum mechanics / L. D. Landau, E. M. Lifshitz // Course of theoretical physics. – 1977. – Vol. 3.
18. Jia R. Gas-liquid coexistence in a system of dipolar soft spheres / R. Jia, H. Braun, R. Hentschke // Physical Review E. – 2010. – Vol. 82. – №. 6. – P. 062501.
19. Tlusty T. Defect-induced phase separation in dipolar fluids / T. Tlusty, S. A. Safran // Science. – 2000. – Vol. 290. – №. 5495. – P. 1328-1331.
20. Kalyuzhnyi Y. V. Thermodynamic properties and liquid-gas phase diagram of the dipolar hard-sphere fluid / Y. V. Kalyuzhnyi, L. A. Protsykevitch, P. T. // EPL (Europhysics Letters). – 2007. – Vol. 80. – №. 5. – P. 56002.
21. Darden T. Particle mesh Ewald: An $N \cdot \log(N)$ method for Ewald sums in large systems / T. Darden, D. York, L. Pedersen // The Journal of chemical physics. – 1993. – Vol. 98. – №. 12. – P. 10089-10092.
22. Carroll T. J. Many-body interactions in a sample of ultracold Rydberg atoms with varying dimensions and densities / T. J. Carroll, S. Sunder, M. W. Noel // Physical Review A. – 2006. – Vol. 73. – №. 3. – P. 032725.
23. van Ditzhuijzen C. S. E. LD Noordam, and HB van Linden van den Heuvell / C. S. E. van Ditzhuijzen, A. F. Koenderink, J. V. Hernández // Phys. Rev. Lett. – 2008. – Vol. 100. – P. 243201.
24. Thaicharoen N. Control of spatial correlations between Rydberg excitations using rotary echo / N. Thaicharoen, A. Schwarzkopf, G. Raithel // Physical review letters. – 2017. – Vol. 118. – №. 13. – P. 133401.
25. Gonçalves L. F., Thaicharoen N., Raithel G. // J. Phys. B. – 2016. – T. 49. – S. 154005.
26. Schwarzkopf A. Spatial correlations between Rydberg atoms in an optical dipole trap / A. Schwarzkopf, D. A. Anderson, N. Thaicharoen and others // Physical Review A. – 2013. – Vol. 88. – №. 6. – P. 061406.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.003>

ИНТЕГРИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА ДЛЯ 2D ДВИЖЕНИЯ СЖИМАЕМОЙ СРЕДЫ

Научная статья

Коптев А.В.^{1,*}, Войтко И.В.²¹ ORCID: 0000-0003-2736-7585,^{1,2} Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (alex.koptev[at]mail.ru)

Аннотация

Рассматриваются уравнения Эйлера для 2D неустановившегося движения сжимаемой среды, когда в качестве основных неизвестных выступают две компоненты вектора скорости, плотность и давление. Предложена процедура интегрирования, основанная на введении новых неизвестных и на общих положениях теории дифференциальных уравнений. В результате получены соотношения для простых алгебраических комбинаций основных неизвестных, удобные для решения гидромеханических задач и моделирования реальных потоков.

Ключевые слова: движение, идеальная сжимаемая среда, уравнения Эйлера, плотность, давление, псевдо-функция тока, интеграл.

INTEGRATION OF EULER EQUATIONS FOR 2D MOTION OF COMPRESSIBLE MEDIUM FLOW

Research article

Koptev A.V.^{1,*}, Voytko I.V.²¹ ORCID: 0000-0003-2736-7585,^{1,2} Admiral Makarov state university of maritime and inland shipping, Saint-Petersburg, Russia

* Corresponding author (alex.koptev[at]mail.ru)

Abstract

The Euler equations for 2D unsteady motion of compressible medium flow are under consideration. Two components of velocity vector, density and pressure supposed as the main unknowns. We propose the procedure of integration which based on introduction of new variables and general statements of theory of partial differential equations. As the result we obtain ratios for simple algebraic combinations of main unknowns which convenient for solution of fluid mechanics problems and for simulation of real fluid and gaseous flow.

Keywords: motion, ideal compressible medium, Euler equations, density, pressure, stream pseudo function, integral.

Introduction

The Euler equations are one of the basic relations of classical hydromechanics. Equations of that type describe the motion of fluid and gaseous ideal media. Absence of internal friction is the main characteristic of such a media. Euler equations are of interest from a mathematical point of view as one of the types of nonlinear partial differential equations. These equations are of a great interest as well from practical point of view, as they are the basis for calculation of structures in energy engineering, shipbuilding, aircraft engineering, hydraulic engineering and other areas [1-4].

For the case of 2D isothermal motion of a compressible medium in the absence of external mass forces the Euler equations can be represented as

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x}, \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

Two components of the velocity vector u , v , density ρ and pressure p represents the main unknowns. Each of these values is a function of Cartesian coordinates x , y and time t . The main problem is to find these functions.

For today there are no general approaches to the solution of a problem at hand [1],[5] and studies on this direction are very relevant. In the paper under consideration an attempt is made to integrate equations (1-3) based on the introduction of new unknowns and general provisions of the theory of partial differential equations [6]. A similar method was previously used by author for the purpose to integrate the Navier – Stokes equations [7-8].

The canonical form of equations

Despite the external differences, each of the equations (1-3) can be represented on a divergent form that is, as a linear combination of the first derivatives over x , y and t

$$\frac{\partial P_i}{\partial x} + \frac{\partial Q_i}{\partial y} + \frac{\partial S_i}{\partial t} = 0, \quad (4)$$

Where $i = 1, 2, 3$ and P_i , Q_i , S_i are some combinations of main unknowns u , v , ρ , p .

Equation (3) already has the form (4) and does not need to be transformed. For this equation $P_3 = \rho u$, $Q_3 = \rho v$, $S_3 = \rho$.

Equations (1) and (2) can also be reduced to form (4) as a result of the following transformations. Consider the first nonlinear terms in the left-hand parts (1-2) and transform them using equation (3) as

$$\begin{aligned}
 \rho \frac{\partial u}{\partial t} &= \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} - u \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + u \left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \right] = \\
 &= \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} - \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} - \rho v \frac{\partial u}{\partial y}, \\
 \rho \frac{\partial v}{\partial t} &= \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} - v \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + v \left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \right] = \\
 &= \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} - \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} - \rho v \frac{\partial v}{\partial y}.
 \end{aligned}$$

Using the representation data for $\rho \frac{\partial u}{\partial t}$, $\rho \frac{\partial v}{\partial t}$ and transferring all the terms to the left, we come to the equations of the form (4)

$$\frac{\partial}{\partial x}(p + \rho u^2) + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}(p + \rho v^2) + \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} = 0.$$

(6)

From the latter it follows that

$$P_1 = p + \rho u^2, \quad Q_1 = \rho uv, \quad S_1 = \rho u,$$

$$P_2 = \rho uv, \quad Q_2 = p + \rho v^2, \quad S_2 = \rho v.$$

Thus, each of the equations (1-3) has a canonical representation (4).

Integration and further transformation

Each of the equations of the form (4) allows integration in the general form.

Indeed, the left part (4) represents the divergence of vector $(P_i; Q_i; S_i)$ on 3D space-time coordinate system X, Y, T . When using the well-known formula of vector analysis

$$\operatorname{div}(\operatorname{rot} \bar{A}_i) = 0 \quad (7)$$

we conclude that the general solution of (4) is determined by the coordinates of vector $\operatorname{rot} \bar{A}_i$, where \bar{A}_i is an arbitrary vector of space. Last statement is equally true when \bar{A}_i is a vector of space X, Y, Z when, as in our case, there is an arbitrary vector from space X, Y, T .

Specify the coordinates of vector $\operatorname{rot} \bar{A}_i$ and the result is equalities as the next

$$P_i = \frac{\partial \Psi_{i3}}{\partial y} - \frac{\partial \Psi_{i2}}{\partial t}, \quad Q_i = -\frac{\partial \Psi_{i3}}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_{i1}}{\partial t}, \quad S_i = \frac{\partial \Psi_{i2}}{\partial x} - \frac{\partial \Psi_{i1}}{\partial y}. \quad (8)$$

Where $\Psi_{i1}, \Psi_{i2}, \Psi_{i3}$ are arbitrary doubly differentiable functions of x, y, t , representing the coordinate functions of vector \bar{A}_i .

For our case $i=1, 2, 3$ and therefore we have three triples of expressions similar to (8). These expressions are defined by nine double-differentiable functions of x, y, t .

For these functions, we introduce sequential numbering and notation $\Psi_{k,1}$, where $k=1, 2, \dots, 9$. These functions are called as stream pseudo-functions of the first order with number k . First index in its designation corresponds to the number of the stream pseudo-function, and the second to its order. At this stage the order is equal to 1. Taking into account the previously obtained expressions for P_i, Q_i, S_i on the basis of (8) we come to the relations as the following

$$\begin{aligned}
 p + \rho u^2 &= \frac{\partial \Psi_{3,1}}{\partial y} - \frac{\partial \Psi_{2,1}}{\partial t}, \quad \rho uv = -\frac{\partial \Psi_{3,1}}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_{1,1}}{\partial t}, \\
 \rho u &= \frac{\partial \Psi_{2,1}}{\partial x} - \frac{\partial \Psi_{1,1}}{\partial y}, \\
 \rho uv &= \frac{\partial \Psi_{6,1}}{\partial y} - \frac{\partial \Psi_{5,1}}{\partial t}, \quad p + \rho v^2 = -\frac{\partial \Psi_{6,1}}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_{4,1}}{\partial t}, \\
 \rho v &= \frac{\partial \Psi_{5,1}}{\partial x} - \frac{\partial \Psi_{4,1}}{\partial y},
 \end{aligned} \quad (9)$$

(10)

$$\rho u = \frac{\partial \Psi_{9,1}}{\partial y} - \frac{\partial \Psi_{8,1}}{\partial t}, \quad \rho v = -\frac{\partial \Psi_{9,1}}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_{7,1}}{\partial t},$$

$$\rho = \frac{\partial \Psi_{8,1}}{\partial x} - \frac{\partial \Psi_{7,1}}{\partial y}. \quad (11)$$

The nine equations of system (9-11) represent the primary expressions for the integral of the Euler equations, since the combination of their first derivatives leads to equations (5-6), (3). Whereas the last ones are equivalent to original Euler equations.

We set the task to simplify the equations (9-11) as much as possible and give them the most convenient form for practical use. We suggest the transformations as the following. Add up the first of (9) and the second of (10) and multiply the result on $\frac{1}{2}$. We obtain a convenient expression for pressure as

$$p = -\rho \frac{(u^2 + v^2)}{2} + \frac{1}{2} \left(-\frac{\partial \Psi_{6,1}}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_{3,1}}{\partial y} + \frac{\partial \Psi_{4,1}}{\partial t} - \frac{\partial \Psi_{2,1}}{\partial t} \right). \quad (12)$$

Calculating the differences of the same equations, we obtain

$$\rho(u^2 - v^2) = \frac{\partial \Psi_{6,1}}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_{3,1}}{\partial y} - \frac{\partial \Psi_{4,1}}{\partial t} - \frac{\partial \Psi_{2,1}}{\partial t}. \quad (13)$$

So, the unknown p is excluded according to (12) and instead of two equations, which contain p , we use equations (12) and (13).

We also pay attention to the following regularity characteristic of some equations of the system (9-11). Three pairs of equations with the same left-hand parts are distinguished. These equations are the second of (9) and the first of (10), the third of (9) and the first of (11), and the third of (10) and the second of (11). By calculating the soil differences for each pair, we arrive at three new equations that can be represented in canonical form (4)

$$\frac{\partial(-\Psi_{3,1})}{\partial x} + \frac{\partial(-\Psi_{6,1})}{\partial y} + \frac{\partial(\Psi_{1,1} + \Psi_{5,1})}{\partial t} = 0, \quad (14)$$

$$\frac{\partial \Psi_{2,1}}{\partial x} + \frac{\partial(-\Psi_{9,1} - \Psi_{1,1})}{\partial y} + \frac{\partial \Psi_{8,1}}{\partial t} = 0, \quad (15)$$

$$\frac{\partial(\Psi_{5,1} + \Psi_{9,1})}{\partial x} + \frac{\partial(-\Psi_{4,1})}{\partial y} + \frac{\partial(-\Psi_{7,1})}{\partial t} = 0. \quad (16)$$

For each of equations (14-16), we find the solution in general form similar to the way it was done earlier for equations (5-6) and (3). In this case, three triples of new functions are introduced. These functions are called as stream pseudo-functions of the second order and designated as $\Psi_{j,2}$ where $j=1, 2, \dots, 9$. Note that second lower index in their designation is equal 2.

As a result, we obtain new equations as the next

$$-\Psi_{3,1} = \frac{\partial \Psi_{3,2}}{\partial y} - \frac{\partial \Psi_{2,2}}{\partial t}, \quad -\Psi_{6,1} = -\frac{\partial \Psi_{3,2}}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_{1,2}}{\partial t},$$

$$\Psi_{1,1} + \Psi_{5,1} = \frac{\partial \Psi_{2,2}}{\partial x} - \frac{\partial \Psi_{1,2}}{\partial y}. \quad (17)$$

$$\Psi_{2,1} = \frac{\partial \Psi_{6,2}}{\partial y} - \frac{\partial \Psi_{5,2}}{\partial t}, \quad -\Psi_{9,1} - \Psi_{1,1} = -\frac{\partial \Psi_{6,2}}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_{4,2}}{\partial t},$$

$$\Psi_{8,1} = \frac{\partial \Psi_{5,2}}{\partial x} - \frac{\partial \Psi_{4,2}}{\partial y}. \quad (18)$$

$$\Psi_{5,1} + \Psi_{9,1} = \frac{\partial \Psi_{9,2}}{\partial y} - \frac{\partial \Psi_{8,2}}{\partial t}, \quad -\Psi_{4,1} = -\frac{\partial \Psi_{9,2}}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_{7,2}}{\partial t},$$

$$-\Psi_{7,1} = \frac{\partial \Psi_{8,2}}{\partial x} - \frac{\partial \Psi_{7,2}}{\partial y}. \quad (19)$$

Of the nine equations (17-19) we define $\Psi_{k,1}$ by first order derivatives of $\Psi_{j,2}$. Substituting these expressions in equations of determining system we obtain significant simplifications.

Equations (14-16) are executed identically, and it means that the number of equations of the determining system has been reduced by three. So in defining system there are only six equations. These are equations (12), (13), the first and second of (9), the third of (10) and the third of (11). These equations are simplified and take the form of

$$p = -\rho \frac{U^2}{2} - \frac{1}{2} \Delta \Psi_{3,2} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\partial}{\partial x} (\Psi_{1,2} + \Psi_{9,2}) + \right.$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{\partial}{\partial y}(\Psi_{2,2} - \Psi_{6,2}) + \frac{\partial}{\partial t}(\Psi_{5,2} - \Psi_{7,2}) \Big]. \\
 \rho &= \frac{\partial^2 \Psi_{5,2}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \Psi_{7,2}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}(\Psi_{8,2} - \Psi_{4,2}), \\
 \rho(u^2 - v^2) &= \frac{\partial^2 \Psi_{3,2}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \Psi_{3,2}}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial t} \left[-\frac{\partial}{\partial x}(\Psi_{1,3} + \Psi_{9,3}) + \frac{\partial}{\partial y}(\Psi_{2,2} - \Psi_{6,2}) + \right. \\
 & \quad \left. + \frac{\partial}{\partial t}(\Psi_{5,2} + \Psi_{7,2}) \right], \\
 \rho uv &= \frac{\partial^2 \Psi_{3,2}}{\partial x \partial y} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\partial}{\partial x}(\Psi_{6,2} - \Psi_{2,2}) - \frac{\partial}{\partial y}(\Psi_{1,2} + \Psi_{9,2}) + \right. \\
 & \quad \left. + \frac{\partial}{\partial t}(\Psi_{8,2} - \Psi_{4,2}) \right], \\
 \rho u &= -\frac{\partial^2 \Psi_{5,2}}{\partial x \partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\partial}{\partial x}(\Psi_{6,2} - \Psi_{2,2}) - \frac{\partial}{\partial y}(\Psi_{1,2} + \Psi_{9,2}) + \right. \\
 & \quad \left. + \frac{\partial}{\partial t}(\Psi_{4,2} - \Psi_{8,2}) \right], \\
 \rho v &= \frac{\partial^2 \Psi_{7,2}}{\partial y \partial t} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial}{\partial x}(\Psi_{6,2} - \Psi_{2,2}) - \frac{\partial}{\partial y}(\Psi_{1,2} + \Psi_{9,2}) + \right. \\
 & \quad \left. + \frac{\partial}{\partial t}(\Psi_{8,2} - \Psi_{4,2}) \right].
 \end{aligned} \tag{20}$$

Symbol Δ in the first equation (20) denotes 2D Laplace operator in Cartesian coordinates

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2},$$

then how U^2 denotes the modulus of the velocity vector $U^2 = u^2 + v^2$.

Analysis of equations (20) leads to the conclusion that the right-hand sides are determined only by the following six stream pseudo-functions of the second order and their simple combinations:

$$\Psi_{3,2}; \Psi_{5,2}; \Psi_{7,2}; \Psi_{1,2} + \Psi_{9,2}; \Psi_{6,2} - \Psi_{2,2}; \Psi_{8,2} - \Psi_{4,2}.$$

Equations (20) can be given a more concise form, if you enter the notation of the formulas

$$\Psi_1 = \Psi_{3,2}; \Psi_2 = \Psi_{5,2}; \Psi_3 = \Psi_{7,2};$$

$$\Psi_4 = -(\Psi_{1,2} + \Psi_{9,2}); \Psi_5 = \Psi_{6,2} - \Psi_{2,2}; \Psi_6 = \Psi_{8,2} - \Psi_{4,2}. \tag{21}$$

Taking into account these designations, the equations of the determining system take the form

$$p - p_0 = -\rho \frac{U^2}{2} + \frac{1}{2} \Delta \Psi_1 - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\partial \Psi_1}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_5}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial t}(\Psi_3 - \Psi_2) \right], \tag{22}$$

$$\rho = \frac{\partial^2 \Psi_2}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \Psi_3}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi_6}{\partial x \partial y},$$

(23)

$$\rho(u^2 - v^2) = \frac{\partial^2 \Psi_1}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \Psi_1}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\partial \Psi_4}{\partial x} - \frac{\partial \Psi_5}{\partial y} + \frac{\partial \Psi_1}{\partial t} + \frac{\partial \Psi_3}{\partial t} \right], \tag{24}$$

$$\rho uv = \frac{\partial^2 \Psi_1}{\partial x \partial y} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\partial \Psi_5}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_4}{\partial y} + \frac{\partial \Psi_6}{\partial t} \right], \tag{25}$$

$$\rho u = -\frac{\partial^2 \Psi_2}{\partial x \partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\partial \Psi_5}{\partial x} - \frac{\partial \Psi_4}{\partial y} - \frac{\partial \Psi_6}{\partial t} \right], \tag{26}$$

$$\rho v = \frac{\partial^2 \Psi_3}{\partial y \partial t} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial \Psi_5}{\partial x} - \frac{\partial \Psi_4}{\partial y} + \frac{\partial \Psi_6}{\partial t} \right]. \tag{27}$$

Conclusion

Equations (22-27) links main unknowns u, v, ρ, p and associated ones Ψ_j , where $j=1, 2, \dots, 6$. The last appeared as a result of integration of the original equations. The order of derivatives of main unknowns in equations (22-27) is one less than their order in the original equations (1-3). In the original equations (1-3) the order of the derivatives of main unknowns is first then how in (22-27) the derivatives of main unknowns are absent. That is we can assume that the order of derivatives is zero. A direct test can be made that exist a combination of the first derivatives that converts equations (22-27) to (3),(5-6) or to the equivalent Euler equations (1-3).

The equations (22-27) considered together represent the integral of Euler equations (1-3) for 2D unsteady motion of the compressible medium.

The main unknowns in equations (22-27) appear in the form of simple algebraic combinations, and there is an excess of the number of unknowns (ten) over the number of equations (six). The solution of equations (22-27) is a simpler mathematical problem than the solution of the original Euler equations (1-3). Equations (22-27) are more convenient for modeling real flows and more convenient for solving problems of fluid and gas mechanics.

In the particular case of motion of an incompressible medium when $\rho = \text{const}$, solutions of some fluid mechanics problems presented in the works [9], [10], [11].

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Лойтцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойтцянский // М.: Наука. – 1987.
2. Кармак Т. Аэродинамика. Избранные главы в их историческом развитии / Т. Кармак // Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика. – 2001.
3. Лаврентьев М.А. Проблемы гидродинамики и их математические модели / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат // М.: Наука. – 1973.
4. Келдыш М. В. Избранные труды / М. В. Келдыш, С. А. Чаплыгин // М.: Наука. – 1976.
5. Charles L. Fefferman. Existence and smoothness of the Navier – Stokes equations / C. L. Fefferman // Preprint, Princeton university, Math. Dept., Princeton, NJ, USA. – 2000. – P. 1-5.
6. Степанов В. В. Курс дифференциальных уравнений / В. В. Степанов // М.: Едиториал УРСС. – 2004.
7. Коптев А. В. Новый подход к исследованию трехмерных уравнений Навье – Стокса / А. В. Коптев // Саранск: Труды Средне-вожского математического общества, Т. 3–4, №1, 2001. – С. 281–287.
8. Koptev A.V. Integrals of Motion of an Incompressible Medium Flow. From Classic to Modern / A. V. Koptev // Handbook in Navier–Stokes Equations: Theory and Applied Analysis. – Nova Sciences Publishers. Inc., NY, USA. – 2017, P. 443-459.
9. Коптев А. В. Теоретическое исследование обтекания цилиндра потоком идеальной несжимаемой жидкости при наличии экранирующего эффекта / А. В. Коптев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2 (36), 2016, С. 127-137.
10. Koptev A. V. D’Alembert Paradox in Near Real Conditions / A. V. Koptev // Journal of Siberian federal university, Math. & Phys. – 2017. – 10(2). – P. 170-180.
11. Коптев А. В. Невязкий аналог задачи Пуазейля / А. В. Коптев // Вестник Российского университета Дружбы Народов. Математика. Информатика. Физика. – Т. 26, №2, 2018, С. 140-154.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Lojtcyanskij L. G. Mekhanika zhidkosti i gaza [Mechanics of fluid and gas] / L. G. Lojtcyanskij // М.: Nauka. – 1987. [in Russian]
2. Karmak T. Aehroodinamika. Izbrannye glavy v ih istoricheskom razviti [Selected topics in their historical development] / T. Karmak // Izhevsk: Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika [Regular and chaotic dynamics]. – 2001. [in Russian]
3. Lavrent'ev M.A. Problemy gidroodinamiki i ih matematicheskie modeli [Problems of hydrodynamics and their mathematical models] / M. A. Lavrent'ev, B. V. SHabat // М.: Nauka. – 1973. [in Russian]
4. Keldysh M. V. Izbrannye trudy [Selected papers] / M. V. Keldysh, S. A. SHaplygin // М.: Nauka. – 1976. [in Russian]
5. Charles L. Fefferman. Existence and smoothness of the Navier – Stokes equations / C. L. Fefferman // Preprint, Princeton university, Math. Dept., Princeton, NJ, USA. – 2000. – P. 1-5.
6. Stepanov V. V. Kurs differencial'nyh uravnenij [Course of differential equations] / V. V. Stepanov // М.: Editorial URSS. – 2004. [in Russian]
7. Koptev A. V. Novyj podhod k issledovaniyu trekhmernyh uravnenij Nav'e – Stoksa [New approach to research of 3D Navier – Stokes equations] / A. V. Koptev // Saransk: Trudy Sredne-volzhskego matematicheskogo obshchestva, T. 3–4, №1, 2001. – S. 281–287. [in Russian]
8. Koptev A.V. Integrals of Motion of an Incompressible Medium Flow. From Classic to Modern / A. V. Koptev // Handbook in Navier–Stokes Equations: Theory and Applied Analysis. – Nova Sciences Publishers. Inc., NY, USA. – 2017, P. 443-459.
9. Koptev A. V. Teoreticheskoe issledovanie obtekaniya cilindra potokom ideal'noj neszhimaemoj zhidkosti pri nalichii ehkraniroyushchego ehffekta [Theoretical research of the flow around the cylinder of an ideal incompressible medium in the presence of a shielding effect] / A. V. Koptev // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. – 2 (36), 2016, S. 127-137. [in Russian]

10. Koptev A. V. D'Alembert Paradox in Near Real Conditions / A. V. Koptev // Journal of Siberian federal university, Math. & Phys. – 2017. – 10(2). – P. 170-180.

11. Koptev A. V. Nevyazkij analog zadachi Puazejlya [An Inviscid analogue of the Poiseuille problem] / A. V. Koptev // Vestnik Rossijskogo universiteta Druzhyby Narodov. Matematika. Informatika. Fizika. – Т. 26, №2, 2018, S. 140-154 . [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.004>**ТЕРМОДИФФУЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ**

Научная статья

Александров В.А.^{1,*}, Кудряшов Б.А.²¹ ORCID: 0000-0002-8105-1111,^{1,2} Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

* Корреспондирующий автор (met.madi[at]mail.ru)

Аннотация

Приведены результаты стендовых испытаний, рабочих колёс и статоров центробежных насосов, обработанных химико-термическим методом (ХТО), в условиях гидроабразивного изнашивания. Покрытие значительно повышает стойкость поверхности к гидроабразивному изнашиванию. В ходе эксперимента было установлено снижение износа (определенного массовым методом) в 1,7—2,3 раз.

Ключевые слова: азотирование, трение, гидроабразивное изнашивание, коррозионная стойкость.

THERMAL DIFFUSION COATINGS OF DETAILS WORKING UNDER CONDITIONS OF HYDROABRASIVE WEAR

Research article

Aleksandrov V.A.^{1,*}, Kudryashov B.A.²¹ ORCID: 0000-0002-8105-1111,^{1,2} Moscow automobile-road state technical university (MADI)

* Corresponding author (met.madi[at]mail.ru)

Abstract

The results of bench tests, impellers, and stators of centrifugal pumps, processed by chemical-thermal method (HTO), under conditions of hydroabrasive wear are presented in this work. The coating significantly increases the resistance of the surface to hydroabrasive wear. In the course of the experiment, a decrease in wear (determined by a mass method) of 1.7–2.3 times was established.

Keywords: nitriding, friction, hydroabrasive wear, corrosion resistance.

Введение

Среди деталей гидромашин наибольшему эрозионному износу подвергаются детали насосов (рис. 1.) для транспортировки взвешенных веществ. Они применяются в гидротехническом и транспортном строительстве, в сельском хозяйстве, в металлургической, горнорудной, угольной, химической, пищевой, бумажной, деревообрабатывающей промышленности и в ряде других отраслей.

Несмотря на широкое применение этих гидромашин, стоимость транспортировки единицы объема гидроабразивных веществ еще довольно высока. Это объясняется, главным образом, тем, что рабочие органы насосов изготавливаются из материалов, имеющих низкую эрозионную прочность, вследствие чего они быстро разрушаются и выходят из строя. Ремонт и замена их вызывают простой оборудования и требуют больших затрат на материалы, монтаж и обслуживание.

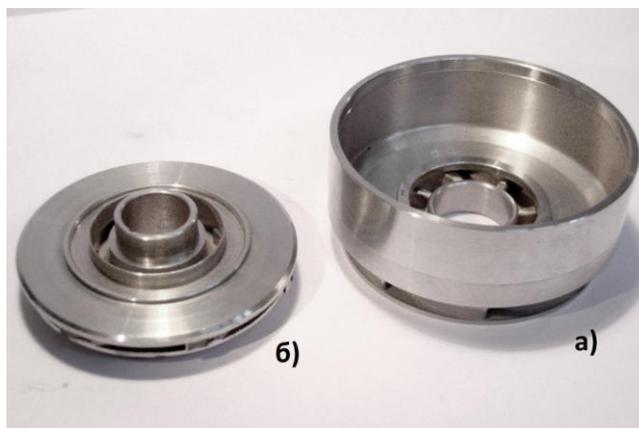


Рис. 1 – Внешний вид статора насоса (а) и рабочее колесо насоса (б)

Гидроэрозии подвергается проточная часть колеса и отвода, наружные поверхности дисков колес, примыкающие к ним поверхности крышек или корпуса и щелевые уплотнения, расположенные на всасывающей стороне насоса.

Детали насосов, перекачивающих абразивные жидкости, в результате эрозионного износа выходят из строя после нескольких месяцев эксплуатации. Применение некоторых нержавеющей сталей для изготовления деталей проточной

части насосов несколько увеличивает срок их службы, однако эрозионный износ деталей все еще остается значительным.

В настоящее время ведется изыскание эрозионно-стойких материалов и таких форм проточной части колеса и отвода, при которых износ был бы наименьшим. Практика эксплуатации гидромашин показала, что конструктивные методы борьбы с эрозионным износом не всегда дают положительные результаты и являются только одним из путей, увеличения срока службы деталей этих машин. В данном случае больший эффект получается от рационального выбора конструкционного материала или применения эффективного способа упрочнения рабочей поверхности детали. Поэтому разработка технологий нанесения эрозионных покрытий является наиболее актуальной.

Результаты исследований и их обсуждение

Упрочнению подвергали изделия (рис.1) проточных частей погружных насосов выполненных из серого чугуна марки СЧ-28-48.

Разрушение деталей проточных частей погружных насосов (рис.2) наблюдается и при незначительной загрязненности воды. Следовательно, в рабочих органах насосных ступеней погружных центробежных насосов эрозия металла вызывается, как абразивным фактором, так и явлением кавитации. В загрязненном потоке кавитирующее действие воды может усиливаться за счет способности твердых частиц (при большом их удельном весе) разрывать жидкость.

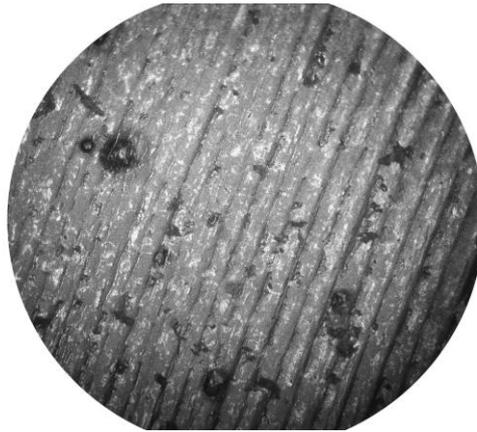


Рис. 2 – Наличие питинговой коррозии на поверхности не обработанных изделий в процессе испытаний

Исследования показывают, что в результате различного удельного веса воды и твердых частиц имеется различие в скоростях их движения. Это приводит к тому, что перед каждой частицей, движущейся в потоке, возникают вихри. Образование таких вихрей обусловлено обтеканием взвешенных частиц потоком воды. Отставание частиц от жидкости будет тем больше, чем они крупнее и тяжелее. Разная скорость движения частиц приводит к непрерывному хаотическому их соударению, что способствует увеличению нестационарности потока и образованию кавитационных пузырьков. Откачиваемая жидкость всегда содержит во взвешенном состоянии некоторое количество твердых частиц. Поэтому ударное воздействие потока одновременно сопровождается ударами и трением твердых частиц о поверхность детали, создавая условия для выламывания кусочков металла.

Для деталей насосов и других подобного типа гидромашин наибольшее распространение имеет разрушение металла вследствие абразивного действия движущихся в потоке частиц. Однако при больших скоростях сама жидкость оказывает на металл сильное разрушающее действие вследствие развития в потоке кавитации.

Серый чугун (СЧ 28-48) при эрозионных испытаниях не проявляет явно выраженного хрупкого разрушения. Его металлическая основа разрушается при эрозионном воздействии, так же как и углеродная сталь. Однако серый чугун, имеет графитовые включения, разрушается быстрее, чем углеродная сталь. Очевидно, графитовые включения действуют как очаги разрушения (надрезы), вокруг которых концентрируются напряжения, вследствие чего процесс разрушения усиливается.

Кафедра ТКМ МАДИ занимается разработкой покрытий с заданными свойствами, наносимых на поверхности деталей, выполненных из сталей и чугунов.

Во многих практически важных случаях оказывается достаточным надежно защитить лишь внешнюю поверхность деталей, поэтому в промышленности широко применяется защита поверхностного слоя деталей износостойкими и коррозионно-устойчивыми покрытиями. За последние годы все большее внимание привлекают диффузионные защитные покрытия, наносимые на сталь и другие материалы с целью предотвращения коррозии.



Рис. 3 – Изделия после нанесения диффузионных покрытий

Диффузионные покрытия обладают существенным преимуществом по сравнению с другими видами покрытий, прежде всего потому, что прочность связи их с основным металлом в результате проникновения наносимого вещества в кристаллическую решетку защищаемого материала, значительно превышает прочность связи других видов покрытий. Кроме того, постепенное падение концентрации наносимого вещества по глубине покрытия создает менее резкое изменение свойств, при переходе от покрываемого металла к внешней поверхности диффузионного слоя. На рисунке 3 показаны изделия с нанесённым диффузионным покрытием.

При образовании диффузионных слоев наблюдается проникновение наносимого вещества в глубину покрываемого металла и тем большее, чем выше температура и длительность процесса диффузии. В поверхностных слоях покрываемого металла наблюдается при этом образование новых фаз — химических соединений или твердых растворов.

В случае образования в поверхностных слоях металла химических соединений атомы металла растворителя и наносимого вещества сочетаются в строго определенных количественных соотношениях, и состав возникшей новой фазы может быть выражен той или иной химической формулой. Наиболее часто, однако, при нанесении диффузионных покрытий в поверхностном слое наблюдается образование твердых растворов.

Для проверки стойкости поверхностей, имеющих покрытия, к гидроабразивному изнашиванию была создана экспериментальная установка, в которой поверхности испытываемых деталей подвергаются гидроабразивному воздействию потока воды с включениями твердых абразивных частиц песка.

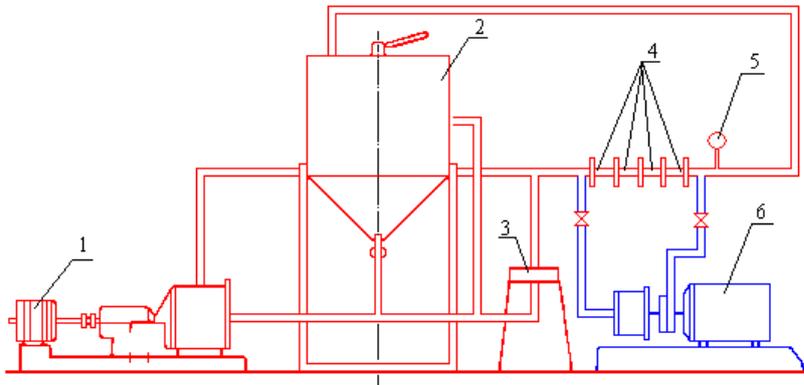


Рис. 4 – Структурная схема установки для испытания при гидроабразивном износе

Схема установки показана на рисунке 4. Установка представляет собой замкнутый трубопровод, по которому помпой (1) перекачивается пульпа (вода с включениями частиц песка и мелкого гравия). Бак (2) служит для хранения пульпы. Мерный бачёк (3) служит для определения скорости движения пульпы по трубопроводу. Манометром (5) контролируется давление в трубопроводе перед испытательным участком.



Рис. 5 – Обработанные детали с вырезанными из них образцами после испытаний

В трубу врезан испытательный участок 4, в котором устанавливаются детали-образцы из испытываемых материалов. Образцы (рис. 5.) при работе установки испытывают в условия гидроабразивного нагружения, близкие к тем, что испытывают рабочие колеса насосов при перекачке жидкости с включениями твердых частиц.

Детали-образцы представляют собой вырезанные части рабочие колеса и статора насоса. Изготовленные из серого чугуна марки СЧ 28-48, ротор и статор насоса (рис. 1), подвергали диффузионной металлизации по следующим режимам, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические режимы металлизации деталей насоса

Вид обработки	Температура Насыщения, С°	Время, часы	Глубина Покрытия, мм	Твёрдость, HV	Группа хрупкости
Алитирование	650...850	12	0,9...1,0	350...380	1
Титанирование	1050	10	0,6...0,7	250...280	1
Силицирование	1080	11	0,5...0,6	300	3
Хромирование	1100	8	0,25...0,3	180...230	1

После металлизации детали обезжировали и подвергали нитроцементации либо азотированию с применением каталитических плёнок.

В результате такой обработки твёрдость диффузионных слоёв резко возросла (Таблица 2).

Таблица 2 – Механические характеристики модифицированных деталей

Вид обработки	Глубина Покрытия, мм	Твёрдость, HV	Группа хрупкости
Алитирование + азотирование	0,65	1200	2
Титанирование + азотирование	0,58	1650	1
Силицирование + азотирование	0,63	950	2
Хромирование + азотирование	0,6	950...1000	1
Хромирование + нитроцементация	0,35	1000...1050	1

Зависимости изменения твёрдости поверхности, толщины покрытия и хрупкости от типа металлизации представлены на рисунке 6.

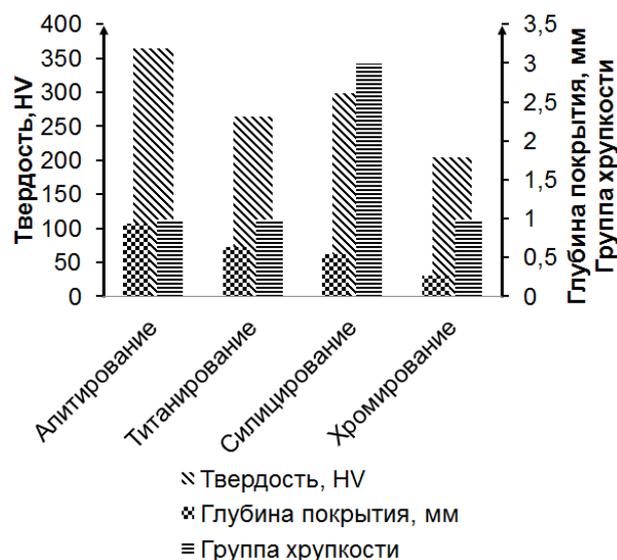


Рис. 6 – Свойства поверхностных слоёв после металлизации

Зависимости изменения твёрдости поверхности, толщины покрытия и хрупкости от типа общей термической обработки представлены на рисунке 7.

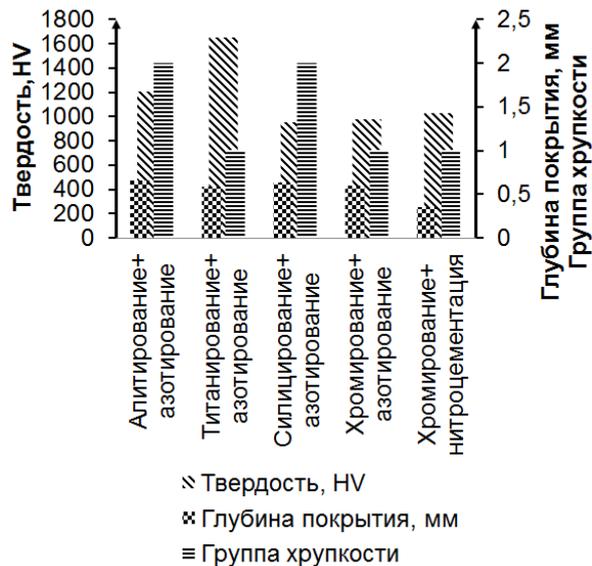


Рис. 7 – Свойства поверхностных слоёв от типа общей термической обработки

Одно из обработанных рабочих колёс, поверхность которого была модифицирована алюминием, изготовили шлиф. На рис. 5 показана структура этого покрытия. Поверхностный слой имеет однородную структуру на всю глубину.

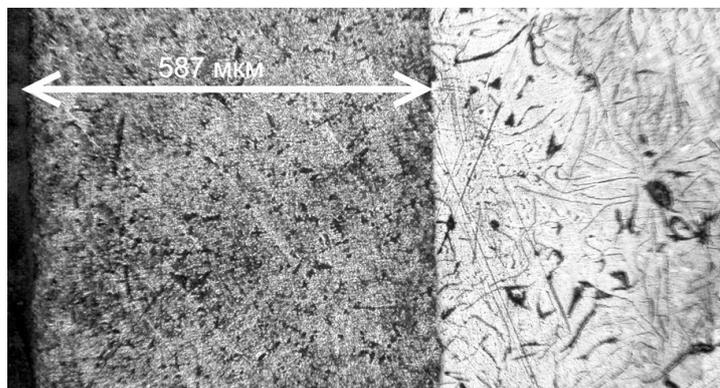


Рис. 8 – Структура алитированного покрытия на сером чугуна СЧ-28-48

На первом этапе было произведено испытание вырезанных частей рабочих колёс. Колёса испытывали в пульпе, состоящей из крупных частиц (3...17 мм) горной породы (аргиллит) при их концентрации 16,6 г/л. Скорость потока пульпы 5 м/сек. Время испытания 4 часа. Одновременно испытывали два колеса с диффузионными покрытиями и один эталонный. Износ определяли взвешиванием деталей до и после испытания с точностью до 0,001г. Результаты испытаний приведены на рисунке 9.

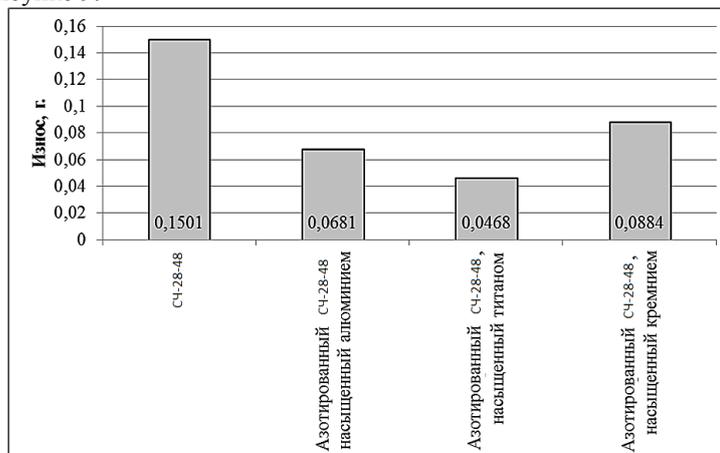


Рис. 9 – Зависимость стойкости рабочего колеса от типа химико-термической обработки

На втором этапе испытаний испытательный участок 4 (рис. 4) был заменен устройством, показанным на рис. 10.

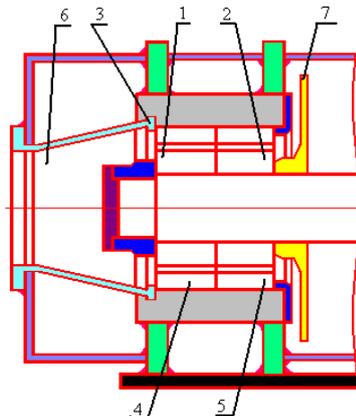


Рис. 10 – Стенд для испытаний деталей центробежного насоса

Устройство представляет собой участок водопроточного тракта установки, в котором установлены втулки (1 и 2), внутренние поверхности которых при испытании на установке подвергаются гидроабразивному изнашиванию. Втулки-образцы при работе установки испытывают условия гидроабразивного нагружения, близкие к тем, что испытывают элементы гидравлических линий, а также корпусные детали насосов при перекачке жидкости с включениями твердых частиц.

Втулки испытывали пульпой, в состав которой входили частицы песка (72%) и породы (28%) одинаковой дисперсности (0,25...1,0 мм). Концентрация твердых частиц в пульпе 83 г/литр. Время испытаний 8 часов. Скорость потока пульпы 12,5 м/сек. Результаты испытаний образцов-втулок приведены на рисунке 11.

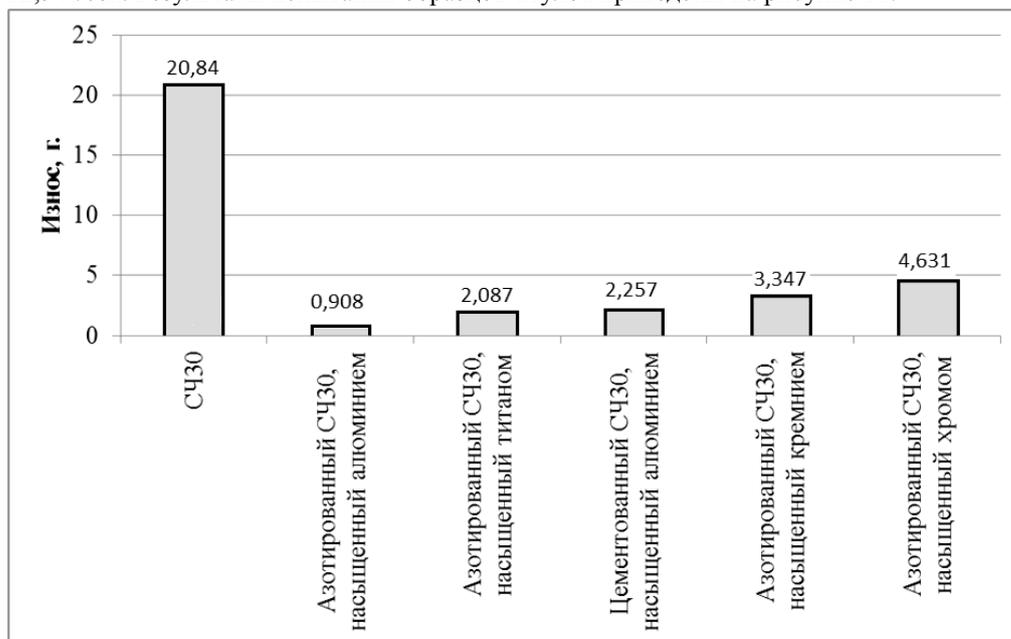


Рис. 11 – Зависимость стойкости втулок статора от типа химико-термической обработки

По результатам испытаний установлено, что металлизированные термодиффузионные покрытия значительно повышают стойкость материалов к гидроабразивному изнашиванию. Также данные покрытия обеспечивают высокую коррозионную стойкость и значительное снижение образующихся отложений. Повышение коррозионной стойкости и снижение отложений может быть объяснено тем, что комбинированные термодиффузионные покрытия снижают свободную поверхностную энергию. Последующее азотирование проникало на глубину до 0,5 мм, создавая слой, поверхность которого обладала нормальным, присущим азотированной стали внешним видом и твердостью в пределах 1000...1150HV. Хрупкость поверхности соответствовала I, а в худшем случае— III группе распространенной шкалы хрупкости.

Спектральное исследование покрытия (рис. 8), показало структуру, свойственную азотированным слоям, и состояло из смеси ϵ и γ -фаз у поверхности, далее — браунит, а затем отдельные иглы нитридов, переходящие в сердцевину образцов. При этом отчетливо отмечался слой, насыщенный алюминием.

В азотированном слое обнаруживаются наиболее благоприятные результаты. В процессе азотирования диффузия алюминия медленно продолжается вглубь и перераспределяет его концентрацию в слое, несколько уменьшая перенасыщенность периферийной зоны и обеспечивая легирование почти на всю глубину азотирования.

Подкорковый слой, обнаруживающий иглы нитридов, отличается также повышенной твердостью порядка 255...260HV, вдвое больше твердости сердцевины. Этот слой служит опорой для корки модифицированного покрытия и обеспечивает постепенный переход к сердцевине.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о возможности азотировании обыкновенных серых чугунов при условии их предварительного поверхностного легирования (алитирования, титанирования с последующим азотированием). Получаемая при этом твердость поверхности не уступает азотированным нитраллоям и в худшем случае все же, превышает твердость стального цементированного закаленного слоя. Некоторое усложнение процесса не умаляет, его экономического эффекта, так как при этом отпадает надобность в применении дорого стоящих сплавов, для изготовления деталей насосов.

Выводы

1. Комбинированные термодиффузионные покрытия обеспечивают повышение твердости обработанной поверхности до 1000—1700 HV при приемлемой хрупкости образовавшегося покрытия.
2. Покрытие значительно повышает стойкость поверхности к гидроабразивному изнашиванию. В ходе эксперимента было установлено снижение износа (определенного массовым методом) в 1,7—2,3 раз.
3. Покрытия обеспечивают значительное повышение коррозионной стойкости поверхности.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Александров В.А. Изучение влияния кавитационной эрозии на деформацию и разрушение изделий из стали / В. А. Александров, Д. С. Фатюхин // Деформация и разрушение материалов 2012. №10. С. 38-40.
2. Петрова Л. Г. Интенсификация процесса азотирования конструкционной низкоуглеродистой стали путём формирования каталитической плёнки оксида меди / Л. Г. Петрова, В. А. Александров, А. Ю. Малахов и др. // Упрочняющие технологии и покрытия, №3 (123), 2015, С. 37-44.
3. Александров В. А. Способ упрочнения поверхностного слоя стальных деталей / В. А. Александров, В. Ф. Казанцев, Р. И. Никметзянов // Патент на изобретение RUS №2558020 C1, зарегистрирован 27.07.2015.
4. Александров В. А. Азотирование деталей гибридного автомобиля через наноплёнки окислов металлов, обладающих полупроводниковыми свойствами / В. А. Александров, А. Ю. Иванов, А. В. Степанов // Научные технологии в машиностроении. №10(52), 2015, с. 6-10.
5. Приходько В. М. Влияние ультразвуковой кавитации, на состояние поверхностного слоя азотированной стали / В. М. Приходько, В. А. Александров, Д. С. Фатюхин и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. № 5(719). 2015г. С. 55-59.
6. Петрова Л.Г. Регулирование строения диффузионного слоя в углеродистых сталях при азотировании с предварительным нанесением каталитических плёнок оксида меди / Л. Г. Петрова, В. А. Александров, А. Ю. Малахов // Металловедение и термическая обработка металлов. 2017. № 3 (741). С. 48-53.
7. Александров В. А. Комбинированный технологический способ ХТО для поверхностного упрочнения сталей / В. А. Александров // Металловедение и термическая обработка металлов. 2010. №5. С. 27-31.
8. Александров В. А. Перспективы развития химико-термической обработки сталей: теория – эксперимент – технологии / В. А. Александров, С. И. Барабанов // М.: МАДИ, 2011. С.
9. Александров В. А. Получение многослойных комбинированных покрытий на поверхности стальных изделий для повышения эксплуатационных характеристик / В. А. Александров // Упрочняющие технологии и покрытия 2014. №12, С. 13-19.
10. Петрова Л. Г. Повышение коррозионной стойкости стальных заглушек на двигателях способами комбинированной металлизации алюминием и титаном / Л. Г. Петрова, В. А. Александров, П. Е. Демин // Упрочняющие технологии и покрытия 2013. №9 (105). С. 26-23.
11. Petrova L.G. Improvement of operation lifetime of machine parts with composite coatings in wear conditions / L. G. Petrova, V.A. Aleksandrov, A.Yu. Malakhov and others // Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET) Vol 8, Issue 10, October 2017, pp. 855-861, Article ID: IJMET_08_10_092
12. Petrova L.G. Control of the Structure of Diffusion Layer in Carbon Steels Under Nitriding with Preliminary Deposition of Copper Oxide Catalytic Films / L. G. Petrova, V. A. Aleksandrov, A. Y. Malakhov // Metal Science and Heat Treatment, 2017

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aleksandrov V.A. Izuchenie vliyaniya kavitacionnoj ehrozii na deformaciyu i razrushenie izdelij iz stali [The study of the effect of cavitation erosion on the deformation and destruction of steel] / V. A. Aleksandrov, D. S. Fatyuhin // Deformaciya i razrushenie materialov [Deformation and destruction of materials] 2012. №10. S. 38-40. [in Russian]
2. Petrova L. G. Intensifikaciya processa azotirovaniya konstrukcionnoj nizkouglerodistoj stali putyom formirovaniya kataliticheskoy plynki oksida medi [Intensification of the nitriding process of structural low-carbon steel by forming a catalytic film of copper oxide] / L. G. Petrova, V. A. Aleksandrov, A. YU. Malahov i dr. // Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya [Strengthening technologies and coatings], №3 (123), 2015, S. 37-44. [in Russian]
3. Aleksandrov V. A. Sposob uprochneniya poverhnostnogo sloya stal'nyh detalej [Method for hardening of the surface layer of steel parts] / V. A. Aleksandrov, V. F. Kazancev, R. I. Nikmetzyanov // Patent na izobretenie [Patent for invention] RUS №2558020 C1, registered on 27.07.2015. [in Russian]
4. Aleksandrov V. A. Azotirovanie detalej gibridnogo avtomobilya cherez nanoplyonki okislov metallov, obladayushchih poluprovodnikovymi svojstvami [Nitriding of parts of a hybrid car through nanofilms of metal oxides possessing semiconductor properties] / V. A. Aleksandrov, A. YU. Ivanov, A. V. Stepanov // Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii [High technology in engineering]. №10(52), 2015, s. 6-10. [in Russian]
5. Prihod'ko V. M. Vliyaniye ul'trazvukovoj kavitacii, na sostoyaniye poverhnostnogo sloya azotirovannoj stali [Influence of ultrasonic cavitation on the state of the surface layer of nitrided steel] / V. M. Prihod'ko, V. A. Aleksandrov, D. S. Fatyuhin i

dr. // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov [Metallurgy and thermal treatment of metals]. № 5(719). 2015g. S. 55-59. [in Russian]

6. Petrova L.G. Regulirovanie stroeniya diffuzionnogo sloya v uglerodistykh stalyah pri azotirovanii s predvaritel'nym naneseniem kataliticheskikh plyonok oksida medi [Regulation of the structure of the diffusion layer in carbon steels during nitriding with preliminary deposition of catalytic films of copper oxide] / L. G. Petrova, V. A. Aleksandrov, A. YU. Malahov // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov [Metal Science and Heat Treatment of Metals]. 2017. № 3 (741). S. 48-53. [in Russian]

7. Aleksandrov V. A. Kombinirovannyj tekhnologicheskij sposob HTO dlya poverhnostnogo uprochneniya stalej [Combined technological method HTO for surface hardening of steels] / V. A. Aleksandrov // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov [Metallurgy and heat treatment of metals]. 2010. №5. S. 27-31. [in Russian]

8. Aleksandrov V. A. Perspektivy razvitiya himiko-termicheskoy obrabotki stalej: teoriya – ehksperiment – tekhnologii [Perspective Prospects for the development of chemical heat treatment of steels: theory - experiment - technology] / V. A. Aleksandrov, S. I. Barabanov // M.: MADI, 2011. S. [in Russian]

9. Aleksandrov V. A. Poluchenie mnogoslojnykh kombinirovannykh pokrytij na poverhnosti stal'nykh izdelij dlya povysheniya ehkspluatacionnykh karakteristik [multilayered composite coatings on the surface of steel products to improve performance] / V. A. Aleksandrov // Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya [Strengthening technologies and coatings]. 2014. №12, S. 13-19. [in Russian]

10. Petrova L. G. Povyshenie korrozionnoj stojkosti stal'nykh zaglushek na dvigatelyah sposobami kombinirovannoy metallizatsii alyuminiem i titanom [Increase of corrosion resistance of steel plugs on engines by means of combined metallization with aluminum and titanium] / L. G. Petrova, V. A. Aleksandrov, P. E. Demin // Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya [Strengthening technologies and coatings]. 2013. №9 (105). S. 26-23.

11. L.G. Petrova, V.A. Aleksandrov, A.Yu. Malakhov, V.M. Zinchenko, V.I. Karagodin /Improvement of operation lifetime of machine parts with composite coatings in wear conditions// Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET) Volume 8, Issue 10, October 2017, pp. 855-861, Article ID: IJMET_08_10_092

12. Petrova, L.G. Control of the Structure of Diffusion Layer in Carbon Steels Under Nitriding with Preliminary Deposition of Copper Oxide Catalytic Films / L.G. Petrova, V.A. Aleksandrov, A.Y. Malakhov // Metal Science and Heat Treatment, 2017

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.005>

ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА УНИВЕРСИТЕТА

Научная статья

Андреева А.А.*

Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия

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

Аннотация

В статье рассматривается возрастающий интерес современных научных деятелей к проблеме организации информационно-образовательной среды учебных заведений, влияние развития информационных технологий на формирование информационно-образовательной среды, различные подходы к пониманию информационно-образовательной среды, раскрывается ее сущность и структура, устанавливаются основные требования к организации информационно-образовательной среды для ее эффективного функционирования, предлагаются варианты организации эффективного информационно-образовательного пространства высших учебных заведений.

Ключевые слова: информационные технологии, информационно-образовательная среда, цифровой университет.

INFORMATION AND EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF UNIVERSITY

Research article

Andreeva A.A.*

St. Petersburg State University of Economics, St. Petersburg, Russia

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

Abstract

The article discusses the growing interest of modern scholars to the problem of organizing information and educational environment of educational institutions, the impact of information technologies development on the formation of the information and educational environment, various approaches to understanding the information and educational environment, reveals its essence and structure, establishes basic requirements for organizing information and educational environment for its effective functioning, offers options for the organization of effective information and educational space of higher educational institutions.

Keywords: information technology, information and educational environment, digital university.

Проявление интереса к теме информационно-образовательной среды в научной среде можно заметить с конца XX в. Подавляющая же часть научных материалов, посвященных теме информационно-образовательной среды, были изданы в начале XXI, что указывает на относительно недавно возникший интерес к проблеме формирования

эффективной информационно-образовательной среды учебных заведений, указывает на растущую заинтересованность исследователей в изучении данного вопроса с учетом развивающихся информационных технологий [1, 3, 5, 6].

Актуальность заявленной темы определяется прямой зависимостью развития информационно-образовательной среды от развития информационных технологий, с каждым годом все сильнее оказывающих влияние на развитие экономики в целом и образования в частности. В России этот факт находит отражение в государственной поддержке создания инфраструктуры социально ориентированных отраслей, что отмечено в Стратегии развития отрасли информационных технологий в РФ на 2014-2020 гг. и на перспективу до 2025 г., принятой Правительством РФ [9, 10].

Развивающиеся информационные технологии обуславливают возникновение возможностей для повышения качества предоставления образовательных услуг и повышения эффективности и оперативности работы внутренних подразделений университета, что включает в себя возможности использования систем планирования ресурсов, систем электронного документооборота, систем поддержки принятия решений.

Благодаря развитию информационных технологий и выделилось такое понятие, как информационно-образовательная среда университета цифрового университета.

Цифровой, или электронный, университет можно определить как форму функционирования образовательного учреждения в электронном пространстве, доступ к которому обеспечивается с помощью современных информационных технологий и средств связи.

В рамках цифровой формы организации деятельности университета информационно-образовательная среда является ключевым критерием, обеспечивающим его функционирование, развитие и востребованность.

Теме информационной среды ВУЗа посвящена ежегодная международная научно-техническая конференция «Информационная среда ВУЗа» и включает в себя такую секцию, как «Новые информационные технологии в управлении и учебном процессе». В издающемся по итогу проведения конференции сборнике представляются результаты научных исследований ученых, объединенные идеей применения новых информационных технологий [12].

На сегодняшний день существуют различные подходы к трактованию данного термина.

Первый подход отличается тем, что делает больший акцент на образовательной составляющей.

В Федеральном законе об образовании РФ компонентами электронной информационно-образовательной среды указаны электронные, информационные, образовательные ресурсы, совокупности информационно-телекоммуникационных технологий, соответствующие технологические средства, предоставляющие возможность для полноценного освоения образовательных программ вне зависимости от местонахождения обучающегося [8].

Кечиев Л.Н., Путилов Г.П., Тумковский С.Р. информационно-образовательную среду понимают как совокупность технических средств, реализующих образовательный процесс [5, С. 37].

Схожее с ним определение И.М. Осоловской и Ю.Е. Шабалина, которые определяют информационно-образовательную среду как информационную среду, создающуюся с целью осуществления процесса обучения [7, С. 22].

Ильченко О.А. под информационно-образовательной средой понимает совокупность информационно-технических, учебно-методических средств, направленных на обеспечение учебного процесса [11].

Несколько иной подход к трактованию информационно-образовательной среды предлагают следующие авторы.

Андреев А.А. включает в состав информационно-образовательной среды носители информации в печатной, электронной форме, информационно-технические средства, прикладные программы, печатные источники, а также программные продукты, на базе которых осуществляется административная и финансово-хозяйственная деятельность учебного заведения [1, С. 111].

Структура информационно-образовательной среды, предложенная А.А. Андреевым, отличается тем, что к основным компонентам автор относит и программные средства, обеспечивающие автоматизацию работы внутренних структур учебного заведения, сопровождающих учебный процесс.

Схожей точки зрения придерживается Волкова Е.А., которая определяет следующую структуру информационно-образовательной среды:

1. Управленческий компонент;
2. Кадровый;
3. Информационно-содержательный;
4. Организационно-коммуникативный;
5. Техничко-технологический [4, С. 376].

Подобный подход к пониманию информационно-образовательной среды университета демонстрирует Бабин Е.Н., определяющий информационную среду высшего учебного заведения как единый комплекс информационных систем и информационно-технической инфраструктуры, благодаря которым обеспечивается автоматизация функциональных процессов учебного заведения [2, С. 71].

Большое количество данных, скорость реакции на запросы диктуют необходимость использования информационных систем практически на каждом этапе функционирования современного университета. На сегодняшний день в университетах активно применяются прогрессивные информационные технологии и сервисы, формирующие единую информационную инфраструктуру учебного заведения.

На сегодняшний день для эффективного функционирования выдвигаются следующие требования к информационно-образовательной среде образовательного учреждения:

- единая база данных;
- разовый ввод данных и их дальнейшая обработка и редактирование;
- многопользовательский режим работы с данными;
- определение полномочий для каждого пользователя;
- возможность обмена данными между различными программами [13].

Проблемой создания эффективной информационно-образовательной среды в настоящее время заинтересовано множество авторов, что находит отражение в появлении новых научных публикаций и исследований.

Большинство авторов сегодня подходят к понятию «информационно-образовательная среда» с обучающей, педагогической стороны, исследуя больше образовательную составляющую понятия с применением информационных технологий: формирование электронных интерактивных обучающих ресурсов, построение образовательных порталов и порталов дистанционного обучения, электронных библиотек. Большое количество работ посвящено анализу сути и особенностям обучения в электронном образовательном пространстве.

Но не меньший интерес представляет изучение информационной составляющей понятия, а именно – возможности применения современных информационных технологий для формирования и обеспечения эффективной информационной среды университета, позволяющей вносить, обрабатывать, получать доступ к информации не только студентам и преподавателям, но и абитуриентам, сотрудникам различных внутренних подразделений ВУЗа.

Основываясь на анализе различных определений можно сделать вывод, что информационно-образовательная среда современного цифрового университета представляет собой систему, состоящую из различных подсистем (информационных, технических и учебно-методических), направленно обеспечивающих образовательный и сопутствующие ему процессы, а также участников этих процессов.

Основными направлениями организации эффективного информационно-образовательного пространства высшего учебного заведения можно назвать:

- использование систем дистанционного обучения, электронных библиотек, систем электронного документооборота;
- организация баз данных университета и установление взаимосвязей между ними в единой информационной системе;
- использование интернет-порталов для взаимодействия между участниками образовательного процесса;
- возможности расширения используемой информационной системы путем вывода необходимой информации на новые информационные порталы.

Подводя итоги можно сделать вывод о том, что в наше время интерес к формированию эффективной информационно-образовательной среды высших учебных заведений как к определяющему критерию функционирования и развития цифрового университета усиливается как со стороны научных кадров и исследователей, так и со стороны правительства. В статье были рассмотрены понятие и структура информационно-образовательной среды с точки зрения «образовательного» и «информационного» подходов, а по итогу приведено обобщающее оба подхода трактование. Также в статье были определены основные направления организации информационно-образовательного пространства высшего учебного заведения, обеспечивающие эффективность его функционирования в рамках дистанционных и онлайн-форм организации учебного процесса.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Андреев А. А. Некоторые проблемы педагогики в современных информационно-образовательных средах / А. А. Андреев // Инновации в образовании. – 2004. – № 6. – С. 98–112.
2. Бабин Е. Н. Индикаторы инновационности образовательных услуг в сетевой среде университета / Е. Н. Бабин // Университетское управление: практика и анализ. – 2013. – № 1. – С. 70–77.
3. Башмаков М. И. Информационная среда обучения / М. И. Башмаков, С. Н. Поздняков, Н. А. Резник // Изд-во: Свет, 1997. – 400 с.
4. Волкова Е. А. Организация информационно-образовательной среды в ОУ как средство реализации требований ФГОС / Е. А. Волкова // Образовательная среда сегодня: стратегии развития : материалы II междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. – С. 376–377.
5. Кечиев Л. Н. Методы и средства построения образовательного портала технического вуза / Л. Н. Кечиев, Г. П. Путилов, С. Р. Тумковский // Открытое образование. – № 2. – 2002. – С. 34–42.
6. Кирвас В. А. Информационно-образовательная среда университета / В. А. Кирвас // Экспертные оценки элементов учебного процесса : материалы IX межвуз. науч.-практ. конф. – Х.: Изд-во: НУА, 2007. – С. 39–41.
7. Осмоловская И. М. Состав и структура модели образовательного процесса в информационно-образовательной среде / И. М. Осмоловская, Ю.Е. Шабалин // Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – 2014. – № 19 (38). – С. 18–32.
8. Российская Федерация. Законы. Об образовании в Российской Федерации : [принят Гос. Думой 21 декабря 2012 г. : одобр. Советом Федерации 26 декабря 2012 г.] [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 15.10.2018).
9. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ. ИТ-отрасль. [Электронный ресурс]. – URL: <https://minsvyaz.ru/ru/activity/directions/418/> (дата обращения: 15.10.2018).
10. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ. Стратегия развития отрасли информационных технологий в РФ на 2014–2020 гг. и на перспективу до 2025 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://minsvyaz.ru/ru/documents/4084/> (дата обращения: 15.10.2018).
11. Ильченко О. А. Организационно-педагогические условия разработки и применения сетевых курсов в учебном процессе: На примере подготовки специалистов с высшим образованием [Электронный ресурс] / О. А. Ильченко // дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08. – М., 2002. – С. 193. – URL: <http://www.dissercat.com/content/organizatsionno-pedagogicheskie-usloviya-razrabotki-i-primeneniya-setevykh-kursov-v-uchebnom> (дата обращения: 15.10.2018).
12. Международная научно-техническая конференция «Информационная среда вуза». [Электронный ресурс]. – URL: <http://isv.ivgpu.com/> (дата обращения: 15.10.2018).

13. Открытый класс. Сетевые образовательные сообщества. Понятие информационно-образовательной среды ОУ [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.openclass.ru/node/21749> (дата обращения: 15.10.2018).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Andreev A. A. Nekotorye problemy pedagogiki v sovremennykh informacionno-obrazovatel'nykh sredah [Some problems of pedagogy in modern information-educational environments] / A. A. Andreev // Innovacii v obrazovanii [Innovation in education]. – 2004. – № 6. – P. 98–112. [in Russian]
2. Babin E. N. Indikatory innovacionnosti obrazovatel'nykh uslug v setевой среде universiteta [Indicators of innovative educational services in the network environment of the university] / E. N. Babin // Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz [University management: practice and analysis]. – 2013. – № 1. – P. 70–77. [in Russian]
3. Bashmakov M. I. Informacionnaya sreda obucheniya [Information learning environment] / M. I. Bashmakov, S. N. Pozdnyakov, N. A. Reznik // Izd-vo: Svet, 1997. – 400 p. [in Russian]
4. Volkova E. A. Organizaciya informacionno-obrazovatel'noj sredy v OU kak sredstvo realizacii trebovanij FGOS [Organization of information and educational environment in EI as a means of implementing the requirements of the FSS] / E. A. Volkova // Obrazovatel'naya sreda segodnya: strategii razvitiya : Materialy II mezhdunar. nauch.-prakt. konf [Educational environment today: development strategies : Materials II Intern. scientific and practical conference]. – Cheboksary: CNS «Interaktiv plus», 2015. – P. 376–377. [in Russian]
5. Kechiev L. N. Metody i sredstva postroeniya obrazovatel'nogo portala tekhnicheskogo vuza [Methods and tools for constructing an educational portal of a technical university] / L. N. Kechiev, G. P. Putilov, S. R. Tumkovskij // Otkrytoe obrazovanie [Opened education]. – № 2. – 2002. – P. 34–42. [in Russian]
6. Kirvas V. A. Informacionno-obrazovatel'naya sreda universiteta / V. A. Kirvas // Ehkspertnye ocenki ehlementov uchebnogo processa : Materialy IX mezhvuz. nauch.-prakt. konf [Expert assessment of the elements of the educational process : Materials IX intercollegiate scientific and practical conference]. – H.: Izd-vo: NUA, 2007. – P. 39–41. [in Russian]
7. Osmolovskaya I. M. Sostav i struktura modeli obrazovatel'nogo processa v informacionno-obrazovatel'noj среде [The composition and structure of the model of the educational process in the information educational environment] / I. M. Osmolovskaya, Y. E. Shabalin // Vladimirskij gosudarstvennyj universitet im. A. G. i N. G. Stoletovykh [Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletovs]. – 2014. – № 19 (38). – P. 18–32. [in Russian]
8. Rossijskaya Federaciya. Zakony. Ob obrazovanii v Rossijskoj Federacii [Russian Federation. Laws. About education in the Russian Federation] : [adopted by the State Duma on December 21, 2012; approved by the Federation Council on December 26, 2012] [Electronic resource]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (accessed: 15.10.2018). [in Russian]
9. Ministerstvo cifrovogo razvitiya, svyazi i massovykh kommunikacij RF. IT-otrasl' [Ministry of Digital Development, Communications and Mass Communications of the Russian Federation. IT industry] [Electronic resource]. – URL: <https://minsvyaz.ru/ru/activity/directions/418/> (accessed: 15.10.2018). [in Russian]
10. Ministerstvo cifrovogo razvitiya, svyazi i massovykh kommunikacij RF. Strategiya razvitiya otrasli informacionnykh tekhnologij v RF na 2014-2020 gg. i na perspektivu do 2025 g. [The Ministry of Digital Development, Communications and Mass Communications of the Russian Federation. The development strategy of the information technology industry in the Russian Federation for 2014-2020 and for the future until 2025] [Electronic resource]. – URL: <https://minsvyaz.ru/ru/documents/4084/> (accessed: 15.10.2018). [in Russian]
11. Il'chenko O. A. Organizacionno-pedagogicheskie usloviya razrabotki i primeneniya setevykh kursov v uchebnom processe: Na primere podgotovki specialistov s vysshim obrazovaniem [Organizational and pedagogical conditions for the development and application of online courses in the educational process: On the example of training specialists with higher education] [Electronic resource]. / O. A. Il'chenko // dis. ... of PhD in Pedagogical sciences: 13.00.08. – M., 2002. – P. 193. – URL: <http://www.dissercat.com/content/organizatsionno-pedagogicheskie-usloviya-razrabotki-i-primeneniya-setevykh-kursov-v-uchebnom> (accessed: 15.10.2018). [in Russian]
12. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya «Informacionnaya sreda vuza» [International Scientific and Technical Conference «University Information Environment»] [Electronic resource]. – URL: <http://isv.ivgpu.com/> (accessed: 15.10.2018). [in Russian]
13. Otkrytyj klass. Setevye obrazovatel'nye soobshchestva. Ponyatie informacionno-obrazovatel'noj sredy OU [Open class. Network educational communities. The concept of educational environment of the educational institution] [Electronic resource]. – URL: <http://www.openclass.ru/node/21749> (accessed: 15.10.2018). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.006>

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ВО ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ЗАПОРНЫХ ЗАДВИЖЕК

Научная статья

Асланов Д.Н.^{1,*}, Гусейнли З.С.²

¹ORCID: 0000-0001-8008-9532;

²ORCID:0000-0002-7167-2512;

^{1,2} Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, Баку, Азербайджан

* Корреспондирующий автор (tribo72[at]mail.ru)

Аннотация

В статье изучается напряженно-деформационная состояния уплотнителя фонтанной арматуры. Невозможность получения точных значений расчета напряжений в фланцевых соединениях в конечном итоге отрицательно влияет на работу уплотнения и снижает его срок службы.

С этой целью использован вариационный метод исчисления Канторовича. Полученные формулы для определения нормальных напряжений сравнивались с принципами Лагранжа.

Принимая во внимание выше изложенного в данном статье используя метода Канторовича определяются точные значения напряжения в прокладках уплотнения фланцевого соединения.

Установлено, что используя метода Канторовича получаем более точное значения нормальных напряжений, чем использование метода Ритца.

Ключевые слова: композитные материалы, нормальное напряжения, вариационный принцип Лагранжа, гипотез плоского сечения, не сжимаемость.

MAINTAINING TIGHTNESS IN FLANGE CONNECTIONS OF GATE VALVES

Research article

Aslanov J.N.^{1,*}, Huseynli Z.S.²

¹ORCID: 0000-0001-8008-9532;

²ORCID: 0000-0002-7167-2512;

^{1,2} Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

* Corresponding author (tribo72[at]mail.ru)

Abstract

The work examines the stress-strain state of wellhead equipment seals. The inability to obtain accurate values for calculating the stress in flange connections extremely negatively affects the operation of a seal and reduces its service life.

Due to this, the variation method of Kantorovich calculation is used. The resulting formulas for determining normal stresses are compared with the Lagrange principles.

Taking into account things mentioned above in this article and using the Kantorovich method the exact strain values in the gaskets seals of flange connection are determined.

It is established that using the Kantorovich method; we get a more accurate value of normal stresses than with the use of the Ritz method.

Keywords: composite materials, normal stresses, Lagrange variational principle, flat section hypotheses, non-compressibility.

Затворные устройства являясь одним из основных узлов фонтанной арматуры с ним соединяется фланцевыми соединениями. Уплотнения на фланцевых соединениях получается с использованием композитных колец и различных марок стали с прочностью 100-120 НВ. Не равномерное посадка этих элементов и подвергание их напряженной деформации в гнезде снижает их долговечность [7, С. 44212-44216], [8, С. 78-81], [9, С.42-54], [10, С. 95-102].

Для обеспечения герметичности в узлах обеспечивающих герметизации и соединения различного назначения частей фонтанной арматуры широко используются уплотнители. На частях являющихся основными узлами фонтанной арматуры, на пробковых кранов, на прямооточных задвижках, на регулируемых дросселей и между металлических поверхностей фланцевого соединения, уплотнения осуществляется с использованием уплотнителя, поэтому работоспособность уплотнителя тоже входит в критерий работоспособности.

Долговечность и эффективный работоспособность применяемых в фланцевых соединениях, в частях и узлах уплотнительных элементов напрямую зависит от правильной посадки его в гнезде. Т.е., геометрические размеры гнездо уплотнителя должно сконструировано соответственно с его геометрическими размерами. Здесь соответственно требованиям предъявляемых уплотнителю в зоне герметичности никаких «утечек», надежность эксплуатации, обеспечение долговечности является важной проблемой.

При соответственном выборе посадочному гнезду конструкций, эксплуатационных параметров, требуемых свойств уплотнителя его работоспособность повыситься в несколько раз. Для выбора конструкционных параметров уплотнителя в соответствии требуемых свойств нужен исследования деформированного положения и обобщения полученных результатов в рамках критерий требуемых свойств. В системах уплотнения определения критериев является основной задачей, эти критерии являются выбором параметров выполняющих требуемых технических функций уплотнительных деталей.

Для обеспечения герметичности соединения на двух и больших уплотненных эластическим материалом (уплотнителем) контактных зон оборудования нужно создавать такой контактной напряжении или деформации, чтобы герметичность сохранялась.

Для создания требуемой герметичности для требуемых характеристик (давление, температура и т.д.) в этой контактной зоне в эластическом уплотнителе нужно создавать такой уровень деформации, что контактное напряжения в этот момент и во времени рабочего процесса сохранялась в требуемом пределе.

Здесь первая задача является ведения эластического расчета, вторая исследование процесса напряжения релаксации. С этой целью основная направления является исследование функционала структурных потенциалов уплотнителя обеспечивающий требований, определения точных значений образуемых напряжений на играющей роль прокладке уплотнителя.

Эти функционалы являются деформационными потенциальными энергиями, определяющие структуру материала дополнительные энергии и зависщие от граничных конструкционных условий в герметизации узлов при стыковке (записывающие этих условий) «смешанными» функционалами.

Практика показывает, что использование композитных колец с целью уплотнения фланцевых соединений не отвечает требованиям условия работы. Также при посадки стальных прокладок в гнезде принимая во внимание его подвергаемой напряжения деформации выбирание соответствующих геометрических размеров для посадки повысится их долговечность. На фоне решений такого типа задач использовалось метод Ритца [2, 156-267], [5, С.31-34]. Невозможность получения точных значений расчета напряжений в фланцевых соединениях в конечном итоге отрицательно влияет на работу уплотнения и снижает его срок службы.

Принимая во внимание выше изложенного в данной статье используя метода Канторовича определяется точные значения напряжения в прокладках уплотнения фланцевого соединения.

Известно, что в кольцевом теле нормальное напряжения σ_z в любом сечении z получаем, [4, С 86-89], [6, С. 26-29], [1, С 244-260]:

$$\sigma_z = 2\varepsilon_z G + \sigma_0 = 2Gf'_{11} + \varphi_{11} = \sigma_0 \quad (1)$$

где: G –модуль сдвига уплотнения;

σ_0 - начальное напряжения в уплотнение;

f'_{11} -искомые функции перемещений;

φ_{11} - варьирующая величина функций перемещений.

Таким образом, сила в произвольном сечении z определяемая произведением σ_z на площадь сечения $\pi \cdot R^2$:

$$\sigma_z \cdot \pi \cdot R^2 = -\sigma_0 \pi \cdot R^2 \quad (2)$$

где

$$\sigma_0 = \frac{P}{\pi \cdot R^2}$$

В отличие от метода Ритца точность равна нагрузке P . В этом варианте нормальное напряжения σ_z от радиуса. Это очевидно, результат используемой при расчете гипотезы плоских сечений [5, С. 156-189], [6, С.110-293].

Рассмотрим решение этой задачи методом Канторовича без учета гипотезы плоских сечений [3, С. 200-293; 4, С. 86-89].Используя разложение в степенной гипотезы сечений, используя разложение в степенной ряд по r принимаем

$$U_1 = R_1 [f_{11}(\zeta) + \rho^2 f_{12}(\zeta)] \quad (3)$$

$$U_1 = R_1 [f_{211}(\zeta) + \rho^3 f_{22}(\zeta)] \quad (4)$$

$$S_0 = \varphi_{11}(\zeta) + \rho^2 \varphi_{12}(\zeta) \quad (5)$$

При таком задании перемещений U_1, U_2 условия несжимаемости может быть выполнено. Напишем функционал

$$J = \int_{-m}^m F(f'_{11}, f'_{12}, f'_{21}, f'_{22}, \varphi_{11}, \varphi_{12}) d\zeta + P \cdot R [f_{11}(m) - f_{11}(-m)] \quad (6)$$

В этом выражении учтено, что осевое перемещение на торцах уплотнителя не зависит от радиуса (жесткое крепление к металлическим опорам), т.е.

$$f_{12}m = 0; \quad f_{12}(-m) = 0$$

(7)

Под интегральная функция F определяется по формуле:

$$F = 2\pi \cdot R^3 G \left[\begin{aligned} & f_{21}^2 + \frac{5}{3} f_{22}^2 + 2f_{21} \cdot f_{22} + \frac{1}{2} f_{11}^2 + \frac{1}{6} f_{12}^2 + \frac{1}{2} f_{11} f_{12} + \frac{1}{8} f_{21}^2 + \\ & \frac{1}{16} f_{22}^2 + \frac{1}{2} f_{12}^2 + \frac{1}{6} f_{21} \cdot f_{22} + \frac{1}{2} f_{21} f_{12} + \frac{1}{3} f_{22}^2 f_{12} + \frac{1}{6} \left(\frac{1}{2} \cdot f_{11} \cdot \right. \\ & \left. \cdot \varphi_{11} + f_{22} \cdot \varphi_{11} + \frac{1}{4} f_{11} + \frac{1}{6} f_{12} \cdot \varphi_{12} + \frac{1}{2} f_{21} \cdot \varphi_{12} + \frac{2}{3} f_{22} \cdot \varphi_{12} \right) \end{aligned} \right] \quad (8)$$

Из условия $\sigma \cdot J = 0$ получим систему четырех дифференциальных уравнений .

$$\frac{df}{df_{ij}} - \frac{d}{d\zeta} \left(\frac{\partial F}{\partial f'_{ij}} \right) = 0 \quad (i, j = 1, 2)$$

или

$$\begin{aligned} f'_{11} + \frac{1}{2} f'_{12} + \frac{1}{G} \left(\frac{1}{2} \phi'_{11} + \frac{1}{4} \phi'_{12} \right) &= 0; \\ f_{12} + \frac{1}{2} f'_{21} + \frac{1}{3} f'_{22} - \frac{1}{3} f'_{12} - \frac{1}{2} f'_{11} - \frac{1}{G} \left(\frac{1}{4} \phi'_{11} + \frac{1}{6} \phi'_{12} \right) &= 0 \\ 2f_{21} + 2f_{22} - \frac{1}{4} f'_{21} - \frac{1}{6} f'_{22} - \frac{1}{2} f'_{12} + \frac{1}{G} \left(\phi_{11} + \frac{1}{2} \phi_{12} \right) &= 0 \\ \frac{3}{10} f_{22} + 2f_{21} - \frac{1}{8} f'_{22} - \frac{1}{6} f'_{21} - \frac{1}{3} f'_{12} + \frac{1}{G} \left(\phi_{11} + \frac{2}{3} \phi_{12} \right) &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

уравнения связана

$$f_{21} + \frac{1}{2} f'_{11} = 0; \quad f_{22} + \frac{1}{4} f'_{12} = 0 \quad (10)$$

и естественные граничные условия

$$\left. \frac{\partial F}{\partial f'_{11}} \right|_{\zeta=\pm m} + P \cdot R = 0 \quad (11)$$

учитывая уравнения связи (10) преобразуем систему уравнений (9) к виду

$$\begin{aligned} -\frac{1}{16} f_{11}^{IV} + \frac{3}{2} f'_{11} - \frac{1}{48} f_{12}^{IV} + f_{12}'' &= 0 \\ -\frac{1}{48} f_{11}^{IV} + f_{11}'' - \frac{1}{48} f_{12}^{IV} + \frac{17}{24} f_{12}'' - f_{12} &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

решение этой системы представим в следующей форме

$$f_{11} = C_1 Shk_1 \zeta + C_2 Sha \zeta \cos \beta \zeta + C_3 cha \zeta \cdot \sin \beta \zeta + C_4 \zeta$$

анализ результатов

$$f_{12} = \chi \cdot C_1 shK_1 \zeta + (C_2 \gamma_1 + C_3 \gamma_2) sha \zeta \cdot \cos \beta \zeta + (C_3 \gamma_1 - C_2 \gamma_2) Cha \zeta \sin \beta \zeta \quad (13)$$

где $K=15,97$ $\chi=-3,20$; $\chi=2,72$

$\beta = 1,75$; $\gamma_1=-1,43$; $\gamma_2=0,342$

При этом используем то обстоятельство, что осевое перемещение U_1 -кососимметричные функции в данной системе координат, а следовательно, $f_{11}(\zeta)$, $f_{12}(\zeta)$ также кососимметричные функции. Постоянные интегрирования C_1, C_2, C_3, C_4 определяем из необходимых для того, чтобы $U_2(\rho, m)$. На рис.1 показано распределение отношений напряжения σ_z / σ_0 на торце (сплошная кривая -1), и в середине (прерывистая линия -2) для различных отношений высоты уплотнителя к его радиусу $H/R=0,25$.

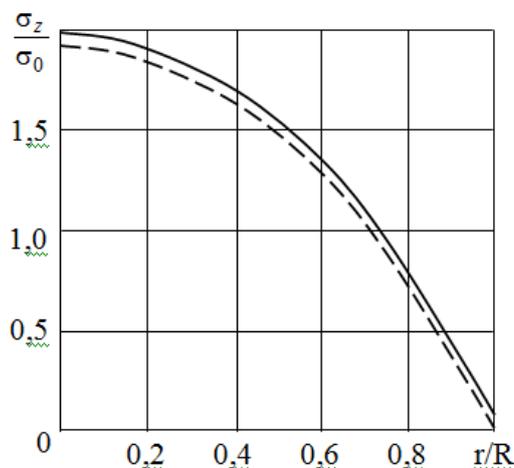


Рис. 1 – Распределение отношений напряжения σ_z / σ_0 :
на торце (сплошная кривая 1); в середине (прерывистая линия 2)

Зависимость распределение отношений напряжения σ_z / σ_0 для различных отношений высоты уплотнителя к его радиусу $H/R=0,25$ (рис. 1).

Принимая во виду формулу(13) можно прийти такому выводу, что создавая деформационные напряжения мы создаем распределения напряжений по радиусу уплотнителя в соотношении Н/Р. По отмеченному распределению в зависимости от радиуса уплотнителя определяются точные показатели образуемых напряжений в прокладках и гнездах. Предварительное определение параметров гнездо, его геометрических размеров, и создание его конструкции в зависимости от место посадки в гнезде, повышает в несколько раз его долговечность в процессе эксплуатации.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Корн Г. И. Справочник по математике / Г. И. Корн, Т.-М. Наука, 1974. – 632 с.
2. Данко П. Э. Высшая математика в упражнениях и задачах. / П. Э. Данко, А. Г. Попов // Часть I . М., Машиностроение, 1974. – 464 с.
3. Грин А. Большие упругие деформации и нелинейная механика сплошной среды./ А. Грин, Дж. Адкинс – М, Мир. 1965. – 455 с.
4. Гурбанов Р. С, Исследование эффекты самоуплотнения в пакерах с упругим элементом с аксиальными отверстиями / Р. С. Гурбанов, В. Т. Мамедов, С. Р. Гурбанов // Известия высших учебных заведений, «Нефть и газ».- 1991-№5, С.86-89.
5. Aslanov J. N. Best calculation for stress held of sealinsargange ment from rubber-composition materials of wellheard equipment / J. N Aslanov // Materials of the XII International research and practicl conference-Germany.:Vela Verlag Waodkcaiburg-Munich, 2015- P 31-34.
6. Mammadov V. T. Models of sealing elements of improved cranes with required properties / V. T Mammadov, J. N Aslanov, Z. S Huseynli // Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences. - 2016-№ 5(7) P. 26-29.
7. Mammadov V. T. Investigation of stress-deformed state of coated hydrocylinders, exposed topressure and temperature changes / V. T. Mammadov, A. S. Ahmedov, J. N. Aslanov // International journal of current research-2016 -№ 08 (12), P .44212-44216.
8. Məmmədov V. T. Calculation of stress-strain state of sealing arrangement from rubber –composition materials using in oilfield equipment / V. T Məmmədov, J. N. Aslanov // International Conference on European Science and Technology. Munich, Germany. 2015. – P. 78-81
9. Babanlı M. B. İmpact of thermoelastik deformation on work of rotating preventers sealing / M. B Babanlı, G. A. Mamedov, V. T, Mammadov and others // Science and Education: Materials of the xii international research and practice conference. 2016. S.,- Munich, Germany 2016 – P. 42-54.
10. Mammadov V. T. Calculation method of hermetic seal assembly parameters of the packer used during repairing wells / V. T. Mammadov, J. N. Aslanov, L. S. Gajieva and others // Science and Education: Materials of the xii international research and practice conference. 2016. S., - Munich, Germany 2016 – P. 95-102.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Korn G. Vysshaja matematika v uprazhnenijah i zadachah [Handbook in Mathematics] / G Korn, T. Korn. - M. Nauka [M. The science], P. 1974- 632. [in Russian]
2. Danko P. E. Vysshaja matematika v uprazhnenijah i zadachah. [Higher mathematics in exercises and tasks] / P. E. Danko, A. G. Popov.-M., Mashinostroenie [M, Mechanical Engineering], Chast' I [Part I]. – 1974, 464 p.[in Russian]
3. Greene A. Bol'shie uprugie deformacii i nelinejnaja mehanika sploshnoj sredy [Large elastic deformations and nonlinear mechanics of a continuous medium]. / A. Greene -M, Mir [M, World] -1965 . 455 p.[in Russian]
4. Gurbanov R. S, Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij [The research the effects of self-packing in packers with an elastic element with axial apertures], / R. S. Gurbanov, V. T. Mamedov, S. R. Gurbanov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij, «Nefi' i gaz» [News of the universities, "Oil and Gas"] - 1991-№5, p.p86-89
5. Aslanov J. N. Best calculation for stress held of sealinsargange ment from rubber-composition materials of wellheard equipment / J. N Aslanov // Materials of the XII International research and practicl conference-Germany.:Vela Verlag Waodkcaiburg-Munich, 2015- P 31-34.
6. Mammadov V. T. Models of sealing elements of improved cranes with required properties / V. T Mammadov, J. N Aslanov, Z. S Huseynli // Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences. - 2016-№ 5(7) P. 26-29.
7. Mammadov V. T. Investigation of stress-deformed state of coated hydrocylinders, exposed topressure and temperature changes / V. T. Mammadov, A. S. Ahmedov, J. N. Aslanov // International journal of current research-2016 -№ 08 (12), P .44212-44216.
8. Memmedov V. T. Calculation of stress-strain state of sealing arrangement from rubber –composition materials using in oilfield equipment / V. T Memmedov, J. N. Aslanov // International Conference on European Science and Technology. Munich, Germany. 2015. – P. 78-81
9. Babanlı M. B. İmpact of thermoelastik deformation on work of rotating preventers sealing / M. B Babanlı, G. A. Mamedov, V. T, Mammadov and others // Science and Education: Materials of the xii international research and practice conference. 2016. S.,- Munich, Germany 2016 – P. 42-54.
10. Mammadov V. T. Calculation method of hermetic seal assembly parameters of the packer used during repairing wells / V. T. Mammadov, J. N. Aslanov, L. S. Gajieva and others // Science and Education: Materials of the xii international research and practice conference. 2016. S.,- Munich, Germany 2016 – P. 95-102.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.007>

УПРОЩЕННЫЙ И ДОСТОВЕРНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАНА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В БИОГАЗЕ

Научная статья

Дибиров Я.А.^{1,*}, Дибиров К.Я.²

¹ ORCID: 0000-0003-3664-8442,

^{1,2} Филиал Объединенного института высоких температур Российской академии наук, Махачкала, Россия

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

Аннотация

Предложен упрощенный метод определения концентраций основных компонентов (метана и диоксида углерода) в биогазе, для проведения которого необходимо только значение плотности пробы выработанного биогаза. Получены простые формулы, по которым определяются концентрации метана и диоксида углерода в биогазе. Приведены формулы для определения плотности окружающего воздуха, необходимые для получения значения плотности биогаза. Полученные данным методом результаты анализа практически не расходятся с теми же результатами, полученными традиционными экспериментальными методами.

Ключевые слова: состав биогаза, метан, диоксид углерода, плотность пробы биогаза.

SIMPLIFIED AND RELIABLE METHOD FOR DETERMINING CONCENTRATIONS OF METHANE AND CARBON DIOXIDE IN BIOGAS

Research article

Dibirov Ya.A.^{1,*}, Dibirov K.Ya.²

¹ ORCID: 0000-0003-3664-8442,

^{1,2} Branch of the Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences; Makhachkala, Russia

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

Abstract

This paper presents the simplified method for determining the concentrations of the main components (methane and carbon dioxide) in biogas, for which only the density value of the sample of produced biogas is required. Simple formulas are obtained, they determine the concentration of methane and carbon dioxide in biogas. The formulas for determining the density of ambient air, which are necessary to obtain the density of biogas, are given. The results of the analysis obtained by this method are almost the same as the results obtained by traditional experimental methods.

Keywords: composition of biogas, methane, carbon dioxide, biogas sample density.

С каждым годом все более широкое распространение получают биогазовые технологии. Если ранее традиционно считалось, что биогазовые установки востребованы преимущественно для потребителей, расположенных в южных регионах России, то современные биотехнологии получения биогаза практически из любых биоотходов экономически оправдываются и для потребителей, расположенных в любой климатической зоне нашей страны. При полном использовании для получения биогаза отходов аграрного сектора и отходов жилищно-коммунального хозяйства России, что составляет более 770 млн тонн в год, можно получить примерно 66 млрд кубометров биогаза, что эквивалентно 100 млрд кВт·ч электроэнергии или 12 млн тонн условного типа [1].

Для любого потребителя, предпочитающего использовать в качестве собственного источника энергоснабжения свою биогазовую установку, в первую очередь необходима достоверная информация о выходе биогаза с конкретного исходного сырья, а также о составе выработанного биогаза. Эти параметры даже для одного конкретного исходного сырья могут иметь иногда значительно отличающиеся друг от друга значения в зависимости от таких факторов проведения процесса брожения, как: температурный режим сбраживания, объем реактора, периодичность загрузки сырья, степень его измельчения и др. Поэтому приходится определять состав биогаза отдельно при каждом конкретном случае его получения.

В настоящее время анализ состава биогаза проводят экспериментально в специализированных лабораториях, оснащенных соответствующей метрологической аппаратурой. Химический анализ состава биогаза - достаточно сложный и трудоемкий процесс, состоящий из нескольких этапов, среди которых можно выделить такие, как: отбор пробы биогаза, подготовка этой пробы к анализу, непосредственное выполнение измерений, получение значений концентраций компонентов биогаза и оценка погрешностей полученных результатов. Каждый из этих этапов может быть достаточно сложным и состоять из многих подэтапов [2, С. 19].

При наличии лаборатории рядом с биогазовой установкой пробы биогаза для анализа отбираются прямо перед непосредственным проведением анализов. При необходимости доставки отобранных проб биогаза до удаленной от биогазовой установки лаборатории отбор проб проводится заранее. В этом случае обязательно применяются промежуточные операции по консервации и стабилизации отобранных проб биогаза.

При длительной консервации отобранных проб в результате возможных различных процессов физико-химического взаимодействия ингредиентов биогазовой смеси со стенками сосудов и с поверхностью растворителя возникает проблема изменения состава и состояния отобранной пробы, что в итоге может отрицательно сказываться на достоверности проведенных впоследствии анализов. Поэтому при проведении анализов состава биогаза желательно максимальное сокращение времени консервации, что повышает сохранность отобранной пробы от

возможных изменений ее первоначального состава и состояния. Максимальный срок хранения пробы биогаза после отбора до начала анализа на должен превышать трех суток.

Немаловажным фактором при проведении анализа состава биогаза является и стоимость проведения таких анализов. Существующие сегодня для проведения анализов газов аппаратура (различные хроматографы и газоанализаторы) практически не доступна по цене для большинства производителей, занимающихся утилизацией органических отходов с целью получения биогаза. И даже при гипотетическом наличии такого оборудования необходимы еще и специалисты со специфическими навыками и соответствующим базовым образованием для работы на таком оборудовании.

Из вышеизложенного следует, что назрела необходимость разработки упрощенного и доступного для любого собственника биогазовой установки метода анализа состава биогаза. Необходимость разработки такого упрощенного метода натолкнула нас в связи с проводимыми нами систематическими исследованиями по разработке и внедрению солнечных биогазовых установок, а также повышению их энергоэффективности, по результатам которых с участием авторов данной статьи получены два патента на полезную модель и изобретение [3], [4].

Теоретическое обоснование и описание метода

По своей сущности биогаз представляет собой смесь газообразных веществ, основными компонентами которой являются метан (до 85%) и диоксид углерода (15 ÷ 50%). Остальные газообразные вещества в биогазе присутствуют в виде примесей и обычно не превышают более одного объемного процента биогазовой смеси [5, С. 20-22].

При разработке предлагаемого метода условно принято, что в состав биогазовой смеси входят только два компонента: метан и диоксид углерода. Как будет показано ниже, такая условность практически не влияет на точность определения концентраций этих компонентов в биогазе. Это позволяет расчетным путем получить достоверное значение концентраций метана и диоксида углерода, имея под рукой только значение одного физического параметра пробы биогаза – *плотности*.

Также условно принято, что по всем своим параметрам биогазовая смесь, соответственно и каждый газовый компонент биогаза, полностью подчиняются уравнению состояния идеального газа. И это допущение практически не окажет особого влияния на точность получаемых результатов анализа состава биогаза, т.к. характерные для биогаза параметры температуры и давления на выходе из биогазовой установки позволяют полностью отнести его под понятие идеального газа.

Зададим значения давления и температуры биогаза в биореакторе. Значение выходного давления биогаза в биореакторе для подачи его потребителям принимается обычно равным не более 0,2 атм, что соответствует значению абсолютного давления, равному 1,2 атм. Пусть в общем случае температура биогаза будет иметь значение T_2 и выходное давление P_2 . В наших расчетах приняты значения выходного давления биогаза из биогазовой установки и его температуры равными соответственно 1,15 атм (или 116524 Па) и +25 °С. Для общих расчетов и давление, и температура биогаза нужно принять равными их фактическим значениям «на месте», т.е. равными P_2 и T_2 . Методика расчета при этом останется неизменной, только немного изменятся цифровые значения определенных параметров в соответствующих формулах.

Объем, занимаемый одним молем идеального газа при нормальных условиях ($t = 0^\circ \text{C}$, $P = 101325 \text{ Па}$), есть постоянная величина, равная $0,022414 \text{ м}^3$ [6, С 94]. Изменение объема биогаза при переходе его из состояния при нормальных условиях (состояние 1) в состояние 2, при котором параметры биогаза соответствуют фактическим значениям при подаче его потребителям, найдем из уравнения состояния идеального газа [7, С. 29]:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}, \quad (1)$$

где $P_1 = 101325 \text{ Па}$, $V_1 = 0,022414 \text{ м}^3$, $T_1 = 273,15 \text{ К}$. Подставив в формулу (1) значения параметров биогаза первоначального состояния, найдем значение объема одного киломоля биогаза (в м^3) во втором состоянии:

$$V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{T_1 P_2} = \frac{101325 \cdot 0,022414 T_2}{273,15 P_2} = \frac{8,314 T_2}{P_2}.$$

При принятых нами фактических значениях температуры и давления биогаза (состояние 2: $T_2 = 298,15 \text{ К}$, $P_2 = 116524 \text{ Па}$) молярный объем биогаза будет равным

$$V_2 = \frac{8,314 \cdot 298,15}{116524} = 0,021273 \text{ м}^3 (21,273 \text{ л}).$$

Если обозначить через $\omega(i)$ и $\chi(i)$ соответственно объемную и молярную долю i -го газа биогазовой смеси, то равенство молярных и объемных долей для газовой смеси, что следует из закона Авогадро [8, С. 18, 19], можно записать в виде:

$$\omega(\text{CH}_4) = \chi(\text{CH}_4) \text{ и } \omega(\text{CO}_2) = \chi(\text{CO}_2).$$

Так как по отдельности и молярная, и объемная доля i -го компонента газовой смеси точно соответствует определенному значению доли единицы, то и сумма любых отдельных долей (и молярных, и объемных) всех компонентов всегда равна единице, т.е.:

$$\chi(\text{CH}_4) + \chi(\text{CO}_2) = 1 \text{ и } \omega(\text{CH}_4) + \omega(\text{CO}_2) = 1.$$

Средняя молярная масса биогазовой смеси равна сумме произведений молярной массы каждого компонента на его объемную долю:

$$M_{\text{биог}} = M(\text{CH}_4) \cdot \omega(\text{CH}_4) + M(\text{CO}_2) \cdot \omega(\text{CO}_2),$$

где $M(\text{CH}_4)$ – молярная масса метана, равная $12,011 \cdot 1 + 1,008 \cdot 4 = 16,043 \text{ кг/кмоль}$ и $M(\text{CO}_2)$ – молярная масса диоксида углерода, равная $12,011 \cdot 1 + 16 \cdot 2 = 44,01 \text{ кг/кмоль}$.

Если выразить объемную долю метана в биогазовой смеси через c ($\omega(\text{CH}_4) = c$) и соответственно объемную долю углекислого газа $\omega(\text{CO}_2) = 1 - c$, то средняя молярная масса биогаза можно выразить через значение объемной доли метана в виде следующего выражения:

$$M_{biog} = 16,043 \cdot c + 44,01 \cdot (1 - c) = 44,01 - 27,967 \cdot c. \quad (2)$$

Как известно, плотность газа равна отношению его молярной массы к его молярному объему [7, С. 35 – 36]. Тогда плотность биогаза (ρ_{biog}) с учетом формулы (2) и объема 1 кмоль биогаза, равного $21,273 \text{ м}^3$, можно выразить в виде:

$$\rho_{biog} = \frac{M_{biog}}{V_2} = \frac{44,01 - 27,967 \cdot c}{21,273}, \text{ кг/м}^3. \quad (3)$$

Формулу (3) можно записать в виде

$$44,01 - 27,967 \cdot c = 21,273 \cdot \rho_{biog},$$

откуда следует, что

$$c = \frac{44,01 - 21,273 \cdot \rho_{biog}}{27,967}. \quad (4)$$

Для примера, определим содержание CH_4 и CO_2 в биогазе с плотностью $1,128 \text{ кг/м}^3$. Подставив в формулу (4) заданное значение плотности биогаза, определим концентрацию метана в объемных долях:

$$c = \frac{44,01 - 21,273 \cdot \rho_{biog}}{27,967} = \frac{44,01 - 21,273 \cdot 1,128}{27,967} = 0,7156 (71,56\%),$$

откуда следует, что содержание CO_2 в этой же пробе равно

$$\omega(\text{CO}_2) = 1 - c = 1 - 0,7156 = 0,2844 \text{ (или } 28,44\%).$$

Для подтверждения состоятельности предлагаемого метода решим другую задачу для такой же пробы биогаза с заранее заданным составом, которая содержит еще и 1% примесей. Пусть данная проба имеет следующий состав: метан 71,06%, диоксид углерода 27,94%, сероводород (H_2S) 0,45%, аммиак (NH_3) 0,24%, водород (H_2) 0,31%. Требуется рассчитать концентрации основных компонентов (CH_4 и CO_2) в биогазе по предлагаемому методу (по плотности биогаза) и оценить, насколько при этом изменяется концентрация каждого из них по сравнению с такой же пробой биогаза без примесей.

Вначале определим молярную массу этой пробы биогаза:

$$M'_{biog} = 16,043 \cdot 0,7106 + 44,01 \cdot 0,2794 + 34,08 \cdot 0,0045 + 17,03 \cdot 0,0024 + 2,01 \cdot 0,0031 = 23,897 \text{ кг/кмоль},$$

где 34,08, 17,03, 2,01 - молярные массы (в кг/кмоль) газов примеси, соответственно H_2S , NH_3 , H_2 . Плотность этой пробы биогаза будет иметь значение

$$\rho'_{biog} = \frac{M'_{biog}}{V_2} = \frac{23,897}{21,273} = 1,1233 \text{ кг/м}^3.$$

Подставив полученное значение плотности в формулу (4), найдем значение объемной доли метана в биогазе:

$$c' = \frac{44,01 - 21,273 \cdot \rho'_{biog}}{27,967} = \frac{44,01 - 21,273 \cdot 1,1233}{27,967} = 0,7192 (71,92\%),$$

а то же значение углекислого газа:

$$\omega'(\text{CO}_2) = 1 - c' = 1 - 0,7192 = 0,2808 (28,08\%).$$

Изменение концентрации метана и углекислого газа в двух пробах биогаза (без примесей и с примесью) составляет:

$$71,91 - 71,56 = 0,35\% (\text{CH}_4) \text{ и } 28,44 - 28,08 = 0,36\% (\text{CO}_2).$$

Абсолютное значение разности концентрации каждого из основных компонентов в этих пробах биогаза не превышает даже 0,4%. Следовательно, условно принятое допущение о возможности рассмотрения биогаза как бинарной системы, состоящей только из CH_4 и CO_2 , практически не влияет на результаты концентраций основных компонентов в биогазе.

Для сравнения, точность показаний у выпускаемых сегодня различными производителями современных газоанализаторов и хроматографов составляет примерно 2% в абсолютном значении.

Определение плотности биогаза

Для получения точных результатов состава биогаза по его основным компонентам по предлагаемому методу необходима максимально точная информация о плотности анализируемой пробы биогаза. Значение плотности биогаза определяется экспериментально. Плотность любого однородного тела находится по известной формуле [9, С. 19]:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (5)$$

где m – его масса в кг, а V – занимаемый им объем в м^3 .

Для экспериментального определения плотности биогаза в лабораторных условиях необходимы высокоточные аналитические весы, которые снабжены крюком с нижней стороны весов для взвешивания при определении плотности и удельного веса, и надувной сосуд, который не растягивается и имеет неизменный объем при закачке газа. В качестве такого сосуда для биогаза вполне подходит надувной пляжный мяч. Такие мячи в широком ассортименте имеются в продаже в различных торговых точках.

Перед определением плотности биогаза необходимо иметь под рукой достоверную информацию об объеме надувного сосуда, заполняемого биогазом. Для пляжного мяча, имеющего внутренний объем, точно соответствующий объему шара определенного размера, значение объема можно геометрически рассчитать по формуле объема шара ($V_{ш} = \frac{4\pi r^3}{3}$). При использовании для этой цели сосуда другой формы, объем которого не поддается расчету определенной геометрической формулой, определение объема этого сосуда можно произвести полным заполнением его точно измеренным количеством воды. После получения значения точного объема измеряемой пробы биогаза для расчета его плотности надо определить и точную массу этой пробы. Массу пробы получим взвешиванием заполненного биогазом сосуда на высокоточных аналитических весах. При этом должно быть обязательно учтено то, что на взвешиваемый сосуд с биогазом кроме силы тяжести (F_{biog}), направленной вертикально вниз, действует еще и

выталкивающая архимедова сила (F_{buo}), зависящая от плотности окружающего воздуха и направленная вертикально вверх, как показано на рис.

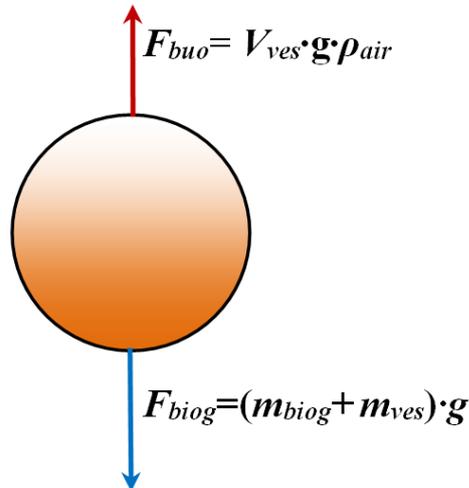


Рис. 1 – Силы, действующие на заполненный биогазом сосуд при его взвешивании

Вес сосуда с биогазом в вакууме имеет значение:

$$F_{biog} = (m_{biog} + m_{ves}) \cdot g, \quad (6)$$

где m_{biog} – масса биогаза, занимающего полный объем надутого сосуда при фактических значениях давления биогаза в сосуде и температуры окружающего воздуха, кг; m_{ves} – масса пустого сосуда с полностью выдвинутым воздухом, кг; g – ускорение свободного падения, м/с².

Выталкивающая архимедова сила равна:

$$F_{buo} = V_{ves} \cdot g \cdot \rho_{air}, \quad (7)$$

где V_{ves} – объем, занимаемый надутым сосудом в окружающем пространстве, м³; ρ_{air} – плотность окружающего воздуха, кг/м³.

Результирующая сила равна разности между F_{biog} и F_{buo} :

$$F_{res} = F_{biog} - F_{buo} = (m_{biog} + m_{ves}) \cdot g - V_{ves} \cdot g \cdot \rho_{air} \quad (8)$$

В то же время результирующая сила равна произведению массы сосуда с биогазом по показанию на весах (m_{res}) на ускорение свободного падения, т.е.:

$$F_{res} = m_{res} \cdot g. \quad (9)$$

Приравнивая правые части формул (8) и (9) и после некоторых упрощений и преобразований, получаем значение массы биогаза:

$$m_{biog} = m_{res} + V_{ves} \cdot \rho_{air} - m_{ves}. \quad (10)$$

Теперь для получения значения массы биогаза в формуле (10) неизвестной остается только плотность окружающего атмосферного воздуха (ρ_{air}). При проведении различных технических расчетов влажный воздух считают двухкомпонентной системой, компонентами которой являются сухой воздух и водяной пар.

Плотность влажного атмосферного воздуха определяется по формуле [10, С. 24]:

$$\rho_{air} = \frac{3,483 \cdot P_{bar} - 1,317 \cdot P_{p.p.}}{T}, \quad (11)$$

где P_{bar} – барометрическое давление воздуха, кПа; $P_{p.p.}$ – парциальное давление водяного пара, кПа; T – абсолютная температура воздуха, К.

В настоящее время наиболее точное значение барометрического давления воздуха можно получить по показаниям многофункциональных цифровых приборов – термогигрометров, которые предназначены еще и для измерения температуры и относительной влажности воздуха. При отсутствии такого прибора барометрическое давление можно измерить по показаниям лабораторных ртутных барометров, а значение относительной влажности воздуха, необходимое для расчета значения парциального давления водяного пара – лабораторным гигрометром или психрометром.

Имея значение относительной влажности воздуха (ϕ), парциальное давление водяного пара в атмосферном воздухе рассчитывают по формуле [10, С. 21]:

$$P_{p.p.} = P_{p.s.} \cdot \phi, \quad (12)$$

где $P_{p.s.}$ – парциальное давление насыщенного водяного пара, кПа, значение которого по известной температуре воздуха в °С, находим по приложению 5 [11].

Подставив полученное по формуле (11) значение плотности окружающего воздуха (ρ_{air}) в формулу (10), находим массу биогаза (m_{biog}) в объеме сосуда.

Значение плотности биогаза получим по формуле (5):

$$\rho_{\text{biog}} = \frac{m_{\text{biog}}}{V_{\text{ves}}}$$

Подставив полученное значение плотности биогаза (ρ_{biog}) в формулу (4), рассчитываем значение концентрации метана в долях единицы (c) и диоксида углерода ($1 - c$).

Проверка достоверности результатов значений концентраций основных компонентов в биогазовой смеси, полученных по предлагаемому методу, нами проведена сравнением результатов анализа двух одинаковых проб биогаза, взятых с действующей экспериментальной биогазовой установки. Анализ состава биогаза первой пробы был проведен газо-жидкостном хроматографе «Хром-4» в лаборатории Физико-химии термальных вод института проблем геотермии ДНЦ РАН. Результаты анализа: CH_4 67,33%, CO_2 32,26%, меркаптаны (RSH, где R – углеводородный радикал) 0,41 %, следы сероводорода (H_2S). Анализ второй пробы был проведен по предлагаемому нами методу. Результаты анализа: CH_4 66,78%, CO_2 33,22%. Абсолютное расхождение этих двух результатов не превышает 1%. Следовательно, предлагаемый метод обладает достаточной степенью точности определения концентраций основных компонентов в биогазе.

Заключение

Разработанный метод определения концентраций метана и диоксида углерода в биогазе позволяет в несколько раз снизить трудоемкость проведения анализа состава биогаза по сравнению с проведением того же анализа экспериментальными методами в специализированных лабораториях, сохранив при этом достаточно высокую точность полученных результатов. Немаловажно и то, что при этом в десятки раз снижается стоимость проведения анализа, так как для проведения анализа состава биогаза необходимы лишь доступные по цене аналитические весы с нижним крючком для подвешивания и портативный термогигрометр, а не дорогостоящее специальное оборудование в виде различных хроматографов, газоанализаторов и др. Предложенный метод анализа состава биогаза найдет широкое применение для производителей и специалистов, занимающихся выработкой биогаза, разработкой и проектированием биогазовых установок.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Большова Т. А. Основы аналитической химии. В 2 т. Т. 1: учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования / Т. А. Большова, Г. Д. Брыкина, А. В. Гармаш и др.; под ред. Ю. А. Золотова. - 5 е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2012. - 384 с.
2. Глинка Н. Л. Общая химия. / Н. Л. Глинка, - 22 изд., испр. - Л.: Химия, 1977. - 719 с.
3. ГОСТ 8.524-85. Таблицы психрометрические. Построения, содержание, расчетные соотношения. - Введ. 1985-02-12. - М.: Изд-во стандартов, 1985. - 34 с.
4. Киреев В. А. Краткий курс физической химии. / В. А. Киреев. - 5 е изд., стер. - М.: Химия, 1978. 624 с.
5. Кухлинг Х. Справочник по физике: Перев. с нем. / Х. Кухлинг. - 2-е изд. - М.: Мир, 1985. - 520 с.
6. Садчиков А. В. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок [Электронный ресурс] / А. В. Садчиков // Фундаментальные исследования. - 2016. - № 10-1. - С. 83-87. - URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40813> (дата обращения: 28.08.2018).
7. Тарабанов М. Г. Влажный воздух. Справочное пособие АВОК / М. Г. Тарабанов, В. Д. Коркин, В. Ф. Сергеев. - М.: Издательство НП «АВОК», 2004. - 72 с.
8. Хомченко Г. П. Пособие по химии для поступающих в вузы. / Г. П. Хомченко. - 4-е изд., испр. и доп. - М.: ООО «Издательство Новая Волна», 2002. - 480 с.
9. Эдер Б. Биогазовые установки. Практическое пособие. / Б. Эдер, Х. Шульц. - Zorg Biogas, 2011. - 181 с.
10. Пат. 166736 Российская Федерация, МПК C02F 11/04, A01C 3/00, C02F 101/30, C02F 103/20, C02F 103/26, Гелиобиогазовая установка / Я. А. Дибиров, М. Г. Дибиров, Э. Г. Искендеров и др. заявитель и патентообладатель Институт проблем геотермии Дагест. научн. центра РАН. - №2015157055/05; заявл. 29.12.2015; опубл. 10.12.2016, Бюл. №34.
11. Пат. 2664457 Российская Федерация, МПК C02F 11/04, C12M 1/02, C12M 1/107, C12M 1/38, C09K 5/00, F24H 7/02, F24S 20/00, Солнечная биогазовая установка / Я. А., Дибиров, М. Г. Дибиров, К. Я. Дибиров и др.; заявитель и патентообладатель ООО НПП «Ресурс-М», Махачкала. - №2017111396; заявл. 04.04.2017; опубл. 17.08.2018, Бюл. №23.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bol'shova T. A. Osnovy analiticheskoy himii [Fundamentals of analytical chemistry] In 2 t. T. 1: ucheb. dlja stud. uchrezhdenij vyssh. prof. obrazovaniya / T. A. Bol'shova, G. D. Brykina, A. V. Garmash and others; edited by Ju.A. Zolotova. - 5nd edition, ster. - M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2012. - 384 p. [in Russian]
2. Glinka N. L. Obshhaja himija [General chemistry] / N. L. Glinka, - 22nd edition, corr. - L.: Himija, 1977. - 719 p. [in Russian]
3. GOST 8.524-85. Tablicy psihrometricheskie. Postroeniya, sodержanie, raschetnye sootnosheniya [Tables psychrometric. Building, maintenance, design ratio]. - Vved. 1985-02-12. - M. Izd-vo standartov, 1985. - 34 p. [in Russian]
4. Kireev V. A. Kratkij kurs fizicheskoy himii [Short course of physical chemistry] / V. A. Kireev. - 5nd edition, ster. - M.: Himija, 1978. 624 p. [in Russian]
5. Kuhling H. Spravochnik po fizike [Physics reference book]: Perv. s nem. / H. Kuhling. - 2nd edition. - M.: Mir, 1985. - 520 p. [in Russian]

6. Sadchikov A. V. Povysenie energeticheskoiy effektivnosti biogazovyh ustanovok [Improving the energy efficiency of biogas plants] [Electronic resource] / A. V. Sadchikov // Fundamental'nye issledovaniya. – 2016. – № 10-1. – P. 83-87. - URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40813> (accessed: 28.08.2018).[in Russian]
7. Tarabanov M. G. Vlazhnyj vozduh. Spravochnoje posobie AVOK [Moist air. Reference book AVOK] / M. G. Tarabanov, V. D. Korkin, V. F. Sergeev. - M.: Izdatel'stvo NP «AVOK», 2004. – 72 p. [in Russian]
8. Homchenko G. P. Posobie po himii dlja postupajushih v vuzy [Handbook of chemistry for University applicants] / G. P. Homchenko. - 4nd edition, corr. and supplem. - M.: OOO «Izdatel'stvo Novaja Volna», 2002. - 480 p. [in Russian]
9. Eder B. Biogazovye ustanovki. Prakticheskoe posobie [Biogas plant. Practical guide] / B. Eder, H. Chul'c. - Zorg Biogas, 2011. -181 p. [in Russian]
10. Pat. 166736 Russian Federation, MPK C02F 11/04, A01C 3/00, C02F 101/30, C02F 103/20, C02F 103/26, Geliobiogazovaja ustanovka [Solar biogas plant] / Ja. A Dibirov, M. G Dibirov, E. G. Iskenderov and others; the applicant and the patentee Institute of Geothermy problems of Dagestan scientific center of Russian Academy of Sciences. - №2015157055/05; appl. 29/12/2015; publ. 10.12.2016, Bul. Number 34.
11. Pat. 2664457 Russian Federation, MPK C02F 11/04, C12M 1/02, C12M 1/107, C12M 1/38, C09K 5/00, F24H 7/02, F24S 20/00, Solnechnaja biogazovaja ustanovka [Solar biogas plant] / Ja. A. Dibirov, M. G. Dibirov, K. Ja. Dibirov; the applicant and the patentee OOO NPP «Resource-M», Mahachkala. - №2017111396; appl. 04.04.2017; publ. 17/08/2018, Bul. Number 23.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.008>

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РФ

Научная статья

Зыков А.В.^{1,*}, Юнин В.А.², Захаров А.М.³

¹ 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 ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (zav35[at]list.ru)

Аннотация

В статье рассматривается вопрос возможного увеличения объемов и качества производства продукции аграрного сектора в Северо-Западном регионе РФ. Представлена разработанная общая структурная модель процесса производства сельскохозяйственной продукции, которая на выходе позволит определить и оптимизировать состав машинно-тракторного парка для выполнения им технологических операций на основе использования адаптивных технологий в условиях хозяйств Северо-Западного региона РФ. Частные математические модели каждого уровня позволяют проанализировать возможности адаптации технологий и определить основные управляющие факторы, а также возможные границы изменения показателей технологий при практической реализации в условиях хозяйства. Оптимизация состава машинно-тракторного парка осуществляется путем последовательной реализации моделей вариантов на основе заданных оценочных критериев.

Ключевые слова: машинно-тракторный парк, математические методы, алгоритм; эффективность производства; адаптивные технологий.

OPTIMIZATION MODEL OF THE MACHINE-TRACTOR FLEET ON THE BASIS OF ADAPTIVE TECHNOLOGIES APPLICATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION UNDER THE CONDITIONS OF THE NORTH-WESTERN REGION OF THE RUSSIAN FEDERATION

Research article

Zykov A.V.^{1,*}, Yunin V.A.², Zakharov A.M.³

¹ ORCID: 0000-0002-3435-7468;

² ORCID: 0000-0002-8111-1727;

³ ORCID: 0000-0003-3501-0543;

^{1,2,3} Institute of Agro-engineering and Environmental Problems of Agricultural Production – Branch of the Federal Research Institute, St. Petersburg, Russia

* Corresponding author (zav35[at]list.ru)

Abstract

The article discusses possible increase in the volume and quality of production of the agricultural sector in the North-Western region of the Russian Federation. The developed general structural model of the process of agricultural production is presented, which will enable determining and optimizing the composition of the machine-tractor fleet to carry out technological operations based on the use of adaptive technologies under the conditions of farms in the North-Western region of the Russian Federation. Private mathematical models of each level allow analyzing the possibilities of technology adaptation

and determining the main controlling factors, as well as possible limits for changes in technology indicators in the practical implementation under the conditions of the economy. The optimization of the composition of the machine-tractor fleet is carried out by consistently implementing models of the options based on the predetermined evaluation criteria.

Keywords: machine-tractor fleet, mathematical methods, algorithm; production efficiency; adaptive technologies.

Эффективное производство аграрного сектора можно определить следующими показателями: уровень применения прогрессивных технологий и современных технических средств, состав материально-технической базы, а также квалификацией и опытом кадрового состава.

Важнейшей задачей аграрной политики в современных условиях развития отечественной экономики является разработка и реализация мер по стабилизации и устойчивому развитию агропромышленного комплекса и, прежде всего, непосредственно сельскохозяйственного производства.

Последнее должно превратиться из низкоэффективного, высоко энерго-материалоемкого и трудозатратного производства в динамично развивающуюся отрасль экономики, способную на равных конкурировать с западноевропейскими производителями на отечественном и зарубежном рынках сельскохозяйственной продукции и сырья.

Ведущим направлением, способным вывести сельское хозяйство на уровень экономического развития, по результатам сопоставимого с западноевропейскими, является его технологизация. Она предусматривает разработку и использование в сельскохозяйственном производстве современных высокоэффективных энергосберегающих технологий, адаптированных к условиям конкретного товаропроизводителя. Такие технологии должны соответствовать новым производственным отношениям в агропромышленном секторе, многоукладности, быть альтернативными, дифференцированными в зависимости от производственных и финансовых возможностей производителей сельскохозяйственной продукции. Только таким образом можно решить задачу интеграции адаптивного потенциала растений, природно-ресурсного и производственного потенциалов.

На сегодняшний день производство сельского хозяйства Северо-Западного региона находится в сложной ситуации, не смотря на некоторые позитивные тенденции, можно наблюдать и снижение производства продукции аграрного сектора. Так, за последние годы по основным продуктам растениеводства падение составило 35-50%, животноводства – на 50-60%, соответственно [1].

Посевные площади для возделывания культур в сельскохозяйственных предприятиях также имеют тенденцию к сокращению, ежегодно выбывают из оборота значительные площади земель, ухудшается структура почв, снижается их плодородие. За последние десять лет в сельском хозяйстве России 35 млн. га пахотных земель остались без необходимой обработки, при этом количество внесения органических и минеральных удобрений составило около 30% от нормативной потребности, что свидетельствует о неудовлетворительном решении вопроса по поддержанию плодородия почв [2], [8].

В таких условиях уровень механизации технологических процессов играет решающую роль при производстве высококачественной продукции растениеводства и животноводства.

Уровень обеспеченности сельскохозяйственных предприятий региона техническими средствами по сравнению с нормативной потребностью составляет: по тракторам 49%, культиваторам 35,3%, зерноуборочным комбайнам 53%, кормоуборочным комбайнам 87,3%, устройствам для внесения удобрений (минеральных) 43,2%, а обеспеченность оборудованием для животноводческих ферм не превышает 40%. При этом моральный и физический износ машин и оборудования составляет около 70-80% [3].

Нехватка технических средств негативно сказывается на объеме, качестве и конкурентоспособности продукции аграрного сектора. Производство большинства видов продукции сельского хозяйства в регионе стало нерентабельно.

Анализ результатов хозяйственной деятельности сельскохозяйственных предприятий региона свидетельствует о снижении их производственной эффективности. Так удельный вес убыточных хозяйств в регионе с начала реформирования сельского хозяйства увеличился с 1 до 32%, а общий уровень рентабельности сельскохозяйственных предприятий снизился до 9,2%.

Сложная ситуация в сельскохозяйственном производстве обстоит и с обеспеченностью кадрами, только за последние 10 лет численность работающих в сельском хозяйстве сократилось более чем на 160 тыс. чел. Повсеместно ощущается дефицит квалифицированных кадров механизаторов и животноводов, специалистов среднего и высшего звена управления [3], [7].

Таким образом, недостаточная оснащенность сельскохозяйственного производства средствами механизации и квалифицированными кадрами привела к массовым сокращениям посевных площадей, нарушению технологий и агротехнических требований, падению объемов производства продукции и снижению ее качества.

Одним из главных факторов увеличения эффективного производства аграрного сектора является проведение технического и технологического обновления и производства высокопроизводительных технических средств с учетом прогрессивных технологий и достижений науки.

На сегодняшний день большое количество различных коммерческих организаций предлагают хозяйствам всех уровней технические средства для производства сельскохозяйственной продукции, а также технологии, по которым эти технические средства могут эффективно работать. Из-за отсутствия информации о преимуществах и недостатках предлагаемой техники и под действием рекламы товаропроизводители аграрного сектора принимают ошибочное решение. Следствием этого является приобретение сельскохозяйственных машин и оборудования, которые мало приспособлены или вообще непригодны к условиям Северо-Западного региона и не дают таких результатов, на которые рассчитывали сельхозпроизводители, что приводит к снижению рентабельности производства. С целью правильного выбора сельскохозяйственных машин и технологий с учетом природно-климатических условий Северо-Западного региона Институтом агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства проводится работа по созданию регистра технологий и системы технических средств, рекомендованных для использования в регионе и отвечающих требованиям, предъявляемым к ним. Однако, недостаточно подобрать

технологии и технические средства для производства конкурентоспособной продукции, необходимо произвести и оптимизацию состава парка машин.

На протяжении ряда лет сотрудниками института проводится работа по разработке алгоритмов и компьютерных программ проектирования адаптивных технологий производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции [4], [6]. В основном эти вопросы успешно разрешены в отдельных видах производства продукции аграрного сектора. На сегодняшний день актуальность вопроса вызвана разработкой единого алгоритма и компьютерной программы для возможности своевременного и оптимального проектирования адаптивных технологий производства продукции аграрного сектора, решение которого позволит оптимизировать состав машинно-тракторного парка конкретного хозяйства исходя из показателей годового объема выполнения работ.

В качестве основной математической модели для обоснования технологий и технических средств можно принять многоуровневую модель, которая имеет многоступенчатую, иерархическую структуру [5], [9], [10] в нее входят: модель оптимизации состава машинно-тракторного парка (МТП) конкретного хозяйства; модели отдельных видов сельскохозяйственной продукции; модели отдельных технологических вариантов; модели отдельных технологических операций; модели отдельных явлений.

Такое построение общей модели позволяет учесть все особенности производства сельскохозяйственной продукции, как в разрезе технологий, так и технических средств.



Рис. 1 – Общая структурная модель процесса производства сельскохозяйственной продукции

Формирование частных моделей выполняется последовательно от более низкого уровня к более высокому. Модели самого низкого уровня записываются в математической форме в виде уравнений.

Модели уровня 4 представлены как совокупность взаимосвязанных моделей 3-го уровня. Основным параметром на выходе (результат реализации данных моделей) – объем работы, которую буден нужно выполнить. Природно-климатические условия – это некоторые показатели для данных конкретных условий (регион – район – хозяйство – поле). Переменные выходные параметры – погодные условия. Основным выходным параметром является продолжительность выполнения операций. Затраты труда и энергии, металлоемкость – являются оценочными показателями технического совершенства машины, выполняющей данную операцию.

Качественные показатели, выражаемые в основном в физических и биологических потерях, оценивают технологическое совершенство операций и, в свою очередь, зависят от продолжительности выполнения работы.

Реализацию моделей операций обеспечивают полученные модели технологического варианта (модель 3-го уровня).

Модели 1-го уровня определяют оптимальный состав машинно-тракторного парка участвующего в выполнении технологических операций по производству сельскохозяйственной продукции.

Математические модели каждого уровня позволяют проанализировать возможности адаптации технологий и определить основные управляющие факторы, а также возможные границы изменения показателей технологий при практической реализации в условиях хозяйства. Оптимизация состава машинно-тракторного парка осуществляется путем последовательной реализации моделей вариантов на основе заданных оценочных критериев.

Таким образом, проведение расчетов по разработанной структурной модели процесса производства сельскохозяйственной продукции позволяет определить оптимальный состав машинно-тракторного парка выполняющего технологические операции на основе применения адаптивных технологий в условиях хозяйств Северо-Западного региона РФ.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Попов В. Д. Технологическая модернизация отраслей растениеводства АПК Северо-Западного Федерального округа / В. Д. Попов, Д. А. Максимов, Ю. Л. Морозов и др. – СПб.: СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2014. – 287 с.
2. Валге А. М. Алгоритмические основы выбора состава машинно-тракторного парка для производства сельскохозяйственной продукции в рыночных условиях / А. М. Валге, Э. А. Папушин, Ю. Г. Артемьев и др. // Материалы международного агроэкологического форума. СПб. – 2013. – Т.2. – С. 14-20.
3. Валге А. М. Оптимизация транспортных потоков при заготовке кормов из трав / А. М. Валге, Э. А. Папушин, А. В. Зыков и др. // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2015. – №87. – С. 116 – 122.
4. Попов В. Д. Пути развития кормовой базы в Северо-Западном регионе России / В. Д. Попов, В. М. Могильницкий, А. Н. Перекопский и др. // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2001. – №72. – С. 22 – 27.
5. Проектирование адаптивных технологий заготовки кормов из трав / В. Д. Попов. – СПб: НИПТИМЭСХ НЗ РФ, 1998г. – 108 с.
6. Морозов Ю. Л. Стратегия развития сельхозмашиностроения / Ю. Л. Морозов, А. В. Добринов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2006. – №78. – С. 18 – 31.
7. Попов В. Д. Мониторинг реализации машинных технологий высокой интенсивности для производства продукции растениеводства / В. Д. Попов, Д. А. Максимов, Ю. Л. Морозов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – №2. – С. 8 – 12.
8. Юнин В. А. Интенсификация кормопроизводства в условиях северо-западного региона / В. А. Юнин, А. В. Зыков, Н. Н. Кузнецов // В сборнике: Технические науки в России и за рубежом Материалы V Международной научной конференции. – 2016. – С. 82 – 85.
9. Попов В. Д. Пути развития кормовой базы в Северо-Западном регионе России / В. Д. Попов, В. М. Могильницкий, А. Н. Перекопский и др. // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2001. – №72. – С. 22 – 27.
10. Попов В. Д. Организационно-технологические аспекты эффективности заготовки кормов в хозяйствах ленинградской области / В. Д. Попов, А. Н. Перекопский, В. Н. Горнак // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2003. – №75. – С. 14 – 21.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Popov V. D. Technologicheskaya modernizatsiya otraslej rastenievodstva APK Severo-Zapadnogo Federal'nogo okruga [Technological modernization of crop production, agricultural North-West Federal district] / V. D. Popov, D. A. Maksimov, Yu. L. Morozov and others // SPb.: SZNIIME`SX Rossel`hozakademii, 2014. – 287 p. [in Russian]
2. Valge A. M. Algoritmicheskie osnovy` vy`bora sostava mashinno-traktornogo parka dlya proizvodstva sel`skoxozyajstvennoj produkcii v ry`nochny`x usloviyax [Algorithmic bases of selection of the machine-tractor Park of the agricultural production in market conditions] / A. M. Valge, E`. A. Papushin, Yu. G. Artem`ev and others // Materialy` mezhdunarodnogo agro`ekologicheskogo foruma. SPb [Proceedings of the international agroecological forum]. – 2013. – Т.2. – p. 14-20. [in Russian]
3. Valge A. M. Optimizatsiya transportny`x potokov pri zagotovke kormov iz trav [Optimization of traffic flow when forage from grasses] / A. M. Valge, E. A. Papushin, A. V. Zy`kov and others // Texnologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of the mechanized crop production and livestock]. – 2015. – №87. – S. 116 – 122. [in Russian]
4. Popov V. D. Puti razvitiya kormovoj bazy` v Severo-Zapadnom regione Rossii [Ways of development of fodder base in the North-Western region of Russia] / V. D. Popov, V. M. Mogil`niczkij, A. N. Perekopskij and others // Texnologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of mechanized production of crop and animal products]. – 2001. – №72. – S. 22 – 27. [in Russian]
5. Proektirovanie adaptivny`x texnologij zagotovki kormov iz trav [Design of adaptive technologies of fodder harvesting from herbs] / V. D. Popov. – SPb: NIPTIME`SX NZ RF, 1998g. – 108 s. [in Russian]
6. Morozov Yu. L. Strategiya razvitiya sel`xozmashinostroeniya [Development strategy of agricultural machinery] / Yu. L. Morozov, A. V. Dobrinov // Texnologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of the mechanized crop production and livestock]. – 2006. – №78. – S. 18 – 31. [in Russian]

7. Popov V. D. Monitoring realizacii mashinny`x tehnologij vy`sokoj intensivnosti dlya proizvodstva produkcii rastenievodstva [Monitoring the implementation of machine technology for high intensity of crop production] / V. D. Popov, D. A. Maksimov, Yu. L. Morozov // Vestnik rossijskoj sel`skoxozyajstvennoj nauki [Vestnik of agricultural science]. – 2015. – №2. – S. 8 – 12. [in Russian]

8. Yunin V. A. Intensifikaciya kormoproizvodstva v usloviyax severo-zapadnogo regiona [Intensification of forage production in the North-West region] / V. A. Yunin, A. V. Zy`kov, N. N. Kuznecov // V sbornike: Texnicheskie nauki v Rossii i za rubezhom Materialy` V Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii [In the collection: technical Sciences in Russia and abroad Materials of the V International scientific conference]. – 2016. – S. 82 – 85. [in Russian]

9. Popov V. D. Puti razvitiya kormovoj bazy` v Severo-Zapadnom regione Rossii [Ways of development of fodder base in the North-Western region of Russia] / V. D. Popov, V. M. Mogil`niczkij, A. N. Perekopskij and others // Teknologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of mechanized production of crop and animal products]. – 2001. – №72. – S. 22 – 27. [in Russian]

10. Popov V. D. Organizacionno-texnologicheskie aspekty` e`ffektivnosti zagotovki kormov v xozyajstvax leningradskoj oblasti [Organizational and technological aspects of the efficiency of fodder in the Leningrad region] / V. D. Popov, A. N. Perekopskij, V. N. Gornak // Teknologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products]. – 2003. – №75. – S. 14 – 21. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.009>

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ И РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ, ХРАНЕНИЮ И РЕАЛИЗАЦИИ КАРТОФЕЛЯ

Научная статья

Зыков А.В.^{1,*}, Юнин В.А.², Захаров А.М.³

¹ 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 ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (zav35[at]list.ru)

Аннотация

В статье рассмотрено решение проблемы сокращения площадей посадок, значительной потери собранного урожая и его реализации путем создания современной инфраструктурной отрасли, охватывающей все виды деятельности в цепи производство – хранение – переработка – реализация и способной обеспечить эквивалентное распределение доходов отрасли между всеми участниками. Необходимость или нецелесообразность строительства перерабатывающего предприятия определяли на основе решения уравнения, включающего в себя зависимость стоимости обработки от производственной мощности предприятия и стоимости транспортировки от концентрации сырья. Предложенная целевая функция упрощает сбор исходных данных и позволяет определить оптимальную мощность и месторасположение межхозяйственного комплекса по хранению и переработке и реализации картофеля с учетом конкретных условий данной местности.

Ключевые слова: межхозяйственное предприятие; метод; картофель; оптимальное размещение; производственные мощности.

METHOD FOR DETERMINING POWER AND LOCATION OF ENTERPRISES FOR PROCESSING, STORAGE AND SELLING POTATOES

Research article

Zykov A.V.^{1,*}, Yunin V.A.², Zakharov A.M.³

¹ ORCID: 0000-0002-3435-7468;

² ORCID: 0000-0002-8111-1727;

³ ORCID: 0000-0003-3501-0543;

^{1,2,3} Institute for engineering and environmental problems in agricultural production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, St. Petersburg, Russia

* Corresponding author (zav35[at]list.ru)

Abstract

The article considers a solution of the problem of reducing the area of planting, significant loss of harvested crops and its selling by creating a modern infrastructure industry, covering all activities in the chain of production – storage – treatment – selling and capable of providing an equivalent distribution of industry income among all participants. The need or inappropriateness of building a processing plant is determined by the solution of the equation, which includes the dependence of the processing cost on the production capacity of the enterprise and the cost of transportation on the concentration of raw materials. The proposed objective function simplifies the collection of source data and allows to determine the optimal power and location of the inter-farm complex for the storage and processing and sale of potatoes, taking into account the specific conditions of the area.

Keywords: interfarm enterprise; method; potatoes; optimal placement; production capacity.

Картофелеводство в нашей стране в настоящее время при сохранении общей площади посадок смещается в сторону мелкотоварного производства в общественных и фермерских хозяйствах. На личных огородах сельского и городского населения картофель в основном выращивается для обеспечения личных потребностей. Если в 1980-1990 гг. в специализированных хозяйствах с объемами посадочных площадей более 150 га производилось около 50% картофеля, то в настоящее время – не более 15% [1].

Картофель в нашей стране потребляется, в основном, в свежем виде. На полуфабрикаты перерабатывается не более 5%, в то время, как в зарубежных странах (США, Германия) – около половины товарного урожая. При этом созданная централизованная база хранения свежего продовольственного картофеля в местах потребления в настоящее время не функционирует или перепрофилирована на импортную плодоовощную продукцию, а в местах производства не создана. В этой связи в большинство хозяйств вынуждены основную массу выращенного урожая реализовывать в переработанном виде сразу после уборки. Массированное насыщение рынка приводит к снижению потребительских цен и, соответственно, цен реализации. А вмешательство монопольных заготовительных структур, отсекающих производителей от потребителей продукции, поддерживает уровень заготовительных цен в течение года практически на одном уровне, не зависимо от уровня цен на потребительском рынке [2], [3], [4].

Трудности с реализацией и значительные потери собранного урожая из-за отсутствия базы хранения вынуждают хозяйства сокращать площади посадок, что еще более снижает экономическую эффективность отрасли.

Решить эту проблему возможно путем создания современной инфраструктуры отрасли, охватывающей все виды деятельности в цепи производство – хранение – переработка – реализация и способной обеспечить эквивалентное распределение доходов отрасли между всеми участниками.

Отправным моментом для расчета оптимального размещения межхозяйственных предприятий (МП) является тот факт, что удельные затраты на хранение картофеля уменьшаются с увеличением емкости складов для них, а затраты на транспортировку картофеля возрастают, т.к. с увеличением емкости склада растет и обслуживаемая им площадь, и следовательно увеличивается расстояние транспортировки картофеля [5], [6].

Для расчета оптимального размещения МП необходимо иметь:

- областную и районные карты-схемы землепользования сельскохозяйственных предприятий с указанием на них существующими и намеченными к строительству железными и автомобильными дорогами и водными путями сообщения;

- данные о размерах общей площади землепользования, а так же данные о размерах и расположении площадей под картофелем и овощами;

- перспективные урожаи культур;

- перечень ж.д. станций, на которых выполняются грузовые операции;

- местонахождение имеющихся складов хранения картофеля.

Кроме перечисленных исходных материалов, в процессе проведения расчетов необходимо определить следующие показатели: средний коэффициент криволинейности дорог ε_2 , коэффициент учитывающий занятость территории данной культурой ε_1 (в долях единицы), а так же коэффициент учитывающий конфигурацию территории ε_3 (свыше единицы).

Средний коэффициент криволинейности дорог ε_2 показывает, во сколько раз расстояние от пунктов доставки до пунктов потребления картофеля по дорогам (фактическое расстояние) больше расстояния между этими пунктами по прямой. Для определения значения ε_2 по карте землепользования определяют расстояние от пункта доставки до нескольких (5-7) пунктов потребления по дорогам и по прямой. Среднее значение отношения расстояний по дорогам к расстояниям по прямой принимается за коэффициент криволинейности дорог ε_2 . Величина этого коэффициента обычно составляет 1,2-1,5.

Коэффициент, учитывающий занятость территории данной культурой ε_1 рассчитывается как отношение площади занимаемой данной культурой к площади всего в хозяйстве [7].

Метод решения «задачи размещения» и определение мощности межхозяйственного предприятия

Мощность перерабатывающего предприятия и его оптимальное размещение определяют с учетом концентрации валового сбора картофеля, а так же наличия дорог. В масштабах области эти параметры, как правило, варьируют в широких пределах. Поэтому, прежде чем перейти к конкретным расчетам, целесообразно определить оптимальный радиус перевозки и производственную мощность предприятия при условии равномерного распределения сырья. При этом задачу решают для района или группы районов в целом. Сравнение полученных данных с размерами территории района и с фактическим валовым производством перерабатываемого сырья в нем не дает возможность принять решение о необходимости или нецелесообразности строительства перерабатывающего предприятия.

Оптimum определяют на основе решения уравнения, включающего в себя зависимость стоимости обработки от производственной мощности предприятия и стоимости транспортировки от концентрации сырья:

$$C_{\Sigma} = C_o + C_T \rightarrow \min, \quad (1)$$

где: C_{Σ} - суммарные приведенные затраты, руб/т;

C_o – приведенные затраты на обработку, руб./ т.;

C_T – приведенные затраты на транспортировку, руб./т.

Подставив соответствующие показатели, продифференцировав уравнение по Q (производственная мощность) и R (средний радиус перевозки) были получены следующие выражения:

$$Q_{\text{опт}} = \sqrt[3]{\left\{ \frac{Ti[T \cdot Ii + E_n(\text{Цоб} + \text{Цзд})]\sqrt{qiE_1}}{0.063 \cdot E_2 \cdot E_3 \cdot T \cdot C} \right\}^2}, \quad (2)$$

$$R_{\text{опт}} = \sqrt[3]{\left\{ \frac{0,032(E_2 \cdot E_3)^2 Ti \left[Ii + \frac{E_n}{T}(\text{Цоб} + \text{Цзд}) \right]}{qi \cdot E_1 \cdot C} \right\}}, \quad (3)$$

где: T_i – время работы предприятия на данном виде сырья за сезон, ч;

T – общее время работы предприятия, ч;

I_i – эксплуатационные издержки за час работы на данном виде сырья, руб./т;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$\text{Ц}_{\text{об}}, \text{Ц}_{\text{зд}}$ – цена оборудования и здания, руб.;

q_i – урожайность, ц/га.;

C – тариф перевозки, руб./т*км;

E_1 – коэффициент, учитывающий занятость территории данной культурой, в долях единицы;

E_2, E_3 – коэффициенты, учитывающие кривизну дорог и конфигурацию территории (свыше единицы).

Следующий этап определения оптимальных производственных мощностей и расстояний перевозки начинается с конкретизации исходных данных. Алгоритм вычислений заключается в том, что случайным образом размещается заданное количество пунктов и подсчитывается значение целевой функции [8], [9]. Из заданного количества испытаний выбирается то расположение пунктов, при котором достигается наименьшее значение целевой функции:

$$L = C \left[\alpha \sum_{ij=1}^m lij \cdot x_{ij} + \sum_{j=1}^n f(x_j)x_j \right] \rightarrow \min,$$

(4)

где: L – целевая функция, учитывающая транспортные затраты и стоимость обработки единицы продукции от мощности пункта.

C – стоимость перевозки единицы продукции, руб/т*км;

α – коэффициент, учитывающий дополнительные перевозки;

l_{ij} – расстояние между i -м хозяйством и j -м пунктом обработки, км;

x_{ij} – количество произведенной продукции в i -м хозяйстве, т;

x_j – мощность j -го пункта обработки; т/сутки;

$f(x_j)$ – функция, выражающая зависимость стоимости обработки единицы продукции от мощности пункта, руб/т.

Функция (4) имеет следующие ограничения:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = x_j, \quad x_{ij} \geq 0$$

Данная задача является «задачей о размещении» и многоэкстремальна. Классическими методами она не решается.

Один из методов решения данной задачи предложен УкрНИИМЭСХом. Он заключается в том, что случайным образом размещается заданное количество пунктов и подсчитывается значение целевой функции (4). Запоминается то расположение пунктов, при котором достигается наименьшее значение целевой функции. Метод статистических испытаний (Монте-Карло) приводит к цели, однако требуется решить вопрос о необходимом количестве испытаний при заданной вероятности получения искомого решения, что бы сократить машинное время при решении задачи на ЭВМ.

Разместить m МП среди n хозяйств можно N различными способами, т.е. N равно числу сочетаний из n по m : $N = C_n^m$. Поэтому вероятность появления оптимального расположения при однократном испытании $p=1/N$.

Так как количество пунктов заранее не известно, то испытания необходимо проводить для различных n , изменяющихся от 1 до m . Значения N могут изменяться в широких пределах.

При небольшом числе возможных сочетаний необходимо анализировать и выбирать среди них оптимальное. При большом числе возможных сочетаний применение полного перебора приводит к затягиванию времени решения задачи на ЭВМ. Более рационально в этом случае выбрать такое число испытаний, чтобы с определенной вероятностью был обнаружен глобальный экстремум целевой функции. При этом число испытаний существенно зависит от того, будут или не будут повторяться сочетания. В первом случае оно подчиняется биномиальному закону распределения. При неповторяющихся комбинациях вероятность обнаружения оптимума после каждого испытания увеличивается и вероятность обнаружения оптимума при n испытаниях из возможных N комбинаций определяется формулой полной вероятности:

$$p(N, n) = \sum_{i=0}^m \left[\left(1 - \frac{1}{N-i+1} \right) - \frac{1}{N-i} \right] \cdot \frac{1}{N-1}, \quad (5)$$

Предложенная целевая функция упрощает сбор исходных данных и позволяет определить оптимальную мощность и месторасположение межхозяйственного комплекса по хранению и переработке и реализации картофеля с учетом конкретных условий данной местности [10], [11].

Анализируя вышеуказанные методы и модели решения транспортной и задачи о размещении МП по переработке, хранению и реализации картофеля в Ленинградской области, делаем вывод, что для решения поставленной задачи

наиболее полно подходит метод, описанный выше, т.к. решаемая задача является «задачей о размещении» и многоэкстремальна. Классическими методами она не решается.

Схематично данный способ размещения межхозяйственных предприятий по хранению, переработке и реализации картофеля можно рассмотреть на блок-схема рис. 1.

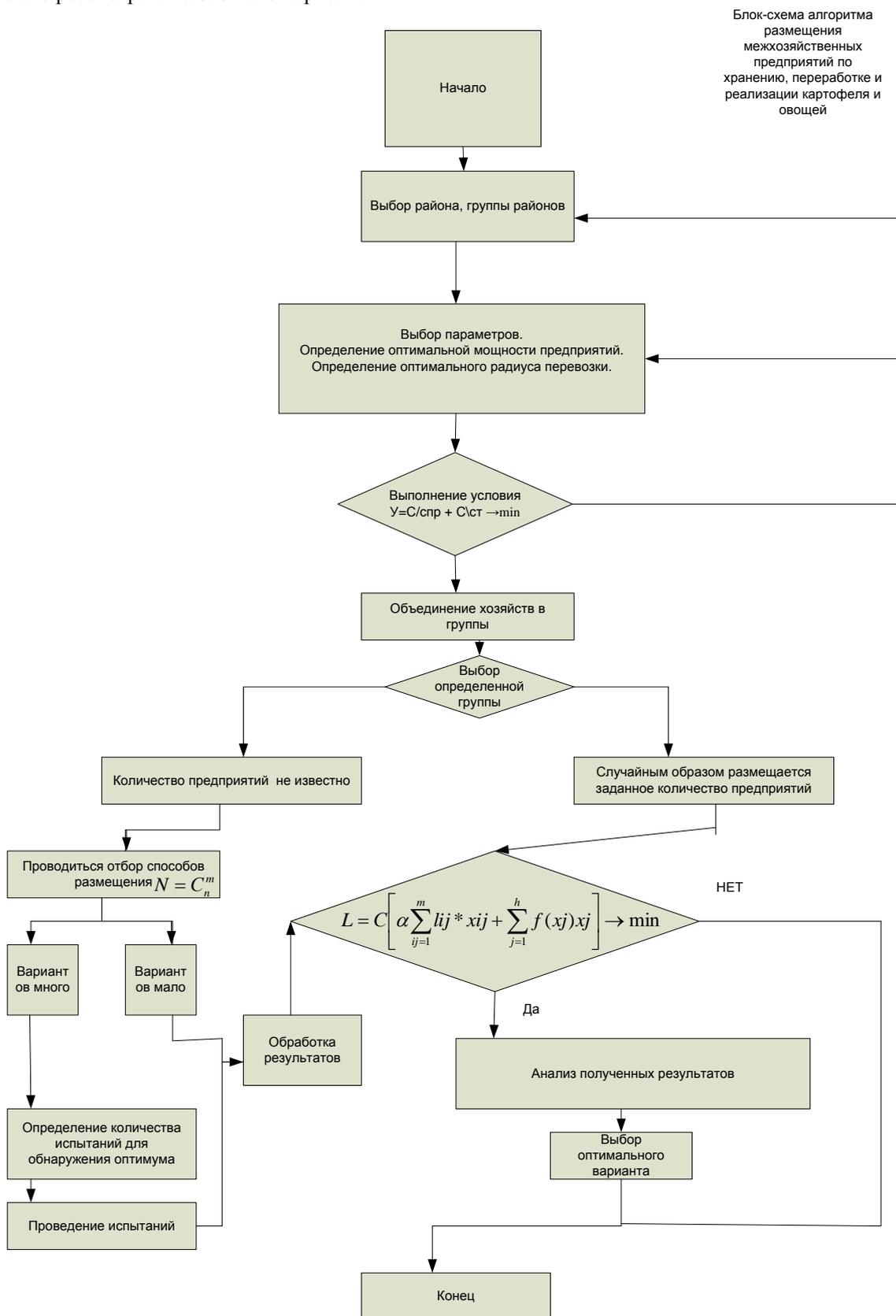


Рис. 1 – Блок-схема алгоритма размещения межхозяйственных предприятий по хранению, переработке и реализации картофеля

Описание блок-схемы алгоритма решения задачи размещения МП по переработке, хранению и реализации картофеля.

1. Выбирается район или группа районов, для которых определяют оптимальные производственные мощности МП и оптимальный радиус перевозки в целом.

2. Далее полученные данные прогоняют через условие $C_{\Sigma} = C_0 + C_T \rightarrow \min$,

Если данное условие выполняется, то данные подвергаются нижеследующему витку событий.

В заданном районе выбирается определенная группа хозяйств, среди которых:

- Случайным образом размещается заданное количество МП. Данные о МП прогоняются через целевую функцию 4. Запоминаются только минимальные варианты, остальные отбрасываются. Среди выбранных вариантов проводится анализ и выбор оптимального.

- Зачастую количество МП, которые необходимо разместить в заданном районе, неизвестно. Количество способов размещения определяется по формуле $N = C_n^m$. При этом если:

а) вариантов мало, то проводится обработка результатов, прогон через условие минимальности целевой функции 4, выбираются только минимальные значения, проводится анализ и выбор.

б) вариантов много. Необходимо определить оптимальное количество испытаний для обнаружения оптимума (7). Проводится заданное количество испытаний, после чего результаты обрабатываются. Проверяется, соблюдается ли условие минимума целевой функции, после чего минимальные значения анализируются и выбираются в качестве оптимальных.

Для решения данной проблемы в пакете Microsoft Excel нами была разработана система автоматизированных расчетов, позволяющих просчитать в диалоговом режиме оптимальный вариант.

L=	146299,015	3 пункта	1<23	L=	385469,955	2 пункта	1<234	L=	812740,895	1 пункт	1<2345	821439,835
L=	288199,015		2<13	L=	312869,955		2<134	L=	806140,895		2<1345	814971,835
L=	476299,015		3<12	L=	266669,955		3<124	L=	522340,895		3<1245	530940,835
L=	304699,015		1<24	L=	573569,955		4<123	L=	581740,895		4<1235	590571,835
L=	93499,015		2<14	L=	586769,955		1<245	L=	829240,895		5<1234	343071,835
L=	268399,015		4<12	L=	392069,955		2<145	L=	908440,895		минимум	343071,835
L=	542299,015		1<25	L=	401969,955		4<125	L=	713740,895			
L=	370699,015		2<15	L=	415169,955		5<124	L=	472840,895			
L=	123199,015		5<12	L=	217169,955		1<235	L=	641140,895			
L=	192499,015		1<34	L=	715469,955		2<135	L=	634540,895			
L=	304699,015		3<14	L=	378869,955		3<125	L=	472840,895			
L=	255199,015		4<13	L=	557069,955		5<123	L=	337540,895			
L=	149599,015		1<35	L=	543869,955		1<345	L=	971140,895			
L=	192499,015		3<15	L=	329369,955		3<145	L=	585040,895			
L=	238699,015		5<13	L=	213869,955		4<135	L=	660940,895			
L=	370699,015		1<45	L=	731969,955		5<134	L=	469540,895			
L=	93499,015		4<15	L=	471269,955		2<345	L=	1083340,895			
L=	172699,015		5<14	L=	349169,955		3<245	L=	654340,895			
L=	169399,015		2<34	L=	761669,955		4<235	L=	802840,895			
L=	304699,015		3<24	L=	448169,955		5<234	L=	548740,895			
минимум	93499,015		4<23	L=	481169,955		минимум	337540,895				
			2<45	L=	863969,955							
			4<25	L=	613169,955							
			5<24	L=	428369,955							
			2<35	L=	590069,955							
			3<25	L=	398669,955							
			5<23	L=	293069,955							
			3<45	L=	510869,955							
			4<35	L=	560369,955							
			5<34	L=	425069,955							
			минимум	L=	213869,955							

Рис. 2 – Элемент матрицы расчетов

На рисунке 2 представлены массивы расчетных данных, среди которых программа выбирает минимальное значение. Представлено несколько вариантов размещения. Так на рисунок 2 показано, что при строительстве 3 пунктов среди 5 целевая функция L минимальна при объединении 1,3,5 хозяйств, причем строительство межхозяйственного пункта оптимально в 5 хозяйстве.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ушачев И. Г. Модели экономических взаимоотношений предприятий АПК в системе интегрированных формирований / И. Г. Ушачев, А. М. Югай, В. П. Арашуков и др. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. – 175 с.
2. Морозов Ю. Л. Повышение конкурентоспособности картофелеводства на основе развития интеграционных процессов в отрасли / Ю. Л. Морозов, А. Н. Васильев // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2006. – №78. – С. 46 – 53.
3. Логинов Г. А. Оптимизация технико-технологических решений в картофелеводстве / Г. А. Логинов, И. М. Фомин, В. Ф. Клейн и др. // Санкт-Петербург. – 2009.
4. Фомин И. М. Энергетическая эффективность картофелеводства от технико-технологических решений / И. М. Фомин, А. М. Захаров // Техника и оборудование для села. – 2012. – №1. – С. 26 – 27.

5. Фомин И. М. Техничко-технологическая модернизация картофелеводства в товаропроизводящих хозяйствах Северо-Запада РФ / И. М. Фомин, Г. А. Логинов, А. М. Захаров // Сборник научных докладов ВИМ. – 2011. – Т. 1. – С. 95 – 103.

6. Фомин И. М. Адаптация технико-технологических решений в картофелеводстве к условиям сельхозпроизводителя / И. М. Фомин, А. Н. Васильев, А. М. Захаров // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – №5. – С. 24 – 25.

7. Рядных В. В. Методика расчета оптимального размещения и определения производственной мощности материально-технической базы химизации сельского хозяйства / В. В. Рядных. – М.: МСХ СССР, Гл. упр. химизации сел. хоз-ва, 1979. – 55 с.

8. Гольштейн Е. Г. Задачи линейного программирования транспортного типа / Е. Г. Гольштейн, Д. Б. Юдин. – М.: Наука, ФИЗМАТЛИТ, 1969. – 384 с.

9. Акулич И. Л. Математические методы и компьютерные технологии решения оптимизационных задач / И. Л. Акулич, В. Ф. Стрельчонок. – Рига: МИСис, 2000. – 100 с.

10. Валге А. М. К обоснованию оптимальных производственных мощностей и размещения пунктов послеуборочной обработки сельскохозяйственного сырья / А. М. Валге, А. Е. Иванов, И. Ф. Никкинен и др. // Сборник научных трудов СЗНИИМЭСХ. – 1976. – Вып. 20. – С. 118 – 122.

11. Береснев В. Л. Экстремальные задачи стандартизации / В. Л. Береснев, Э. Х. Гимади, В. Т. Дементьев // Новосибирск: Наука. – 1978. – 333 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ushachev I. G. Modeli e`konomicheskix vzaimootnoshenij predpriyatij APK v sisteme integrirovanny`x formirovanij [The Model of economic relations of agricultural enterprises in the system of integrated units] / I. G. Ushachev, A. M. Yugaj, V. P. Arashukov and others. – Moscow: FGNU "Rosinformagrotekh", 2004. – 175 p. [in Russian]

2. Morozov Yu. L. Pov`shenie konkurentosposobnosti kartofelevodstva na osnove razvitiya integracionny`x processov v otrasli [Improving the competitiveness of potato production through the development of integration processes in the industry] / Yu. L. Morozov, A. N. Vasil`ev // Tekhnologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products]. – 2006. – №78. – P. 46 – 53. [in Russian]

3. Loginov G. A. Optimizaciya texniko-texnologicheskix reshenij v kartofelevodstve [Optimization of technical and technological solutions in potato growing] / G. A. Loginov, I. M. Fomin, V. F. Klejn, and others // Sankt-Peterburg. – 2009. – 191 p. [in Russian]

4. Fomin I. M. E`nergeticheskaya e`ffektivnost` kartofelevodstva ot texniko-texnologicheskix reshenij [Energy efficiency of potato growing from technical and technological solutions] / I. M. Fomin, A. M. Zaxarov // Teknika i oborudovanie dlya sela [Machinery and equipment for the village]. – 2012. – №1. – P. 26 – 27. [in Russian]

5. Fomin I. M. Texniko-texnologicheskaya modernizaciya kartofelevodstva v tovaroproizvodyashhix xozyajstvax Severo-Zapada RF [Technical and technological modernization of potato in the commodity-producing farms of the North-West of the Russian Federation] / I. M. Fomin, G. A. Loginov, A. M. Zaxarov // Sbornik nauchny`x dokladov VIM [The collection of scientific reports of VIM]. – 2011. – Т. 1. – С. 95 – 103. [in Russian]

6. Fomin I. M. Adaptaciya texniko-texnologicheskix reshenij v kartofelevodstve k usloviyam sel`hozproduzitelya [Adaptation of technical and technological solutions in potato farming to the conditions of the agricultural producer] / I. M. Fomin, A. N. Vasil`ev, A. M. Zaxarov // Sel`skoxozyajstvenny`e mashiny` i texnologii [Agricultural machinery and technology]. – 2011. – №5. – С. 24 – 25. [in Russian]

7. Ryadny`x V. V. Metodika rascheta optimal`nogo razmeshheniya i opredeleniya proizvodstvennoj moshhnosti material`no-texnicheskoj bazy` ximizacii sel`skogo xozyajstva [Method of calculation of optimal placement and determination of production capacity of material and technical base of agricultural chemicalization] / V. V. Ryadny`x. – М.: MSX SSSR, Gl. upr. ximizacii sel. xoz-va, 1979. – 55 p. [in Russian]

8. Gol`shtejn E. G. Zadachi linejnogo programmirovaniya transportnogo tipa [Linear programming problem of transport type] / E. G. Gol`shtejn, D. B. Yudin. – М.: Nauka, FIZMATLIT, 1969. – 384 p. [in Russian]

9. Akulich I. L. Matematicheskie metody` i komp`yuterny`e texnologii resheniya optimizacionny`x zadach [Mathematical methods and computer technologies for solving optimization problems] / I. L. Akulich, V. F. Strel`chonok. – Riga: MISis, 2000. – 100 p. [in Russian]

10. Valge A. M. K обоснованию оптимальных производственных мощностей и размещения пунктов послеуборочной обработки сельскохозяйственного сырья [To study the optimal capacity and placement of points of post-harvest processing of agricultural raw materials] / A. M. Valge, A. E. Ivanov, I. F. Nikkinen and others // Sbornik nauchny`x trudov SZNIIME`SX [Collection of scientific works SZNIIME`SX]. – 1976. – Вып. 20. – С. 118 – 122. [in Russian]

11. Beresnev V. L. E`kstremaal`ny`e zadachi standartizacii [Extreme problems of standardization] / V. L. Beresnev, E`. X. Gimadi, V.T. Dement`ev // Novosibirsk: Nauka. – 1978. – 333 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.010>

РАЗРАБОТКА БЛОКА ПАРОКОМПРЕССОРА ДЛЯ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Научная статья

Горшкалев А.А.¹, Корнеев С.С.^{2,*}, Урлапкин В.В.³, Шиманов А.А.⁴¹ ORCID: 0000-0001-8448-7116;² ORCID: 0000-0001-8359-0146;³ ORCID: 0000-0002-9410-6003;⁴ ORCID: 0000-0001-6093-0216;^{1, 2, 3, 4} Самарский университет, Самара, Россия

* Корреспондирующий автор (skorneev1993[at]mail.ru)

Аннотация

Выполнен анализ современного состояния научно-технических разработок в области опреснения морской воды и дистилляции сточных вод, в частности, конструкций опреснительных установок с использованием парокompрессора. Разработана методика газодинамического расчета парокompрессора. Основываясь на данной модели была создана одномерная расчетная модель для поиска конфигурации парокompрессора с помощью программы оптимизации IOSO. Создана математическая модель для получения значений параметров потока в любой точке межлопаточного канала, а также для получения напорной и КПД характеристик. Произведены расчеты на прочность рабочего колеса парокompрессора, а также определена собственная частота колебаний ротора. На основе полученного анализа, осуществлена проработка нового конструктивного решения и проведен натурный эксперимент.

Ключевые слова: опреснительная установка, блок парокompрессора, межлопаточный канал, напорная характеристика парокompрессора.

DEVELOPMENT OF STEAM COMPRESSOR UNIT FOR DESALINATING PLANT

Research article

Gorshkalev A.A.¹, Korneev S.S.^{2,*}, Uralapkin V.V.³, Shimanov A.A.⁴¹ ORCID: 0000-0001-8448-7116;² ORCID: 0000-0001-8359-0146;³ ORCID: 0000-0002-9410-6003;⁴ ORCID: 0000-0001-6093-0216;^{1, 2, 3, 4} Samara University, Samara, Russia

* Corresponding author (skorneev1993[at]mail.ru)

Abstract

This work presents the analysis of the current state of scientific and technical developments in the field of seawater desalination and wastewater distillation, in particular, desalination plant structures with steam compressors. The method of gas-dynamic calculation of the steam compressor has been developed. Based on this model, a single-dimensional design model was created to search for the configuration of the steam compressor using the IOSO optimization program. The mathematical model was created to obtain the values of flow parameters at any point of the interscapular channel, as well as to obtain pressure and efficiency characteristics. Calculations on the strength of the impeller of the steam compressor were carried out. Also the natural frequency of oscillation of the rotor was determined. Based on the obtained analysis, a new constructive solution was developed, and a full-scale experiment was conducted.

Keywords: desalination plant, steam compressor unit, interscapular channel, pressure characteristic of the steam compressor.

Одной из основных проблем человечества становится проблема получения пригодной для питья пресной воды. Растущий мировой дефицит пресной воды может быть скомпенсирован опреснением солёных (солесодержание более 10 г/л) и солоноватых (2–10 г/л) океанических, морских и подземных вод, запасы которых составляют 98% всей воды на земном шаре [1].

В связи с этим особый интерес вызывает путь развития существующих конструкций и простых решений, способствующих дальнейшему совершенствованию эксплуатационных показателей опреснительных установок. Особую значимость при выборе и обосновании развития систем опреснительных установок с увеличенным ресурсом работы представляют тенденции совершенствования конструкции вакуумных выпарных дистилляционных установок.

Самарским университетом совместно с АО «Металлист-Самара» разработана установка вакуумная выпарная для опреснения морской воды с производительностью по дистилляту 2 м³/ч. Данная установка является многоступенчатой вакуумной установкой испарительного типа с механическим парокompрессором.

Основным элементом с точки зрения осуществления рабочего процесса является парокompрессор, который служит для осуществления циркуляции пара от последней ступени установки к первой. Также он необходим для увеличения давления и температуры пара за счет подвода механической работы [2]. Парокompрессор состоит из следующих элементов: вала входного, вала промежуточного, ротора, корпуса, вакуумного уплотнения, электродвигателя, входного устройства с улиткой [3].

Парокompрессор входит в состав блока парокompрессора состоящего также из следующих основных частей (рис. 1): мультипликатора, электромотора и систем обеспечения.

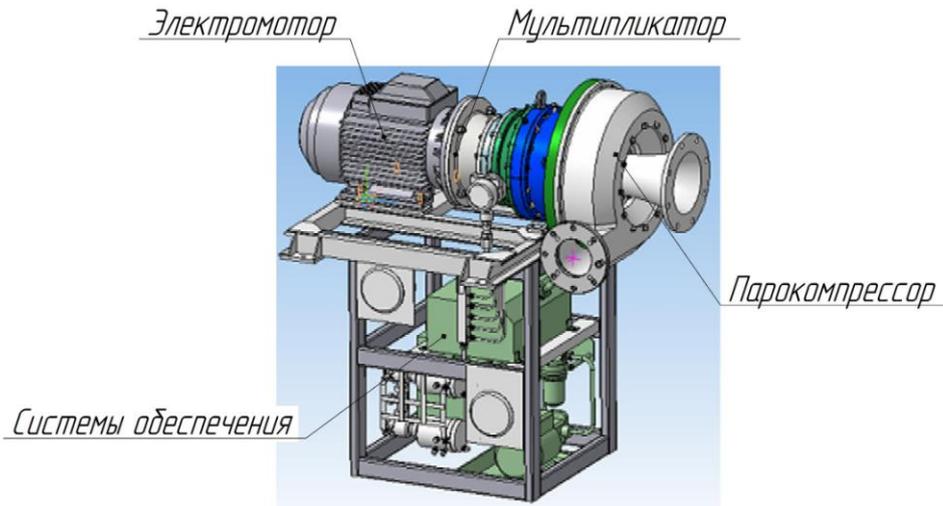


Рис. 1 – Блок парокомпрессора

Первым этапом проектирования была разработка методики для проведения газодинамического расчета рабочего колеса парокомпрессора [4]. Схема алгоритма газодинамического расчета парокомпрессора приведена на рис. 2. Согласно алгоритму вычисляется КПД парокомпрессора. Полученное значение сравнивается с принятым в начале расчета в качестве исходных данных, если они не совпадают – расчетное значение принимается в качестве исходных данных и расчет повторяется пока различие между принятым и расчетным значение КПД не будет меньше 1% [5].

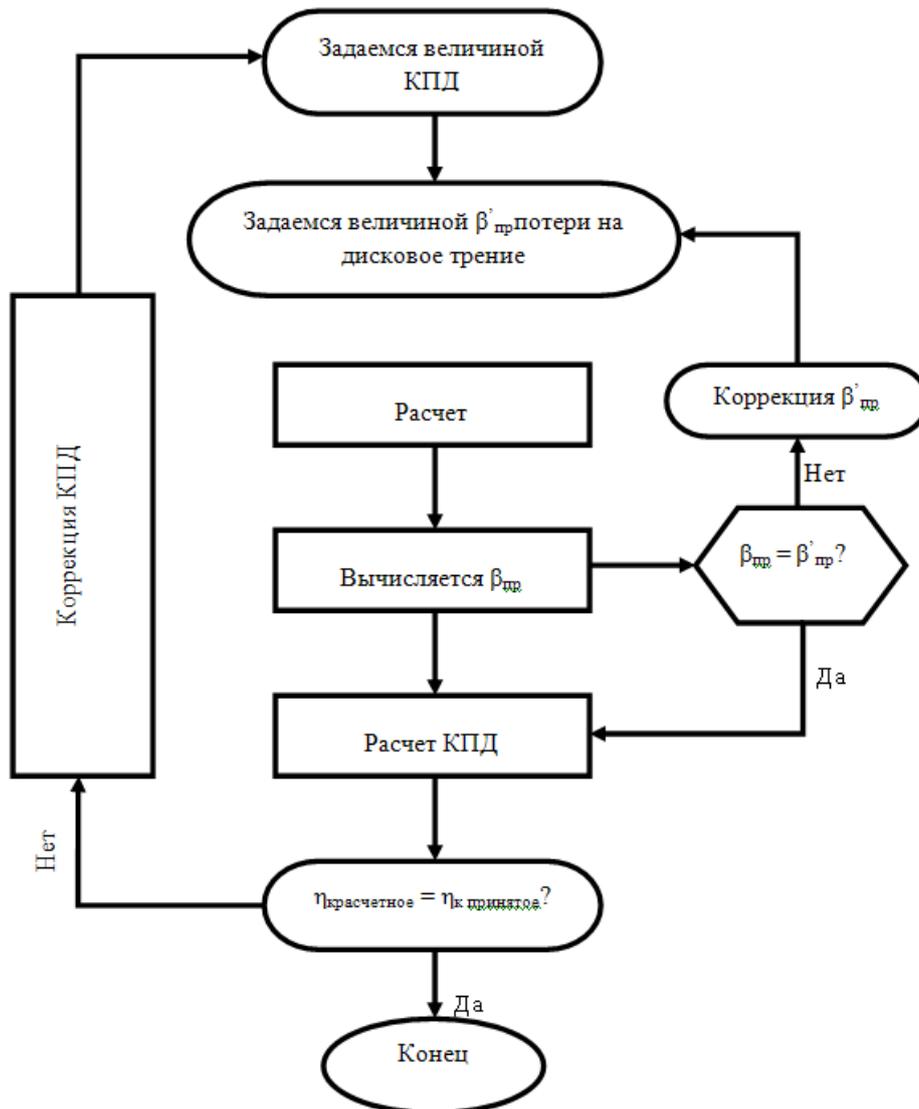


Рис. 2 – Схема алгоритма проектного расчета ступени центробежного компрессора

Затем была осуществлена разработка конфигурации парокомпрессора с помощью программы оптимизации IOSO [6]. Выбор рациональных параметров рабочего процесса компрессора осуществляется с помощью одномерной модели рабочего процесса

компрессора, в основе которой лежит методика его проектного расчета. Модель базируется на теории рабочего процесса компрессора, законах термодинамики, газовой динамики, эмпирических моделях потерь в элементах компрессора и статистической информации о существующих компрессорах. Данная модель позволяет, зная значения важнейших параметров рабочего процесса компрессора, оценить ожидаемую величину его КПД, а также рассчитать основные размеры его проточной части и планы скоростей, которые необходимо реализовать для получения требуемых характеристик.

Была создана математическая модель для исследования влияния геометрических характеристик и числа оборотов пароконпрессора на характеристики получаемого пара. Была создана численная модель рабочего процесса в рабочем колесе компрессора в программном комплексе NUMECA, позволяющая получить полную информацию о структуре потока и параметрах в любых точках межлопаточного канала [7].

При построении расчетной модели были приняты следующие допущения:

- Течение в рабочем колесе центробежного компрессора обладает свойством циклической симметрии. Поэтому рабочее колесо центробежного компрессора моделировалось одним межлопаточным каналом с наложенными на его боковые поверхности условиями периодичности.

- Расчет выполнялся в стационарной постановке.

- Свойства рабочего тела описываются моделью идеального газа с учетом переменности теплоёмкости и вязкости в зависимости от температуры рабочего тела.

- Деформации меридиональных обводов проточной части и лопаток под действием центробежной, газовой и тепловой нагрузок не учитываются при расчёте.

Данные допущения учитывались при построении геометрии расчетной области, сетки конечных элементов и настройке параметров решателя.

С помощью разработанной расчетной модели были рассчитаны ожидаемые напорные и КПД характеристики рабочего колеса компрессора при его работе в составе установки (рабочее тело - водяной пар) и при испытаниях в атмосферных условиях на воздухе (рис. 3).

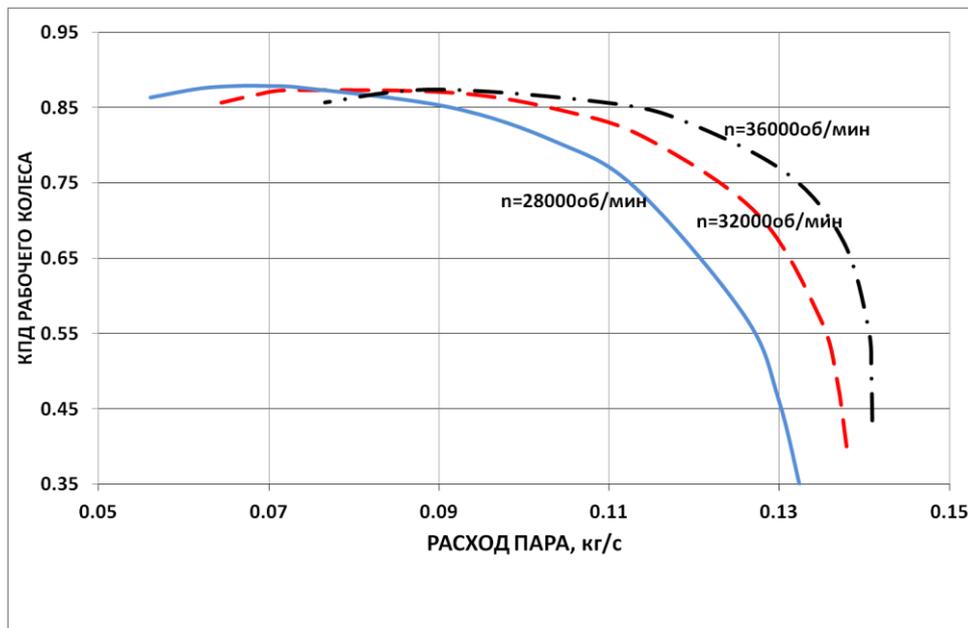


Рис. 3 – КПД характеристика РК компрессора при работе на водяном паре

Было проанализировано влияние геометрических характеристик и числа оборотов компрессора на характеристики пара [8]. Анализ влияния числа оборотов показал, что при увеличении числа оборотов увеличиваются как температура, так и давление пара, что вызвано ростом работы компрессора. Анализ влияния геометрических характеристик показал, что наиболее эффективными рабочими колесами являются рабочие колеса с меньшим углом выхода потока на выходе из рабочего колеса и, соответственно, меньшим диаметром.

Был произведен прочностной расчет рабочего колеса пароконпрессора. Рабочее колеса являются одними из наиболее нагруженных деталей компрессора, поэтому важным этапом при их проектировании является проведение расчётов на прочность [9]. Использование современных вычислительных комплексов, таких, как ANSYS, позволяет достаточно точно определить напряжённо-деформированное состояние деталей и сделать вывод об их работоспособности (рис. 4).

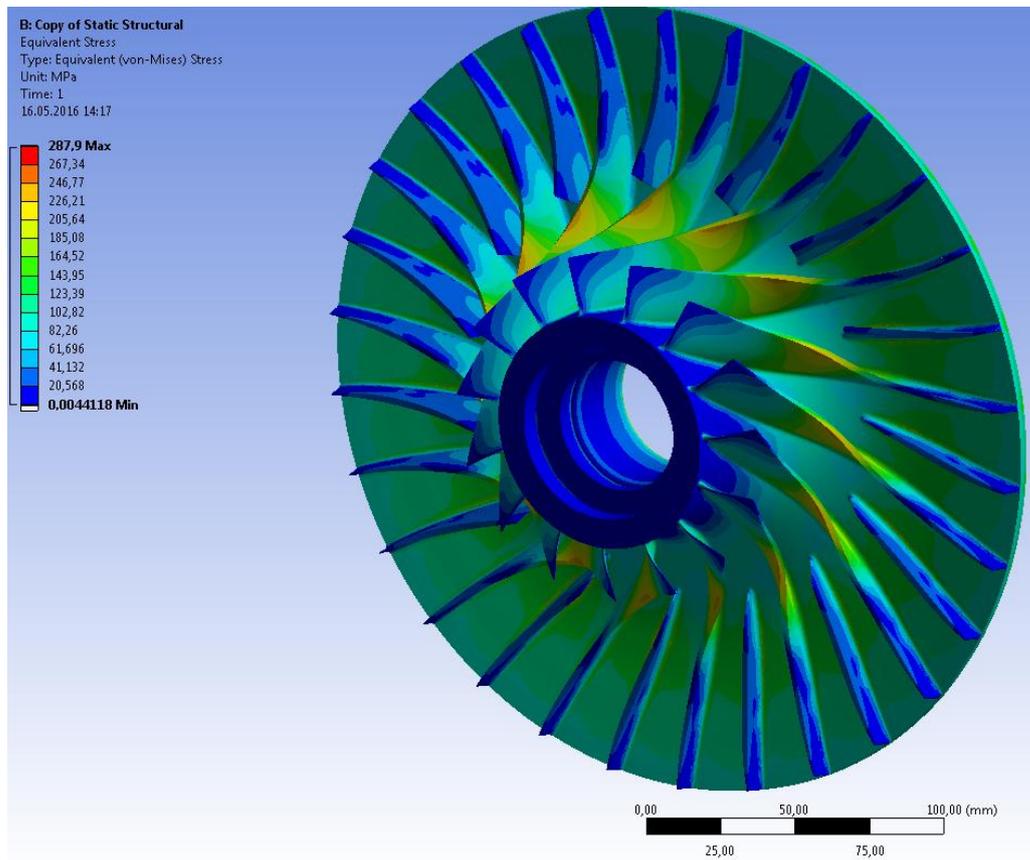


Рис. 4 – Распределение эквивалентных напряжений

Из анализа полученных данных следует:

- величины осевых деформаций как для колеса из АК4, так и для колеса из ВТ6 составляют величину 0,8 мм, что необходимо учитывать при назначении монтажных зазоров;
- наиболее опасной областью в колесе является переход от поверхности лопаток к поверхности диска; в колесе из АК4 величина нормальных напряжений достигает -159 МПа, в колесе из ВТ6 – -251 МПа; коэффициент запаса для каждого случая соответственно:

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_B}{|\sigma_{\max}|} = \frac{380}{159} = 2,39$$

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_B}{|\sigma_{\max}|} = \frac{980}{251} = 3,9$$

где σ_B - предел прочности, МПа;

σ_{\max} - наибольшие напряжения, МПа.

Как видно из расчёта, коэффициент запаса для обоих случаев существенно выше минимального. Поэтому из условий технологичности (лучшая обрабатываемость) рекомендуется изготовление центробежного колеса из сплава АК4.

Также был произведен расчет собственной частоты колебаний ротора парокompрессора [10]. Были выявлены первые изгибные частоты. Резонанс выведен за рабочий диапазон. Резонансная частота вращения 44854 об/мин (рис. 5).

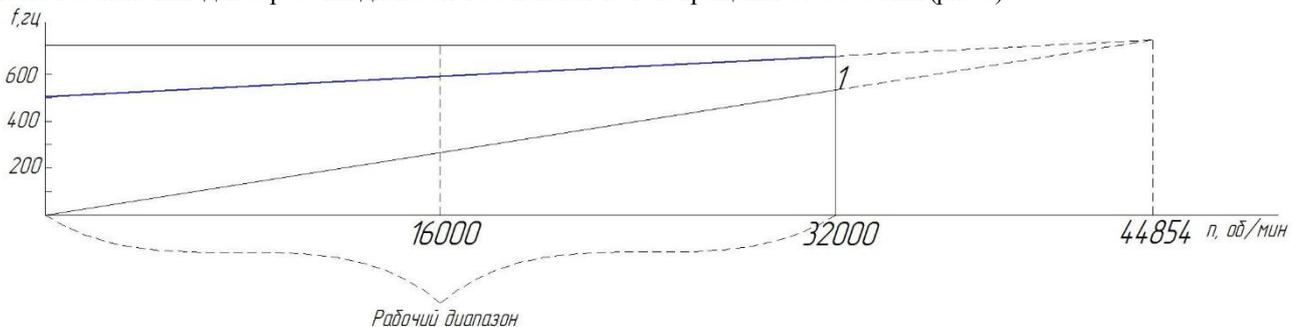


Рис. 5 – Резонансная диаграмма рабочего колеса (показана прямая прецессия)

Затем производилась разработка пневмогидравлической схемы и конструкции экспериментальной установки ЭУ2 для проведения испытаний блока парокompрессора [11]. В состав ЭУ2 входят следующие части:

- блок испытательный ЭУ2.1000.000;
- парогенератор ПГЭ-30;

- стендовое оборудование;
- наземное оборудование.

Блок испытательный необходим для имитации условий работы парокompрессора. Он состоит из трубопровода, по которому при работе установки будет циркулировать рабочее тело (водяной пар) такое же, как и в установке вакуумно-выпарной. Пар будет подаваться из парогенератора ПГЭ-30. На входе и выходе из парокompрессора установлены датчики давлений и температур для регистрации параметров работы парокompрессора. Также на трубопроводе установлен расходомер для регистрации расхода рабочего тела через парокompрессор.

Для имитации давления пара на входе в установку к испытательному блоку присоединяется вакуумный насос, который создает необходимое давление на входе в парокompрессор.

Большой объем работы также составила разработка эксплуатационной документации. В руководстве по эксплуатации описывается состав и принцип работы экспериментальной установки ЭУ2. Также приводятся сведения об использовании изделия по назначению, о том как производится техническое обслуживание ЭУ2.

Были разработаны программа и методики испытаний блока парокompрессора.

Для проверки соответствия реальных и расчетных характеристик блока парокompрессора, проведены испытания в составе экспериментальной установки.

Результаты испытаний блока парокompрессора показали соответствие реальных характеристик расчетным. Это говорит о том, что выбранные при расчетах методы верны и могут в дальнейшем применяться для подобных расчетов. Также из этого можно сделать выводы о возможности дальнейшего применения парокompрессор в составе опреснительной установки. При этом парокompрессор будет выдавать характеристики, обеспечивающие работу опреснительной установки с наибольшей эффективностью.

Финансирование

Работа выполнена в организации Головного исполнителя НИОКТР при финансовой поддержке Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках реализации постановления Правительства РФ от 09.04.2010 г. № 218 по договору об условиях предоставления и использования субсидии от 01 декабря 2015 г. № 02.G25.31.0150.

Funding

The work was carried out in the organization of the Chief Executive Officer of research, development and technological work with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the framework of the implementation of the Resolution of the Government of the Russian Federation No. 218 of April 9, 2010 under the agreement on the conditions for granting and using subsidies of December 01, 2015 No. 02.G25.31.0150.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ивлева Г. А. Анализ мирового опыта и научно-технических разработок в области кондиционирования опресненных высокоминерализованных вод для питьевых целей / Г. А. Ивлева, Н. Н. Гусев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – Выпуск № 10. – С.162–170.
2. Батулин О. В. Проектирование центробежного компрессора с применением технологии оптимизации IOSO / О. В. Батулин, Д. А. Колмакова, В. Н. Матвеев и др. // М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон.текстовые и граф. дан. - Самара, 2013. – 1 эл. опт.диск (CD-ROM).
3. Батулин О. В. Численное исследование рабочего процесса в ступени центробежного компрессора: электрон. учеб. пособие / О. В. Батулин, Д. А. Колмакова, Л. С. Шаблий // М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. - Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
4. Белоусов А. Н. Теория и расчет авиационных лопаточных машин / А. Н. Белоусов, Н. Ф. Мусаткин, В. М. Радько // - Самара: ФГУП "Издательство Самарский Дом печати", 2003. – 336 с.
5. Ваняшов А. Д. Теория, расчет и конструирование компрессорных машин динамического действия: конспект лекций / А. Д. Ваняшов // – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – 288 с.
6. Галеркин Ю. Б. Теория, расчет и конструирование компрессорных машин динамического действия / Ю. Б. Галеркин, К. В. Солдатова, В. И. Титенский // Санкт-Петербург - СПбГПУ, 2007. – 254 с.
7. Шнепп В. Б. Конструкция и расчет центробежных компрессорных машин / В. Б. Шнепп // –М.: Машиностроение, 1991 – 154 с.
8. Селезнев К. П. Центробежные компрессоры / К. П. Селезнев, Ю. Б. Галеркин // – Л.: Машиностроение, 1982 – 183 с.
9. Бирюк В. В Проектирование стенда для испытания блока парокompрессора опреснительной установки / В. В. Бирюк, А. А. Горшкалев, С. С. Корнеев и др. // Успехи современной науки, 2017 — Т. 1. № 12. — с. 176-179
10. Dennis B. H. Parallel Thermoelasticity Optimization of 3-D Serpentine Cooling Passages in Turbine Blades / В. H. Dennis, I. N. Egorov, H. Sobieczky, G. S. Dulikravich, S. Yoshimura // ASME. – 2003. – Paper No. GT2003-38180
11. Komarov, O. V. Application of Optimization Techniques for New High-Turning Axial Compressor Profile Topology Design / O. V. Komarov, V. A. Sedunin, V. L. Blinov // ASME. – 2003. – Paper No. GT2014-25379

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ivleva G. A. Analiz mirovogo opyta i nauchno-tekhnicheskikh razrabotok v oblasti konditsionirovaniya opresnennykh vysokomineralizovannykh vod dlya pit'evykh tselej [Analysis of world experience and scientific and technical developments in the field of conditioning desalinated highly mineralized waters for drinking purposes] / G. A. Ivleva, N. N. Gusev// Gornyj

informatsionno–analiticheskij byulleten' [Mining Information and Analytical Bulletin]. – 2011. – V. № 10. – P.162–170. [in Russian]

2. Baturin O. V. Proektirovanie tsentrobezhnogo kompressora s primeneniem tekhnologii optimizatsii IOSO [Design of a centrifugal compressor using IOSO optimization technology] / O. V. Baturin, D. A. Kolmakova, V. N. Matveev and others // M-vo obrazovaniya i nauki RF, Samar. gos. aehrokosm. un-t im. S. P. Koroleva (nats. issled. un-t) [Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Samar. state. aerospace. un-t them. SP Koroleva (National Research University)]. – Elektron.tekstovye i graf. dan. [Electronic text and graphic data] - Samara, 2013. – 1 el. opt.disk [electronic optical disk] (CD-ROM). [in Russian]

3. Baturin O. V. CHislennoe issledovanie rabocheho protsessa v stupeni tsentrobezhnogo kompressora: ehlektron. ucheb. posobie [Numerical study of the working process in the stage of a centrifugal compressor: an electronic textbook] / O. V. Baturin, D. A. Kolmakova, L. S. SHablij // M-vo obrazovaniya i nauki RF, Samar. gos. aehrokosm. un-t im. S. P. Koroleva (nats. issled. un-t) [Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Samar. state. aerospace. un-t them. SP Koroleva (National Research University)]. – EHlektron. tekstovye i graf. dan. [Electronic text and graphic data] - Samara, 2013. – 1 ehl. opt. disk [electronic optical disk] (CD-ROM). [in Russian]

4. Belousov A. N. Teoriya i raschet aviatsionnykh lopatochnykh mashin [Theory and calculation of aircraft scapular machines] / A. N. Belousov, N. F. Musatkin, V. M. Rad'ko // - Samara: FGUP "Izdatel'stvo Samarskij Dom pechati" [Publishing House of the Samara House of Printing], 2003. – 336 P. [in Russian]

5. Vanyashov A. D. Teoriya, raschet i konstruirovaniye kompressornykh mashin dinamicheskogo dejstviya: konspekt lektsij [Theory, calculation and design of dynamic machines of compressor action: a summary of lectures] / A. D. Vanyashov // – Omsk: Izd-vo OmGTU [OmSTU Publishing House], 2006. – 288 p. [in Russian]

6. Galerkin YU. B. Teoriya, raschet i konstruirovaniye kompressornykh mashin dinamicheskogo dejstviya [Theory, calculation and design of dynamic machine compressors] / YU. B. Galerkin, K. V. Soldatova, V. I. Titenskij // Sankt-Peterburg - SPbGPU, 2007. – 254 p. [in Russian]

7. SHnepp V. B. Konstruktsiya i raschet tsentrobezhnykh kompressornykh mashin [Design and calculation of centrifugal compressor machines] / V. B. SHnepp // –M.: Mashinostroenie [M.: Mechanical engineering], 1991 – 154 P.

8. Seleznev K. P. TSentrobezhnye kompressory [Centrifugal Compressors] /K. P. Seleznev, YU. B. Galerkin // – L.: Mashinostroenie [M.: Mechanical engineering], 1982 – 183 p. [in Russian]

9. Biryuk V. V Proektirovanie stenda dlya ispytaniya bloka parokompressora opresnitel'noj ustanovki [Design of a test bench for the desalination unit of a steam compressor unit] / V. V. Biryuk, A. A. Gorshkalev, S. S. Korneev and others // Uspekhi sovremennoj nauki [The successes of modern science], 2017 — T. 1. № 12. — P. 176-179. [in Russian]

10. Dennis B. H. Parallel Thermoelasticity Optimization of 3-D Serpentine Cooling Passages in Turbine Blades / B. H. Dennis, I. N. Egorov, H. Sobieczky, G. S. Dulikravich, S. Yoshimura // ASME. – 2003. – Paper No. GT2003-38180

11. Komarov, O. V. Application of Optimization Techniques for New High-Turning Axial Compressor Profile Topology Design / O. V. Komarov, V. A. Sedunin, V. L. Blinov // ASME. – 2003. – Paper No. GT2014-25379

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.011>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСТИЛЛЯЦИОННОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Научная статья

Благин Е.В.¹, Горшкалев А.А.², Корнеев С.С.^{3,*}, Урлапкин В.В.⁴

¹ ORCID: 0000-0002-8921-4122;

² ORCID: 0000-0001-8448-7116;

³ ORCID: 0000-0001-8359-0146;

⁴ ORCID: 0000-0002-9410-6003;

^{1, 2, 3, 4} Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Самара, Россия

* Корреспондирующий автор (skorneev1993[at]mail.ru)

Аннотация

Данная статья посвящена проблеме нехватки пресной воды на Земле. Рассмотрены основные способы опреснения воды с их достоинствами и недостатками. Приведен способ опреснения морской воды методом дистилляции. Изложены основные тенденции развития в области энергосберегающих установок для опреснения морской воды. Описана схема дистилляционной вакуумной опреснительной установки. Представлены расчёты испарителей-конденсаторов и теплообменников предварительного подогрева. Оценено влияние различных факторов на работу теплообменных аппаратов. Изучен потенциал использования скрытых источников энергии для повышения эффективности вакуумной дистилляционной опреснительной установки.

Ключевые слова: дистилляция, солёность, теплообменник, коэффициент теплоотдачи, степень вакуумирования, испаритель-конденсатор.

RESEARCH OF THE OPPORTUNITY TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF DISTILLATORY DESALINATING PLANT

Research article

Blagin E.V.¹, Gorshkalev A.A.², Korneev S.S.^{3,*}, Urapkin V.V.⁴

¹ ORCID: 0000-0002-8921-4122;

² ORCID: 0000-0001-8448-7116;

³ ORCID: 0000-0001-8359-0146;

⁴ ORCID: 0000-0002-9410-6003;

^{1, 2, 3, 4} Samara National Research University named after S.P. Korolev, Samara, Russia

* Corresponding author (skorneev1993[at]mail.ru)

Abstract

This article is devoted to the problem of the lack of fresh water on Earth. The main methods of desalination both with advantages and with disadvantages are considered in the paper. The sea water desalination method with the use of distillation is also presented. The main trends in the development of energy-saving plants for the desalination of sea water are described, the scheme of the distillation vacuum desalination plant is described as well. The calculations of evaporators, condensers and heat exchangers preheating are presented. The authors evaluated the influence of various factors on the operation of heat exchangers. The potential for the use of hidden energy sources to improve the efficiency of a vacuum distillation desalination plant has been studied.

Keywords: distillation, salinity, heat exchanger, heat transfer coefficient, vacuum degree, evaporator-condenser.

Проблема пресной воды на Земле с каждым годом становится все более актуальной. Население планеты увеличивается, промышленное производство тоже растет, а вслед за ними значительно возрастает потребление пресной воды. Глобальная проблема пресной воды заключается в том, что не происходит восполнение водных ресурсов.

Таким образом, запасы пресной воды на планете постепенно уменьшаются, и если не изменить экстенсивный путь траты водных ресурсов, то это может привести к дефициту пресной воды в большинстве регионов, а затем — к экологической катастрофе.

Не менее значимой проблемой, на сегодняшний день, является утилизация и переработка рассолов и компонентов, полученных в результате опреснения морской воды [1].

В настоящее время основными методами опреснения являются [2]:

– дистилляция — перевод воды в пар (испарением, выпариванием) с последующей конденсацией пара на охлаждаемой поверхности;

– вымораживание — превращение морской воды в лёд, механическое отделение пресной воды от рассола с последующим расплавлением льда;

– мембранный — обратный осмос (удаление из воды ионов солей фильтрацией через специальные мембраны) и электродиализ (удаление из воды ионов солей через анионо – и катионообменные мембраны под воздействием электрического тока).

Каждый метод имеет свою рациональную область применения, которая зависит от многих факторов и прежде всего от расхода и качества минерализованной воды, условий её забора и транспортирования. Уровень современного развития опреснительной техники не позволяет назвать наиболее экономичный метод опреснения. По

предварительным оценкам [3] наилучшие перспективы имеются у обратного осмоса и дистилляционного метода — многоступенчатого выпаривания в вертикально-трубных и горизонтально-трубных плёночных аппаратах, в том числе с использованием термической (пароструйной) и механической компрессии пара.

Используемые способы опреснения составляют [4]:

- MSF (Multi Stage Flash — многоступенчатое мгновенное вскипание) — 55 % мирового рынка;
- RO (Reverse Osmosis — обратный осмос) — 33 %;
- MED (Multi Effect Distillation — многоступенчатая пленочная дистилляция) — 9 %;
- остальные — 3 %.

Проведенный анализ [5] показал основные тенденции развития в области энергосберегающих установок для опреснения морской воды:

- уменьшение энергетических затрат на производство дистиллята;
- применение гибридных установок, сочетающих в себе разные методы опреснения;
- оптимизация работы парокompрессора;
- утилизация тепла дистиллята и рассола;
- использование альтернативных источников энергии;
- увеличение коррозионной стойкости;
- снижение времени выхода на режим работы;
- усовершенствование способов и систем управления.

Предлагаемая установка состоит из следующих блоков (рис. 1): ступеней испарителей-конденсаторов, блока подогревателей, парокompрессора, блоков подготовки воды. Установка работает на двух типовых режимах: режиме запуска и установившемся режиме.

В ступенях испарителя-конденсатора 4 и 5 во внутритрубном пространстве происходит конденсация пара, в межтрубном — пленочное кипение. Образовавшийся в межтрубном пространстве пар поступает во внутритрубное пространство следующей ступени, образовавшийся во внутритрубном пространстве дистиллят 6 поступает в дистиллятный поддон 2 следующей ступени, недоиспарившаяся вода с высокой концентрацией солей — в рассольный поддон следующей ступени. Вода из рассольного контура подается в распылители 1 ступени при помощи циркуляционного насоса. Установка называется вакуумной, так как в ступенях поддерживается давление ниже атмосферного при помощи блока вакуумирования, который откачивает часть пара из межтрубного пространства ступеней. Из последней ступени пар поступает в центробежный компрессор 3, в котором производится повышение давления и температуры пара.

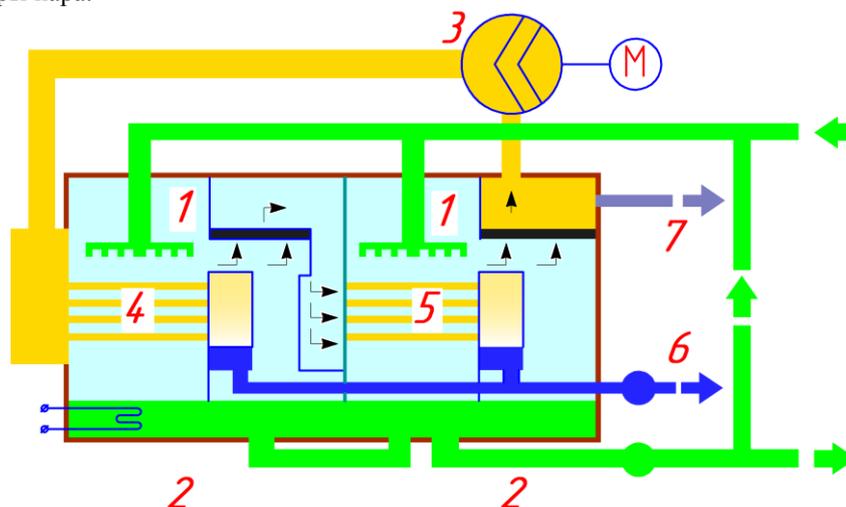


Рис. 1 – Схема опреснительной установки

Исходные данные для термодинамического расчета:

- производительность установки по дистилляту $G_d = 2 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,556 \text{ кг/с}$;
- потребление исходной воды $G_{исх} = 4 \text{ м}^3/\text{ч} = 1,111 \text{ кг/с}$;
- температура рассола в первой ступени $t'_{1p} = 59^\circ\text{C}$;
- температура исходной воды на входе в установку $t_{исх} = 15^\circ\text{C}$;
- давление в контуре испарителя на последней ступени $p_n = 20000 \text{ Па}$.

Вначале определено количество ступеней. Оно определяется из следующих условий:

- одинаковый температурный перепад между конденсатором и испарителем в каждой ступени Δt (согласно [6] рекомендуемый перепад составляет $1,5\text{-}2^\circ\text{C}$);
- минимальная мощность компрессора.

Мощность компрессора зависит от двух параметров: расхода пара и степени повышения давления. Считаем, что расход пара, проходящего через компрессор, обратно пропорционален числу ступеней:

$$G_{ni}^l \approx \frac{G_d}{n}.$$

Максимальная температура конденсации определена по наивысшему давлению, минимальная температура кипения – по начальному давлению. Температурный перепад между ними кратен температурному перепаду между конденсаторами и испарителями:

$$T_{кин}(p_1'') - T_{кин}(p_n') = n \cdot \Delta t.$$

Мощность компрессора:

$$N_{комп} = G_{ni}^I \frac{k}{k-1} RT_{кин}(p_n') \left[\left(\frac{p_1''}{p_n'} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right].$$

Преобразовав предыдущие формулы и применив выражение $p_{1кон} = \pi_\kappa \cdot p_{nкин}$ получаем:

$$N_{комп} = \frac{G_o \cdot \Delta t}{T_{кин}(p_n' \cdot \pi_\kappa) - T_{кин}(p_n')} \frac{k}{k-1} RT_{кин}(p_n') \left[(\pi_\kappa)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right].$$

Теперь мощность компрессора зависит только от одного параметра – степени повышения давления. График зависимости показан на рис. 2. минимальная работа компрессора (равная 8,12 кВт) соответствует степени повышения давления, равной $\pi_\kappa \approx 1,6$.

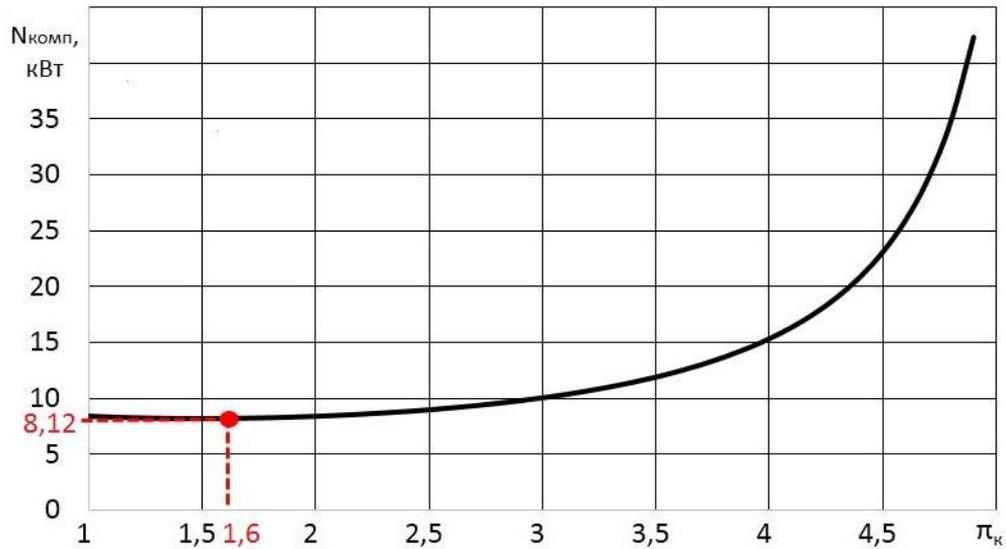


Рис. 2 – Зависимость потребляемой мощности компрессора от степени повышения давления

Давление в конденсаторе первой ступени равно $p_n^I = 32000 \text{ Па}$, число ступеней равно 5. Распределение давления по ступеням отображено на рис. 3.

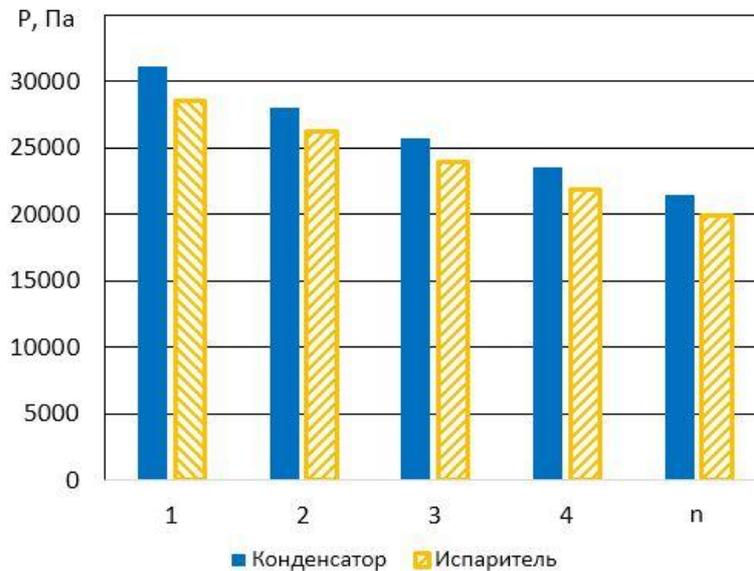


Рис. 3 – Распределение давления по ступеням

Проверки правильности теплового расчета осуществляется составлением материального и энергетического баланса каждой ступени [7]. На рис. 4 представлены потоки рабочего тела, входящие и выходящие из ступени.

В ступень входят: пар 1, произведенный на предыдущей ступени; исходная вода 2, смешанная с рассолом с предыдущих ступеней; дистиллят 5, произведенный на предыдущих ступенях; орошающая вода 9. Из ступени выходят: орошающая вода 3; концентрированный рассол 4; дистиллят 6; недоконденсировавший дистиллят 7; пар 8.

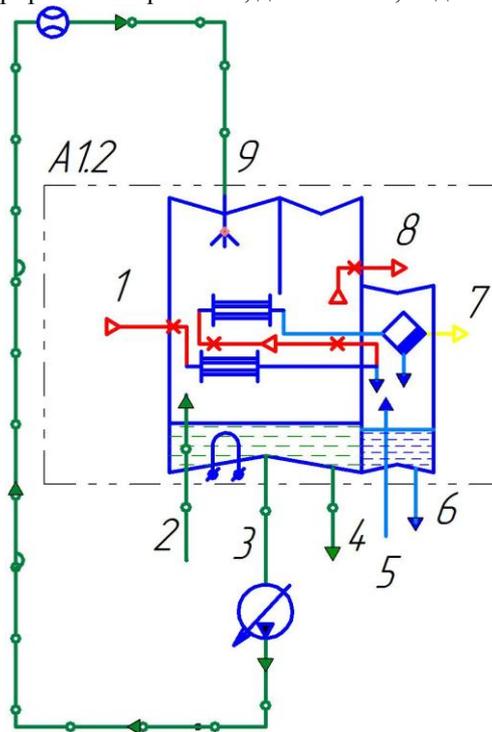


Рис. 4 – Схема материальных потоков на ступени

Суммы входящих массовых расходов и энтальпий должны быть равны выходящим массовым расходам и энтальпиям [8]:

$$\begin{aligned}\sum G_{\text{вх}} &= \sum G_{\text{вых}}; \\ \sum H_{\text{вх}} &= \sum H_{\text{вых}}.\end{aligned}$$

Массовый и энергетический баланс приводятся к следующему виду:

$$\begin{aligned}G_1 + G_2 + G_5 &= G_4 + G_6 + G_8; \\ H_1 + H_2 + H_5 &= H_4 + H_6 + H_8.\end{aligned}$$

Достоинство вакуумных дистилляционных установок – осуществление процессов кипения и конденсации при относительно более низких температурах, чем при давлении окружающей среды. Предельное значение степени вакуумирования для данной установки ограничивается температурой исходной воды, таким образом максимальное значение составляет 51.

Степень вакуумирования в подогревателях оказывает влияние на изменение тепловой мощности теплообменных аппаратов и теплофизических свойств воды. Влияние степени вакуумирования на потребную суммарную площадь теплообмена подогревателей (рис. 5) [9].

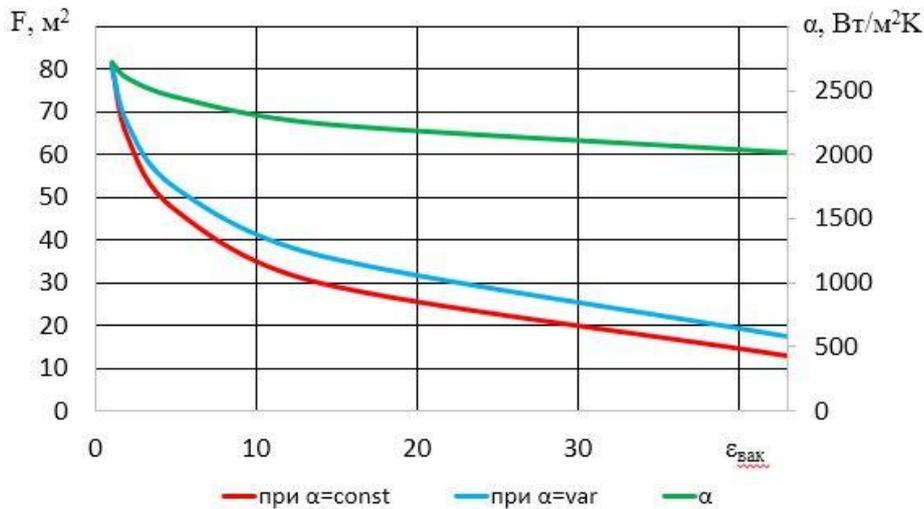


Рис. 5 – Влияние степени вакуумирования на требуемую суммарную площадь теплообмена подогревателей

Увеличение степени вакуумирования приведет к уменьшению площади теплообмена, тем самым уменьшив массогабаритные характеристики теплообменников предварительного подогрева.

Влияние степени вакуумирования на остальные теплофизические свойства (рис. 6) [10].

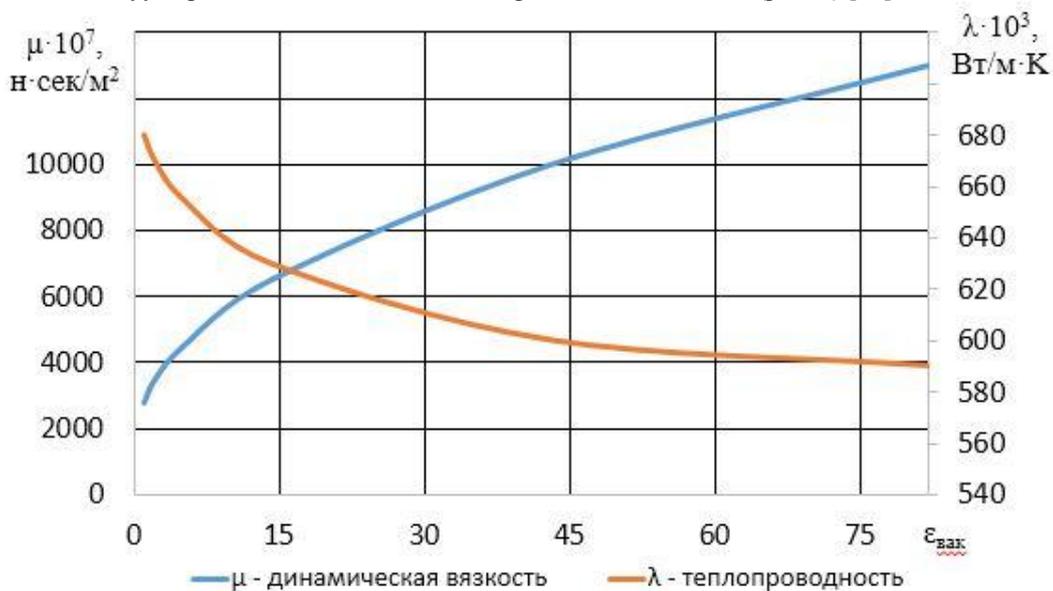


Рис. 6 – Влияние степени вакуумирования на динамическую вязкость и теплопроводность воды

В разрабатываемой установке температура исходной воды, прошедшей через теплообменники предварительного подогрева, составляет 59°C. Для оптимальной работы первой ступени опреснительной установки, в неё необходимо подавать исходную воду с температурой 70 °С. Из расчета известно, что для подогрева исходной воды в первой ступени необходимо количество теплоты равное 8 кВт. Оценив схемы получения скрытых источников тепла получаем (табл. 1).

Таблица 1 – Использование альтернативных источников тепла

Потребная тепловая мощность, кВт	Располагаемая тепловая мощность, кВт			
	Блока водозежкции	Электродвигателя	Мультипликатора	Итого
8	0,42	1,85	0,16-0,8	2,43-3,07

В целом можно отметить, что располагаемые источники тепла позволяют подогревать температуру исходной воды на 5°C, поэтому их все-таки можно рассматривать в качестве способов повышения температуры исходной воды.

Работа над оптимизацией сложного технического устройства, которым является вакуумно-дистилляционная установка с механической компрессией пара требует изучения влияния различных факторов на работу установки [11]. В данной работе было изучено влияние величины степени вакуумирования на площадь теплообменников предварительного подогрева и теплофизические свойства воды. Кроме того, была проанализирована возможность использования скрытых источников тепла, повышающих энергетическую эффективность установки. В результате расчетов было установлено, что при использовании скрытых источников энергии, энергетическая эффективность установки увеличилась на 3%.

Основными путями повышения энергетической эффективности установки видятся более полное использования тепла, которое производится некоторыми элементами установки (электродвигатель, мультипликатор, блок водожекции), а также определение более эффективных способов получения пара высокого давления.

Финансирование

Работа выполнена в организации Головного исполнителя НИОКТР при финансовой поддержке Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках реализации постановления Правительства РФ от 09.04.2010 г. № 218 по договору об условиях предоставления и использования субсидии от 01 декабря 2015 г. № 02.G25.31.0150.

Funding

The work was carried out in the organization of the Chief Executive Officer of research, development and technological work with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the framework of the implementation of the Resolution of the Government of the Russian Federation No. 218 of April 9, 2010 under the agreement on the conditions for granting and using subsidies of December 01, 2015 No. 02.G25.31.0150.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Сигора Г. А. Обзор методов переработки рассолов, образующихся в результате работы дистилляционных установок / Г. А. Сигора, Л. А. Ничкова, Т. Ю. Хоменко и др. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 12 Том 1. – С. 140–146.
2. Дегремон С. А. Технический справочник по обработке воды. В 2 т. / С. А. Дегремон // перевод с фр. ООО «Новый журнал» при участии ООО «Лингва Франка Тим». – СПб.: Новый журнал. – 2007. – Т. 2. – С. 1696.
3. Ивлева Г. А. Анализ мирового опыта и научно-технических разработок в области кондиционирования опресненных высокоминерализованных вод для питьевых целей / Г. А. Ивлева, Н. Н. Гусев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 10. – С. 162–170.
4. Слесаренко В. Н. Опреснительные установки / В. Н. Слесаренко // Владивосток: ДВГМА, 2012. – 244 с. ISBN 5–8343–0007–3.
5. Создание семейства импортозамещающих энергосберегающих установок, основанных на применении инновационных технологий для опреснения морской воды и получения дистиллята из сточных вод производительностью до 10 м куб./час: Отчет о патентных исследованиях/ рук. С.В. Лукачев; исполн. А. А. Шиманов [и др.]. - Самара, 2016. – 60 с. - №ГР АААА-А16-116051110084-8.
6. Бухмиров В. В. Расчет коэффициента конвективной теплоотдачи (основные критериальные уравнения) / В.В. Бухмиров // Изд-во Ивановского государственного энергетического университета имени В. И. Ленина. – 2007. – С. 39.
7. Воронин Г. И. Эффективные теплообменники / Г. И. Воронин, Е. В. Дубровский. - М.: Машиностроение, 1973. – 96 с.
8. Рябчиков Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Б. Е. Рябчиков / М.: ДеЛи принт, 2004. – 328 с.
9. Пояснительная записка к эскизному проекту «Создание семейства импортозамещающих энергосберегающих установок, основанных на применении инновационных технологий для опреснения морской воды и получения дистиллята из сточных вод производительностью до 10 м куб./час»: договор от 20 июля 2015 года № 77/15 на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ; рук. С. В. Лукачев; исполн. В. В. Бирюк [и др.]. – Самара, 2016. – 205 с.
10. Отчет о научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работе по теме: «Создание семейства импортозамещающих энергосберегающих установок, основанных на применении инновационных технологий для опреснения морской воды и получения дистиллята из сточных вод производительностью до 10 м куб./час» (Этап 1. Промежуточный): договор от 20 июля 2015 года № 77/15 на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ; рук. С. В. Лукачев; исполн. В. В. Бирюк [и др.]. – Самара, 2016. – 275 с.
11. Отчет о патентных исследованиях по теме «Создание семейства импортозамещающих энергосберегающих установок, основанных на применении инновационных технологий для опреснения морской воды и получения дистиллята из сточных вод производительностью до 10 м куб./час». – Самара: Самарский университет, 2016. – 59 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sigora G. A. Obzor metodov pererabotki rassolov, obrazuyushhikh v rezul'tate raboty distillyatsionnykh ustanovok [Review of methods for processing brines formed as a result of operation of distillation plants]/ G. A. Sigora, L. A. Nichkova, T. Yu. Homenko and other // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. – 2017. – № 12 Том 1. – P. 140–146. [in Russian]
2. Degremon S. A. Tekhnicheskij spravochnik po obrabotke vody [Technical Handbook for Water Treatment]. V 2 V. / S. A. Degremon // perevod s fr. ООО «Novyj zhurnal» pri uchastii ООО «Lingva Franca Tim» [translation from Fr. LLC "New Journal" with the participation of LLC "Lingua Franca Tim"]. – SPb.: Novyj zhurnal [New magazine]. – 2007. – V. 2. – 1696 p. [in Russian]
3. Ivleva G. A. Analiz mirovogo opyta i nauchno–tekhnicheskikh razrabotok v oblasti konditsionirovaniya opresnennykh vysokomineralizovannykh vod dlya pit'evykh tselej [Analysis of world experience and scientific and technical developments in the field of conditioning desalinated highly mineralized waters for drinking purposes] / G. A. Ivleva, N. N. Gusev // Gornyy

informatсионno–analiticheskij byulleten' (nauchno–tekhnicheskij zhurnal) [Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. – 2011. – № 10. – P. 162–170. [in Russian]

4. Slesarenko V. N. Opresnitel'nye ustanovki [Desalination plants] / V. N. Slesarenko // Vladivostok: DVGMA, 2012.– 244 p. ISBN 5–8343–0007–3 [in Russian]

5. Sozdanie semejstva importozameshchayushhikh ehnergoberegayushhikh ustanovok, osnovannykh na primenenii innovatsionnykh tekhnologij dlya opresneniya morskoy vody i polucheniya distillyata iz stochnykh vod proizvoditel'nost'yu do 10 m kub./chas: Otchet o patentnykh issledovaniyakh [Creation of a family of import-substituting energy-saving plants based on the use of innovative technologies for desalination of sea water and obtaining distillate from wastewater with a capacity of up to 10 m³ / h: Report on patent studies] / S. V. Lukachev; A. A. Himanov and other. - Samara, 2016. – 60 p. - №GR AAAA-A16-116051110084-8 [in Russian]

6. Bukhmirov V. V. Raschet koehffitsienta konvektivnoj teplootdachi (osnovnye kriterial'nye uravneniya) [Calculation of the coefficient of convective heat transfer (basic criterion equations)] / V. V. Bukhmirov // Izd-vo Ivanovskogo gosudarstvennogo ehnergeticheskogo universiteta imeni V.I. Lenina [Publishing house of the Ivanovo State Power University named after V. I. Lenin]. – 2007. – 39 p. [in Russian]

7. Voronin G. I. EHffektivnye teploobmenniki [Effective heat exchangers] / G. I. Voronin, E. V. Dubrovskij. - M.: Mashinostroenie [Mechanical engineering], 1973. – 96 p. [in Russian]

8. Ryabchikov B. E. Sovremennye metody podgotovki vody dlya promyshlennogo i bytovogo ispol'zovaniya [Modern methods of preparing water for industrial and domestic use] / B. E. Ryabchikov / M.:DeLi print, 2004. –328 p. [in Russian]

9. Poyasnitel'naya zapiska k ehskiznomu proektu «Sozdanie semejstva importozameshchayushhikh ehnergoberegayushhikh ustanovok, osnovannykh na primenenii innovatsionnykh tekhnologij dlya opresneniya morskoy vody i polucheniya distillyata iz stochnykh vod proizvoditel'nost'yu do 10 m kub./chas»: dogovor ot 20 iyulya 2015 goda № 77/15 na vypolnenie nauchno-issledovatel'skikh, opytно-konstruktorskikh i tekhnologicheskikh rabot; ruk. S.V. Lukachev; V.V. Biryuk and other [Explanatory note to the draft project "Creation of a family of import-substituting energy-saving plants based on application of innovative technologies for sea water desalination and obtaining distillate from wastewater with a capacity of up to 10 m³ / hr": agreement No. 77/15 of July 20, 2015, - research, development and technological work; hands. S.V. Lukachev; executed. V.V. Biryuk [and others]]. – Samara, 2016. – 205 p. [in Russian]

10. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj, opytно-konstruktorskoj i tekhnologicheskoy rabote po teme: «Sozdanie semejstva importozameshchayushhikh ehnergoberegayushhikh ustanovok, osnovannykh na primenenii innovatsionnykh tekhnologij dlya opresneniya morskoy vody i polucheniya distillyata iz stochnykh vod proizvoditel'nost'yu do 10 m kub./chas» (EHtap 1. Promezhutochnyj): dogovor ot 20 iyulya 2015 goda № 77/15 na vypolnenie nauchno-issledovatel'skikh, opytно-konstruktorskikh i tekhnologicheskikh rabot; S.V. Lukachev; V.V. Biryuk and other [Report on research, development and technological work on the topic: "Creating a family of import-substituting energy-saving plants based on the use of innovative technologies for desalination of sea water and obtaining distillate from wastewater with a capacity of up to 10 m³ / hr" (Stage 1. Intermediate): the agreement of July 20, 2015 No. 77/15 for the performance of research, development and technological works; S. V. Lukachev; V. V. Biryuk [and others]]. – Samara, 2016. – 275 p. [in Russian]

11. Otchet o patentnykh issledovaniyakh po teme «Sozdanie semejstva importozameshchayushhikh ehnergoberegayushhikh ustanovok, osnovannykh na primenenii innovatsionnykh tekhnologij dlya opresneniya morskoy vody i polucheniya distillyata iz stochnykh vod proizvoditel'nost'yu do 10 m kub./chas» [Report on patent studies on the topic "Creation of a family of import-substituting energy-saving installations based on the use of innovative technologies for sea water desalination and obtaining distillate from wastewater with a capacity of up to 10 m³ / h"]. – Samara: Samarskij universitet [Samara University], 2016. – 59 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.012>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ СИЛ ПУЧЕНИЯ ПРИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСЕ В ОКРЕСТНОСТИ ОДИНОЧНОЙ СВАИ

Научная статья

Попов В.И.*

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, Россия

* Корреспондирующий автор (popov.gtf[at]mail.ru)

Аннотация

На основе решения задачи совместного теплообмена, в рассматриваемой области определены температура, влагосодержание, льдосодержание, а также концентрация растворенных в жидкой фазе солей, негативно действующих на процессы замерзания. В зонах достаточного увлажнения порового пространства при замерзании развиваются значительные касательные напряжения. На основе введения пространственных элементов -ледяных включений (шлиров) с известным раскрытием, определяемым из решения задачи теплообмена организован переход к расчету напряженно-деформированного состояния в системе мерзлый грунт – свая в рамках упругой постановки. Представлены результаты моделирования процесса формирования сил морозного пучения возле заглубленной сваи на основе двумерной математической модели теплообмена.

Ключевые слова: теплообмен, свая, пучение, касательные силы пучения.

DETERMINATION OF TANGENTIAL HEAVING FORCES UNDER HEAT AND MASS TRANSFER IN THE VICINITY OF A SINGLE PILE

Research article

Popov.V.I.*

Chersky Institute of Mining of the North SB RAS, Yakutsk, Russia

* Corresponding author(popov.gtf[at]mail.ru)

Abstract

The temperature, moisture content, ice content, as well as the concentration of salts dissolved in the liquid phase, adversely affecting the freezing processes, are determined in the considered region on the basis of solving the problem of joint heat and mass transfer. Significant shear stresses develop in the zones of sufficient moistening of the pore space during freezing. The transition to the calculation of the stress-strain state in the frozen soil, pile as part of the elastic formulation, was organized on the basis of introducing spatial elements of ice inclusions (slits) with a known disclosure determined from the solution of the heat and mass transfer problem. The results of the simulation of the forces formation of frost heaving near a recessed pile on the basis of a two-dimensional mathematical model of heat and mass transfer are presented.

Keywords: heat and mass transfer, pile, heaving, tangential heaving forces.

Введение

Негативное воздействие морозного пучения на горнотехнические сооружения в период промерзания грунтов является основной причиной их деградации, начиная с момента строительства и в течение всего периода их эксплуатации [1, С. 12], [2, С. 15], [3, С. 204]. Совокупное влияние температуры среды, состояния поверхности грунта и распределение его параметров по глубине, включая распределения влажности и льдистости а также их динамика создают сложный спектр причин ответственных за формирование условий морозного пучения оснований [4, С. 51], [7, С. 5]. Большинство методов расчета сил морозного пучения промерзающих и оттаивающих оснований базируется, в основном, на решении задачи теплообмена и определении амплитудных значений границы промерзания - оттаивания грунтов оснований [8, С. 5], [9, С. 37], [10, С. 4].

Применение методов численного моделирования поведения сооружений позволяет контролировать по этапам процессы изменения температурно-влажностных полей и связанных с ними деформаций, а следовательно прогнозировать эффективность использования различных материалов и мероприятий для снижения или исключения негативных явлений, действующих на свайные фундаменты и грунты оснований в условиях их сезонного промерзания-оттаивания. Пошаговое решение строится следующим образом, сначала рассматривается задача теплообмена, в результате решения которой, определяются поля концентрации, влагосодержания - (w) и льдосодержания - (Lod) на каждом шаге по времени, затем определяется степень заполнения порового пространства льдом и при достижении определенного критерия решается задача определения плоской картины НДС в мерзлых грунтах основания.

Задача теплообмена

Математическая модель процесса теплообмена при промерзании состоит из системы трех уравнений параболического типа с учетом конвективных членов: уравнения конвективной теплопроводности, диффузионно - конвективного движения влаги и растворенного компонента. Система замыкается уравнением фазового состояния порового раствора $T_F = T_F(w, C)$, учитывающим специфические характеристики среды - потенциал адсорбционного взаимодействия выраженный через влагосодержание, величину удельной поверхности, концентрацию порового раствора [11, С. 238]. С помощью введения параметра захвата предусмотрена возможность учета селективности растворенного компонента на межфазовой границе лед-раствор.

Решение системы уравнений осуществляется на основе конечно - разностных соотношений полученных с помощью интегро-интерполяционного метода. Применены процедуры расщепления по физическим процессам (конвективный перенос (фильтрация), диффузия, фазовый переход) исходной системы уравнений.

Моделирование тепломассопереноса в системе свая – промерзающий массив в течение годового климатического цикла проведено для случаев отсутствия инфильтрации загрязнения с поверхности и при её наличии. Расчеты проведены для значений; температуры массива $T_{\text{мас}} = -2^{\circ}\text{C}$; температуры рассола $T_{\text{рас}} = -2^{\circ}\text{C}$; начальная концентрация порового раствора в массиве $C_0 = 1$ г/л.; концентрации рассола $C_{\text{рас}} = 100$ г/л; начальная влажность массива равна 0,2. Динамика температуры среды теплообмена соответствует годовому циклу. В момент времени $t=t_x$ в течение времени $t_{\text{инф}}$ высокоминерализованный раствор с температурой $T_{\text{рас}}$ и концентрацией $C_{\text{рас}}$ инфильтруется с поверхности массива в околосвайную область. На поверхности массива происходит конвективный теплообмен с воздушной средой с температурой $T_{\text{ср}}$, при этом, потоки влаги и солей в период отсутствия инфильтрации равны нулю. На боковых границах рассматриваемой области ставятся условия равенства нулю потоков тепла, влаги и соли. Так как массив имеет отрицательную температуру то величины содержания воды, льда и концентрации определяются на основе уравнения фазового равновесия по исходным значениям влагосодержания и концентрации, заданных для талого состояния. Расчетная область имеет размеры 10 м. в глубину и 20.4 в ширину, с центральным расположением бетонной сваи толщиной 0.4 м. и длиной 5.5 м. из которых 5 м. заглублены в грунт основания.

Определение НДС пучения

Учет влияния касательных сил пучения [12, С. 83] на поверхность сваи определяется суперпозицией силового воздействия структурных элементов - «шлиров», ледяных включений прямоугольной формы. При воздействии знакопеременных температур на поверхность массива горных пород в последнем происходят процессы перераспределения влаги и образования льда. Пороговый критерий возникновения условий механического воздействия на поверхность расположенной в массиве фундаментной сваи определяем по заполнению порового пространства льдом на 85% [4, С. 92]. Для численного расчета напряженно-деформированного состояния основания введем размеры «шлиров», как узких включений толщиной d и длиной $2a$, с углом ориентации β к горизонтальной оси x главной системы координат. Поле напряжений вокруг «шлира» определяется на основе производящей функции метода разрывных смещений [13, С. 85]:

$$f(x, y) = \frac{-1}{4\pi(1-\nu)} \left\{ y \left(\arctg\left(\frac{y}{x-a}\right) - \arctg\left(\frac{y}{x+a}\right) \right) - (x-a) \ln\sqrt{(x-a)^2 + y^2} + (x+a) \ln\sqrt{(x+a)^2 + y^2} \right\}$$

Используя, полученное из решения задачи тепломассообмена, распределение избыточного льдосодержания в расчетной области и размерные параметры включений перейдем к числовой плотности распределения одинаковых включений в узлах расчетной сетки. Тогда компоненты напряженно деформированного состояния в расчетной области можно представить в виде суперпозиции соответствующих решений для одиночного включения:

а) решения задачи о напряженно деформированном состоянии в плоскости с распределенными элементами - «шлирами» и расчет напряжений на граничных элементах представляющих свободную поверхность массива;

б) решения задачи с фиктивными граничными условиями обеспечивающими отсутствие касательных и нормальных напряжений на поверхности массива основания.

Расчет напряжений во внутренних точках расчетной области определяется как

$$\sigma = \int_S F(\rho_p, \rho) \cdot P(\rho) D_s(\rho) dS + \int_B F(\rho_B, \rho) \cdot D_B(\rho_B) dB$$

Здесь первый интеграл представляет суммирование вкладов в величину напряжений в теле основания от структурных элементов «шлиров», распределенных по расчетной области S с числовой плотностью $P(\rho)$, второй интеграл представляет вклад граничных элементов на свободной поверхности массива B .

Представленное решение относится к задаче о полуплоскости с распределенными в ней ледяными включениями (шлирами) при этом граница полуплоскости свободна от касательных и нормальных напряжений. Для определения воздействия касательных сил пучения (от роста «шлиров») на основе полученного решения определим эти напряжения на граничных элементах (площадках) вдоль линии раздела сваи и грунта. На (рис. 1) представлены соответствующие результаты.

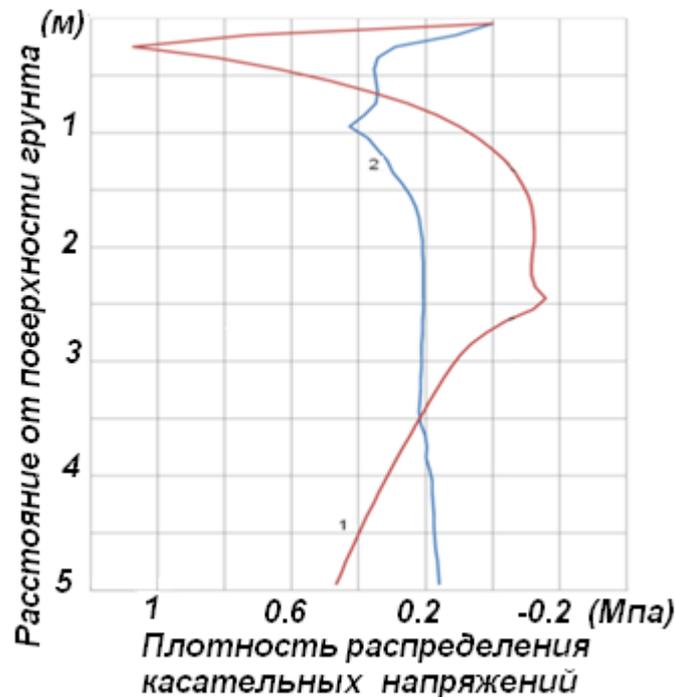


Рис.1 – Распределение касательных сил пучения по длине сваи:

1 – диффузионная модель промерзания, 2 – учет инфильтрационных потоков минерализованного раствора

Заключение

Разработана комплексная модель взаимодействия фундаментной сваи с породами основания в условиях промерзания и инфильтрации растворов повышенной концентрации. Инфильтрация минерализованных растворов в зоне расположения фундаментной сваи существенно снижает ее несущую способность.

Представленная модель взаимодействия сваи и промерзающего основания позволяет на ограниченной основе данных о сложении основания и климатических параметров создавать сезонные прогнозы устойчивости свайного фундамента при угрозах техногенного загрязнения грунтового основания.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Киселев М. Ф. Мероприятия против деформаций зданий и сооружений от действия сил морозного выпучивания фундаментов/ М. Ф. Киселев// М.: Стройиздат.- 1971.- 104 с.
2. Далматов Б. И. Воздействие морозного пучения грунтов на фундаменты сооружений / Б. И. Далматов // Ленинград ; Москва : Госстройиздат. [Ленингр. отд-ние].- 1957. - 60 с.
3. Sritharan S. Effects of seasonal freezing on bridge column-foundation-soil interaction and their implications / S. Sritharan, M. T. Suleiman, D. J. White//.Earthquake Spectra -2007.-23:1. –P. 199-222.
4. Деформации и напряжения в промерзающих и оттаивающих породах. Под ред. Ершова Э. Д. – М.: МГУ.- 1985. - 167с.
5. Qiang L.I. Numerical simulation of pile foundation performance in liquifiable soils with a frozen crust / Liang TANG , Zhaohui YANG , Xianzhang LING// In 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, (January 2011, 10-13, Santiago, Chile) Paper No. NSPYA.
6. Akili W. Stress-strain behavior of frozen fine-grained soils./ W. Akili // Highway Research Record: Frost Action and Drainage. 1971, No. 360: 1-8.
7. Третьякова О. В. Нормальные напряжения морозного пучения как функция избыточной влажности / О. В. Третьякова // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 8(76). С. 130–139.
8. Alekseeva O. I. Permafrost engineering in Yakutian geocryological research / O. I. Alekseeva // J. Earth's Cryosphere. 2017, vol. XXI, No. 4, pp. 3–9. DOI: 10.21782/EC2541-9994-2017-4(3-9)
9. Тер-Мартirosян З. Г. Расчет касательного напряжения морозного пучения вдоль ствола сваи при учете ее деформируемости / З. Г. Тер-Мартirosян, П. А. Горбачев // Жилищное строительство. -2011. - № 12.- С . 36-39.
10. Сахаров И. И. Решение трехмерной температурно-влажностной задачи промерзания и пучения на примере малоэтажного кирпичного здания / И. И. Сахаров, В. Н. Парамонов, К. Г. Шашкин// Ж. Развитие городов и геотехническое строительство. 2011, Вып. №2, С. 1-12.
11. Попов В. И. Решение задач тепломассопереноса при промерзании – оттаивании горных пород с учетом уравнения фазового состояния поровой влаги/ В. И. Попов, А. С. Курилко // ГИАБ. – Тематическое приложение «Физика горных пород»,- 2006. С. 236-242.
12. Далматов Б. И. Исследования касательных сил пучения и влияния их на фундаменты сооружений/ Б. И. Далматов// АН СССР: Институт мерзлотоведения, 1954. 29 с.

13. Крауч С. Методы граничных элементов в механике твердого тела/С. Крауч, А. Старфилд // .-М.: Мир. 1987.- 328с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kiselev M. F. Meropriyatiya protiv deformatsiy zdaniy i sooruzheniy ot deystviya sil moroznogo vypuchivaniya fundamentov [Measures against the deformation of buildings and structures from the action of the forces of frosty buckling of the foundations]. М. : Stroyizdat, -1971.- 104p. [in Russian]
2. Dalmatov B. I. Vozdeystviye moroznogo pucheniya gruntov na fundamenty sooruzheniy [The impact of frost heaving of soils on the foundations of buildings] / B. I. Dalmatov// - Leningrad; Moskva: Gosstroyizdat. [Leningr. otd-niye]. -1957. - 60 p. [in Russian]
3. Sritharan, S. Effects of seasonal freezing on bridge column-foundation-soil interaction and their implications. / S.M. Sritharan, T. Suleymana, D. J. White // Earthquake Spectra. -2007.- 23: . -P. 199-222.
4. Deformatsii i napryazheniya v promerzayushchikh i ottaivayushchikh porodakh [Deformations and stresses in freezing and thawing rocks]. Pod red. Yershova E. D. - М. : MGU. -1985. – 167p. [in Russian]
5. Qiang L.I., Numerical simulation of pile foundation performance in liquifiable soils with a frozen crust./Liang TANG , Zhaohui YANG , Xianzhang LING// In 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, (January 2011, 10-13, Santiago, Chile) Paper No. NSPYA.
6. Akili W. Stress-strain behavior of frozen fine-grained soils./ W. Akili // Highway Research Record: Frost Action and Drainage.- 1971.- No. 360:-P. 1-8.
7. Tret'yakova O.V. Normal'nyye napryazheniya moroznogo pucheniya kak funktsiya sverkhtochnoy vlazhnosti [Normal frost heaves as a function of excess moisture] / O.V. Tret'yakova // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2017. № 8 (76). P. 130-139. [in Russian]
8. Alekseyeva O.I. Tekhnika vechnoy merzloty v yaktovskikh geokriologicheskikh issledovaniyakh./ O.I. Alekseyeva // J. Earth's Cryosphere . 2017, vol. XXI, № 4, P. 3-9. DOI: 10.21782 / EC2541-9994-2017-4 (3-9)
9. Ter-Martirosyan Z. G., Gorbachev P.A Raschet kasatel'nogo napryazheniya moroznogo pucheniya vdol' stvola svai pri uchete yeye deformiruyemosti [Calculation of the tangential stress of frost heaving along the pile shaft, taking into account its deformability]/ Z. G. Ter-Martirosyan, P.A Gorbachev //Zhilishchnoye stroitel'stvo. -2011. - № 12.- P. 36-39. [in Russian]
10. Sakharov I.I. Resheniye trekhmernoy temperaturno-vlazhnostnoy zadachi promerzaniya i pucheniya na primere maloetazhnogo kirpichnogo zdaniya [Solution of the three-dimensional temperature and humidity problem of freezing and heaving on the example of a low-rise brick building] / I.I. Sakharov, V.N. Paramonov, K.G. Shashkin // Zh. Razvitiye gorodov i geotekhnicheskoye stroitel'stvo. -2011.- Vyp. №2. P. 1-12. [in Russian]
11. Popov V.I. Resheniye zadach teplomassoperenosa pri promerzanii - ottaivanii gornykh porod s uchetom uravneniy fazovogo sostoyaniya porovoy vlagi [Solving problems of heat and mass transfer during freezing and thawing of rocks, taking into account the equation of the phase state of pore moisture.]/V.I. Popov, A.S. Kurilko // GIAB. - Tematicheskoye prilozheniye «Fizika gornykh porod»- 2006.- P. 236-242. [in Russian]
12. Dalmatov B.I. Issledovaniya kasatel'nykh sil pucheniya i vliyaniya ikh na fundamenty sooruzheniy [Studies of tangential heaving forces and their influence on the foundations of structures]/B.I. Dalmatov // AN SSSR: Institut merzlotovedeniya.- 1954.- 29 p. [in Russian]
13. Krauch S., Starfild A. Metody granichnykh elementov v mekhanike tverdogo tela [Methods of boundary elements in solid mechanics]. -М. : Mir.- 1987.-328p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.013>

О СООТВЕТСТВИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ ФЕРРИТА И ФЕРРИТНОГО ЧИСЛА В АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЯХ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ РОССИЙСКИМИ ФЕРРИТОМЕТРАМИ

Научная статья

Ригмант М.Б.^{1*}, Корх М.К.²

¹ ORCID: 0000-0001-8763-8784;

² ORCID: 0000-0002-8016-5694;

^{1,2} Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (rigmant[at]imp.uran.ru)

Аннотация

Проведено сравнение ферритного числа (FN) стандартных образцов аустенитных сталей, изготовленных методом наплавки фирмой «Инспектор Гейдж» (Великобритания) с измерениями процентного содержания фазы феррита (СФФ) с помощью российских ферритометров ФМ-3 (ИФМ УрО РАН) и МК-1.2Ф (АО ИНТРОТЕСТ). Показано, что между значениями FN и СФФ во всем измеряемом диапазоне сохраняется линейная зависимость $FN \approx 1,8 \cdot СФФ$ с относительной погрешностью не более 12 % для всех измеренных образцов с различным содержанием ферритного числа. Такая однозначная связь FN и (СФФ) позволяет использовать российские ферритометры для контроля аустенитно-ферритных сталей изготовленных за рубежом, так и наоборот – калибровать иностранные приборы в единицах СФФ при контроле сталей изготовленных в России.

Ключевые слова: феррит, аустенит, фазовый состав, неразрушающий контроль.

ON CONFORMITY OF THE MEASUREMENT RESULTS OF PERCENTAGE OF FERRITE AND FERRITIC NUMBER IN AUSTENITIC STEELS AT MEASUREMENTS BY RUSSIAN FERRITOMETERS

Research article

Rigmant M.B.^{1*}, Korkh M.K.²

¹ ORCID: 0000-0001-8763-8784;

² ORCID: 0000-0002-8016-5694;

^{1,2} Federal State Budgetary Institution of Science M.N. Mikheev Institute of Metal Physics Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

* Corresponding author (rigmant[at]imp.uran.ru)

Abstract

The article contains the comparison of the ferritic number (FN) of standard samples of austenitic steels produced by the overlaying method by Inspector Gage (United Kingdom) with the measurements of the percentage of ferrite phase (PFP) with the help of Russian FM-3 ferritometers FM-3 (IPM UB RAS) and МК-1.2F (INTROTEST JSC). It is shown that linear dependence of FN $\approx 1.8PFP$ with a relative error of no more than 12% for all measured samples with different contents of ferritic number remains between the values of FN and PFP in the entire measured range. Such an unambiguous connection between FN and (PFP) allows the use of Russian ferritometers to monitor austenitic-ferritic steels produced abroad, and vice versa, to calibrate foreign instruments in PFP units when monitoring steels manufactured in Russia.

Keywords: ferrite, austenite, phase composition, non-destructive testing.

Магнитная ферритометрия в России основывается на представлении о ферритной фазе (α -фазе) в аустенитных и аустенитно-ферритных сталях, как мелкодисперсном сложнелегированном ферромагнетике, содержание и распределение которого в парамагнитной матрице изучается с помощью соответствующих методик и аппаратуры. Российские приборы ферритометры измеряют α -фазу двумя методами: объемным и локальным, которые взаимно дополняют друг друга [1]. При использовании объемного метода образцы стандартного размера, вырезанные из зоны контроля, намагничиваются до состояния технического насыщения. При локальном магнитном контроле материал намагничивается лишь на небольшом участке изделия. Локальный метод магнитной ферритометрии широко используется в неразрушающем контроле благодаря его оперативности, высокой производительности и возможности определения содержания ферритной фазы непосредственно в готовых изделиях.

Метод магнитного насыщения предусмотрен Государственными стандартами России [2] для аттестации стандартных образцов содержания феррита в аустенитных сталях. В России используется понятие «процент феррита», определяемый как одна сотая доля величины удельной намагниченности насыщения ферритной фазы в исследуемой стали. За рубежом контроль содержания ферритной фазы (СФФ) возник как инженерная проблема и развивался на базе методов и средств магнитной толщинометрии [14], [15]. Данные методы, основанные на измерении силы отрыва постоянного магнита от поверхности образца, также могут давать воспроизводимые результаты. При таком контроле используется понятие ферритное число («ferrite number» или FN). Цель данной работы – это установление связи между содержанием ферритной фазы и значением ферритного числа. Данное исследование проводится как на образцах СФФ, так и на образцах FN.

В Институте физики металлов УрО РАН были проведены прямые измерения СФФ образцов с различным ферритным числом с помощью российских ферритометров – МК-1.2 Ф (ОАО «Интротест») и ФХ-3 ИФМ (ИФМ УрО

РАН). Образцы были изготовлены фирмой «Инспектор Гейдж» (Великобритания) методом наплавки аустенитной проволоки на ферромагнитную основу [1], [14], [15].

Образцы для измерений были предоставлены производственным объединением ООО «Ижорские заводы». Российские ферритометры для локальных измерений калибровались на Государственных стандартных образцах (комплект ГСО) в % ферритной фазы. Комплект ГСО разработан в Уральском центре стандартизации и метрологии Госстандарта (ныне «Уралтест», г. Екатеринбург) совместно с ЦНИИТМаш (г. Москва). Образцы изготовлены методом центробежного литья, который позволяет получить большой объем стали с однородным фазовым составом [1].

Содержание ферритной фазы в российских образцах определялось несколькими методами, в том числе - методом магнитного насыщения и методом оптической микроскопии.

Метод магнитного насыщения является наиболее информативным, так как при объемном контроле целиком намагничиваются образцы «свидетели», а при локальном контроле намагничивается достаточно большой участок изделия. Результат такого намагничивания и связан с содержанием ферритной фазы. В методе магнитного насыщения за процентное содержание феррита (%F) в аустенитной стали принимается значение

$$\% F = \left(\frac{J_{обр}^F}{J_{100\%}^F} \right) \cdot 100\% , \quad (1)$$

где $J_{обр}^F$ – экспериментально определенная намагниченность насыщения исследуемой стали, содержащей некоторое количество феррита,

$J_{100\%}^F$ – намагниченность насыщения стали, содержащей максимально возможное (100%) количество феррита при данном химическом составе.

В работе [11] был развит эмпирический подход, предложенный ранее в [12], [13], который показал, что значение $J_{100\%}^F$ можно с высокой точностью получить, зная химический состав исследуемой стали, из формулы

$$\begin{aligned} J_{100\%}^F = & 1720 - 21,9(\% Cr) - 26,3(\% Ni) - 22,3(\% Mn) - 48,6(\% Si) - \\ & - 20,7(\% Mo) - 53,3(\% Ti) - 50,2(\% V) - 8(\% Cu) - 39,8(\% P) \text{ (кА/м)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где в скобках указано процентное содержание химических элементов в ферритной фазе исследуемой стали. Формула (2) для расчета $J_{100\%}^F$ достаточно понятна с физической точки зрения. Величина 1720 кА/м это величина намагниченности насыщения чистого железа. Наличие легирующих элементов в исследуемой стали понижает это значение.

На рис.1 для примера представлены результаты оптической микроскопии двух образцов из набора СФФ с содержанием ферритной фазы а) 5,3%, б) 10,3% при 500 кратном увеличении.

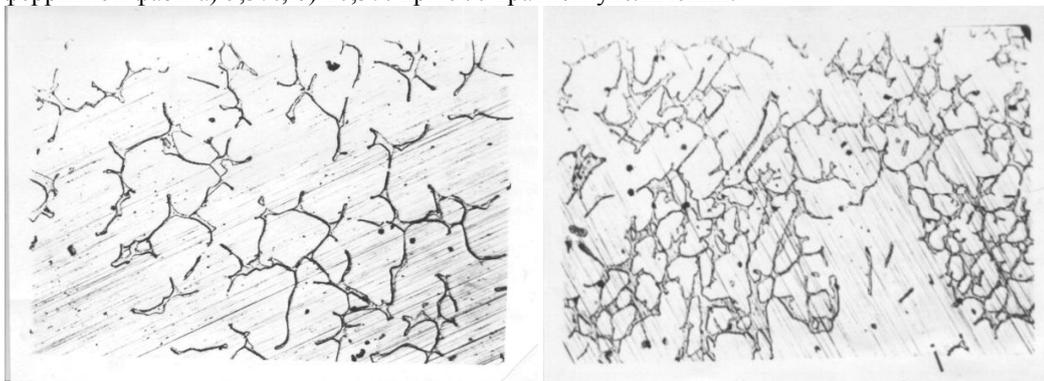


Рис.1 – Измерение фазы феррита при 500 кратном увеличении – а) 5,3%, б) 10,3%

Сравнительные измерения ферритометрами в процентах ферритной фазы на комплекте образцов ферритного числа, аттестованы Международным институтом сварки (г. Кембридж, Великобритания) представлены на рис. 2.

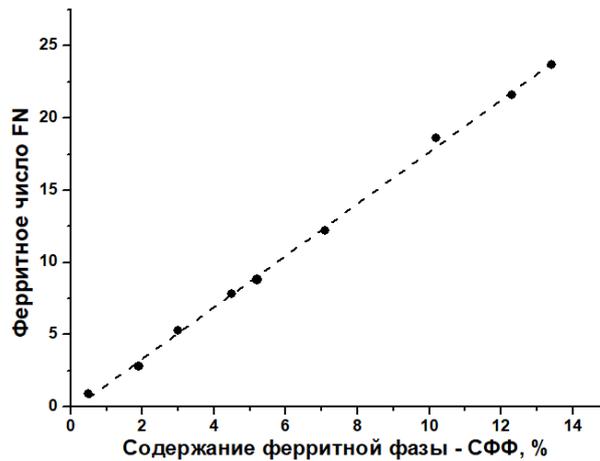


Рис. 2 – Связь значений ферритного числа с содержанием ферритной фазы. Измерения проведены ферритометрами МК-1.2 Ф и ФМ-3 ИФМ.

Результаты сравнительных измерений показали, что связь ферритного числа - (FN) и процентного содержания α -фазы является близкой к линейной. Ферритное число можно определить, как $FN \approx 1,80 \cdot \text{СФФ}$. Относительная погрешность измерений не превышает 12%. Это экспериментальное значение хорошо согласуется с данными Международного института сварки (Кембридж, Великобритания) которое определяется сложным расчетно-измерительным путем.

Однозначная линейная связь ферритного числа и процентного содержания феррита может быть объяснена тем, что в случае измерения FN, и в случае измерения СФФ, рассматривается магнитная связь между намагничивающим элементом измерительного преобразователя (датчика), создающего большое магнитное поле, и контролируемым аустенитно-ферритным материалом. Как в случае измерения FN, так и в случае определения СФФ, контролируемый материал намагничивается до магнитных полей, при которых происходит локальное намагничивание до состояния близкое к техническому насыщению. Для всех, рассматриваемых в данной статье приборов контроля, определяется характеристика, связанная с взаимодействием намагниченного участка и магнитоизмерительным преобразователем. При измерении ферритного числа определяется сила отрыва локального постоянного магнита от намагниченного участка. При измерении прибором МК-1.2Ф измеряется индукционный отклик контролируемого участка при импульсном намагничивании с помощью магнитомягкого сердечника.

Контроль СФФ прибором ФХ-3 ИФМ осуществляется следующим образом (см. рис.3): преобразователем Холла (2) измеряется магнитное поле рассеяния от контролируемого изделия (3) локально намагниченного сильным постоянным магнитом (1) из сплава редкоземельного элемента. Цифрой (4) на рис.3 обозначена намагниченная область (зона контроля) в контролируемом материале. Напряженность магнитных полей рассеяния в зоне контроля прямо пропорциональна содержанию ферромагнитных включений в данной зоне.

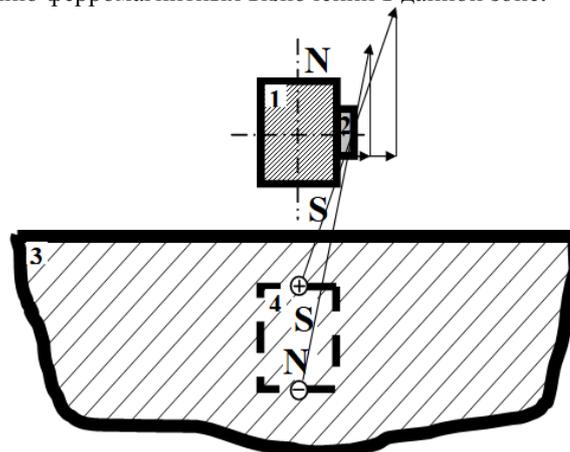


Рис. 3 – Устройство и принцип работы измерительного преобразователя прибора «Ферритометр ФХ-3 ИФМ», где:
1 – постоянный магнит; 2 – датчик Холла; 3 – контролируемый объект;
4 – «отражение» магнита в материале стали

Заключение

Измерения, выполненные в ИФМ УрО РАН, показали возможность использования российских ферритометров как для контроля фазы феррита, так и для определения ферритного числа на изделиях из аустенитных и аустенитно-ферритных сталей. Применение российских приборов вместе со стандартными образцами СФФ позволяет проводить измерения с большой локальностью. Зарубежные приборы для решения аналогичных задач часто используют для калибровки по измерению FN образцы имитаторы. В этих образцах сила отрыва калиброванного магнита регулируется немагнитным покрытием на ферромагнитной основе. Немагнитное покрытие, при этом, может совсем не

содержать аустенитной фазы, что ограничивает использование образцов имитаторов, например, при замене одного магнитоизмерительного преобразователя на другой, или при использовании имитаторов для различных приборов по измерению значения ферритного числа.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Диагностика», № АААА-А18-118020690196-3).

Funding

The work was performed within the framework of the state assignment of the Federal Agency for Scientific Organizations of Russia ("Diagnostics," No. АААА-А18-118020690196-3).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Международная инженерная энциклопедия. Неразрушающие методы контроля. Спецификатор различий в национальных стандартах различных стран. Под ред. проф. В. Я. Кершенбаума: – М.: Центр «Наука и техника». 1995. т. 3. С. 68-128.
2. ГОСТ Р 53686-2009 Сварка. Определение содержания ферритной фазы в металле сварного шва аустенитных и двухфазных аустенитно-ферритных хромоникелевых коррозионноустойчивых сталей. – М.: Стандартинформ, 2011. – 25 с.
3. Курдюмов В. Г. Превращения в железе и сталях. / В. Г. Курдюмов, Л. М. Утевский, Р. И. Энтин – М.: Наука. 1977. 236 с.
4. Химченко Н. В. Неразрушающий контроль в химическом и нефтяном машиностроении. / Н. В.Химченко, В. А. Бобров – М.: Машиностроение. 1978. 356 с.
5. Ригмант М. Б. Прибор для контроля изменений магнитного состояния листов слабомагнитных аустенитных сталей – ферритометр Ф-01./ М. Б. Ригмант, М. А. Веденеев, В. С. Пономарев, и др. Прибор для контроля изменений магнитного состояния листов слабомагнитных аустенитных сталей – ферритометр Ф-01. // Дефектоскопия. – 1994. – №3. – С. 3-9.
6. Меринов П. Е. Определение мартенсита деформации в сталях аустенитного класса магнитным методом / П. Е. Меринов, А. Г. Мазепа. // Заводская лаборатория. – 1997. – №3. – С. 47-49.
7. Deryagin A. I. Formation of Nanosized Ferromagnetic Phases during Plastic Deformation and Subsequent Annealing of Stable Austenitic Steels / A. I. Deryagin, V. A. Zavalishin, V. V. Sagaradze and others // Russian journal of nondestructive testing. – 2007– V.43 – p. 427 (9 pp.)
8. Rigmant M. B. Instruments for Magnetic Phase Analysis of Articles Made of Austenitic Corrosion-Resistant Steels / M. B. Rigmant, A. P. Nichipuruk, B. A. Khudyakov and others // Russian journal of nondestructive testing. – 2005. – V. 41. – P. 701–709.
9. Rigmant M. B. The possibility of separate measurements of the amounts of ferrite and deformation martensite in three-phase austenitic-class steels using the magnetic method / M. B. Rigmant, A. P. Nichipuruk, M. K. Korkh // Russian journal of nondestructive testing. – 2012. – V. 48. – P. 511–521.
10. Korkh M. K. Determination of the phase composition of three-phase chromium-nickel steels from their magnetic properties / M. K. Korkh, M. B. Rigmant, D. I. Davydov, and others// Russian journal of nondestructive testing. – 2015. – V. 51. – P. 727–737.
11. Merinov P. The magnetic testing of the ferrite content of austenitic stainless steel weld metal / P. Merinov, S. Entin, B. Beketov and others // NDT International. – 1978. – V. 11. – p. 9-12.
12. Elmer J. Measuring determination the residual ferrite content of rapidly solidified stainless steel alloy/ J. Elmer, T. Eagar // Welding Research Saplement. – 1990. – V. 4. – p. 141-150.
13. Stalmasek E. Measurements of ferrite content in austenitic stainless steel weld metal giving internationally reproducible results / E. Stalmasek // Welding Research Council Bulletin. – 1986. – V.318. – p. 22 – 97.
14. American National Standard ANSI/AWS A4.2-86 Standard procedure for calibrating magnetic instruments to measure the delta-ferrite content of austenitic stainless steel weld metal.: American welding society inc., 1998. – 27 p.
15. International Standard ISO 8249. Welding — Determination of Ferrite Number (FN) in austenitic and duplex ferritic-austenitic Cr-Ni stainless steel weld metals.: ISO copyright office, Switzerland, 2000. – 11 p.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Mezhdunarodnaja inzhenernaja enciklopedija. Nerazrushajushhie metody kontrolja. Specifikator razlichij v nacional'nyh standartah razlichnyh stran. Pod red. prof. V. Ja. Kershenbauma [International Engineering Encyclopedia. Non-destructive control methods. The specifier of differences in national standards of different countries. Ed. prof. V. Ya. Kershenbaum]: – М.: Centr «Naukaitehnika». 1995. Vol. 3. p. 68-128. [in Russian]
2. GOST R 53686-2009 Svarka. Opredelenie soderzhaniya ferritnoj fazy v metalle svarnogo shva austenitnyh i dvuhfaznyh austenitno-ferritnyh hromonikelevykh korrozionnostojkikh stalej [Welding. Determination of the ferritic phase content in the weld metal of austenitic and two-phase austenitic-ferritic nickel-chromium corrosion-resistant steels]. – М.: Standartinform, 2011. – 25 p. [in Russian]
3. Kurdjumov V. G. Prevrashhenija v zhelezeistali [Transformations in iron and steel] / V. G. Kurdjumov, L. M. Utevsij, R. I. Jentin – М.: Nauka. 1977. 236 p. [in Russian]
4. Himchenko N. V. Nerazrushajushhij kontrol' v himicheskom i neftjanom mashinostroenii [Non-destructive testing in chemical and petroleum engineering] / N. V. Himchenko, V. A. Bobrov – М.: Mashinostroenie. 1978. 356 p. [in Russian]

5. Rigmant M. B. Pribor dlja kontrolja izmenenij magnitnogo sostojanija listov slabomagnitnyh austenitnyh stalej – ferritometr F-01 [A device for monitoring changes in the magnetic state of low-magnetic austenitic steel sheets - ferrite meter F-01] / M. B. Rigmant, M. A. Vedeneev, V. S. Ponomarev, and others // Defektoskopija. – 1994. – V.3. – P. 3–9. [in Russian]
6. Merinov P. E. Opredelenie martensita deformacii v staljah austenitnogo klassa magnitnym metodom [Determination of deformation martensite in austenitic steels by the magnetic method] / P. E. Merinov, A. G. Mazepa. // Zavodskajalaboratorija. – V.3. – 1997. – P. 47–49. [in Russian]
7. Deryagin A. I. Formation of Nanosized Ferromagnetic Phases during Plastic Deformation and Subsequent Annealing of Stable Austenitic Steels / A. I. Deryagin, V. A. Zavalishin, V. V. Sagaradze and others // Russian journal of nondestructive testing. – 2007 – V.43 – p.427 (9 pp.)
8. Rigmant M. B. Instruments for Magnetic Phase Analysis of Articles Made of Austenitic Corrosion-Resistant Steels / M. B. Rigmant, A. P. Nichipuruk, B. A. Khudyakov and others // Russian journal of nondestructive testing. – 2005. – V. 41. – P. 701–709.
9. Rigmant M. B. The possibility of separate measurements of the amounts of ferrite and deformation martensite in three-phase austenitic-class steels using the magnetic method / M. B. Rigmant, A. P. Nichipuruk, M. K. Korkh // Russian journal of nondestructive testing. – 2012. – V. 48. – P. 511–521.
10. Korkh M. K. Determination of the phase composition of three-phase chromium-nickel steels from their magnetic properties / M. K. Korkh, M. B. Rigmant, D. I. Davydov and others // Russian journal of nondestructive testing. – 2015. – V. 51. – P. 727–737.
11. Merinov P. The magnetic testing of the ferrite content of austenitic stainless steel weld metal / P. Merinov, S. Entin, Beketov B. and others // NDT International. — 1978. — V. 11. —p. 9-14.
12. Elmer J. Measuring Determination the residual ferrite content of rapidly solidified stainless steel alloy/ J. Elmer T. Eagar // Welding Research Saplement. – 1990. – V.4. – p. 141–150.
13. Stalmasek E. Measurements of ferrite content in austenitic stainless steel weld metal giving internationally reproducibile results / E. Stalmasek // Welding Research Council Bulletin. – 1986. – V.318. – p. 22 – 97.
14. American National Standard ANSI/AWS A4.2-86 Standard procedure for calibrating magnetic instruments to measure the delta-ferrite content of austenitic stainless steel weld metal.: American welding society inc., 1998. – 27 p.
15. International Standard ISO 8249. Welding — Determination of Ferrite Number (FN) in austenitic and duplex ferritic-austenitic Cr-Ni stainless steel weld metals.: ISO copyright office, Switzerland, 2000. – 11 p.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.014>

ОРГАНИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Научная статья

Якубайлик О.Э.^{1,*}, Павличенко Е.А.², Ромасько В.Ю.³

¹ ORCID: 0000-0002-2668-4776;

² ORCID: 0000-0001-8963-0081;

³ ORCID: 0000-0002-7737-6263;

^{1, 2, 3} Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Россия

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

Аннотация

В настоящей работе анализируется опыт построения систем космического мониторинга в Красноярском крае, в основе которых – станции приема спутниковой информации, опыт эксплуатации которых превышает уже 20 лет. В частности, рассматривается запущенный в эксплуатацию в 2017 г. новый спутниковый приемный комплекс ФИЦ КНЦ СО РАН на базе станции УниСкан-36 компании СКАНЭКС, который обеспечивает возможность приема данных ДЗЗ со всех актуальных низкоорбитальных метеорологических спутников среднего пространственного разрешения (TERRA/AQUA, Suomi NPP/NOAA-20, FengYun-3).

Ключевые слова: дистанционное зондирование, ДЗЗ, спутниковый мониторинг, геопортал, обработка пространственных данных.

ORGANIZATION OF OPERATIONAL TREATMENT OF DATA OF THE EARTH REMOTE SENSING

Research article

Yakubailik O.E.^{1,*}, Pavlichenko E.A.², Romasko V.Yu.³

¹ ORCID: 0000-0002-2668-4776;

² ORCID: 0000-0001-8963-0081;

³ ORCID: 0000-0002-7737-6263;

^{1, 2, 3} Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia

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

Abstract

This paper analyzes the experience of building space monitoring systems in the Krasnoyarsk Krai based on satellite information receiving stations the operating experience of which exceeds 20 years. In particular, the article considers a new satellite receiving complex of the FRC KSC SB RAS based on the UniScan-36 station of SCANEX, which can receive remote sensing data from all current low-orbit meteorological satellites of medium spatial resolution (TERRA/AQUA, Suomi NPP (NOAA-20, FengYun-3).

Keywords: remote sensing, Earth remote sensing, satellite monitoring, geo-portal, spatial data processing.

География Красноярского края, его значительная по размерам территория с разнообразным рельефом и климатом, высокая доля труднодоступных и слабо освоенных зон, являются очевидными причинами целесообразности широкого использования систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), различных информационных продуктов на основе спутниковой информации. Совместное использование, интеграция получаемых данных ДЗЗ с реальными процессами обеспечения жизнедеятельности органов государственной власти и населения приобретает значение стратегического фактора для дальнейшего ускорения социально-экономического развития региона.

Можно считать, что общая схема организации процессов обработки данных ДЗЗ уже достаточно устоялась; основные блоки включают прием и архивацию, первичную и тематическую обработку [1], [2]. Если на первых этапах развития систем мониторинга при построении конкретной системы в ней приходилось реализовывать все этапы обработки данных ДЗЗ и полностью создавать для этого специальную инфраструктуру, то в настоящее время более эффективным и целесообразным с разных точек зрения считается использование специализированных центров хранения, обработки и анализа данных [3], [4]. В исследованиях и разработках, проводимых в настоящее время, рассматриваются различные аспекты реализации соответствующего программного обеспечения [5], [6], [7].

Схема аппаратно-программного обеспечения обработки данных ДЗЗ в случае наличия собственной станции приема спутниковых данных состоит как правило из 3 логических групп серверов – приемных, предварительной обработки и тематической обработки, а также – автоматизированных рабочих мест для интерактивной тематической обработки (Рис. 1). Системы хранения данных ДЗЗ, характеризующихся большими суточными и сеансовыми объемами, может быть интегрировано в сервера этих логических групп или располагаться отдельно, может быть, как часть большей инфраструктуры. Разделение серверов и процессов на эти три группы логически вытекает из особенностей каждой группы процессов приема и обработки.

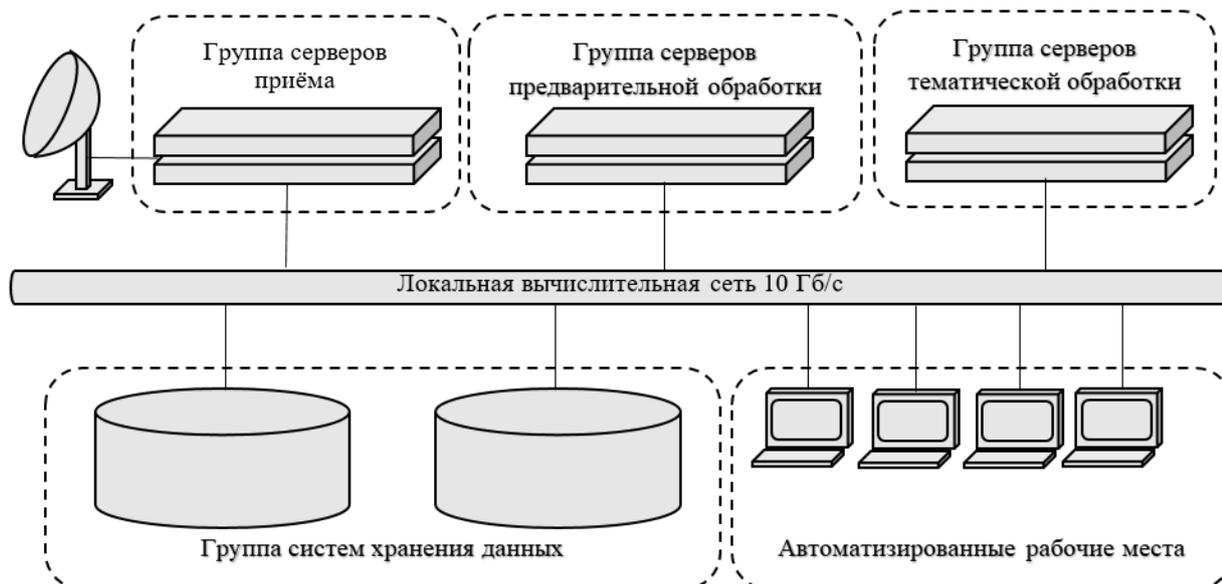


Рис. 1 – Схема аппаратно-программного обеспечения приемного спутникового комплекса ФИЦ КНЦ СО РАН

Группа серверов приема данных выделена по причине работы в режиме реального времени в моменты приема данных по радиоканалу и поэтому не нагружается никакими дополнительными нагрузками по обработке. Задача серверов этой группы: принять и записать без потерь на дисковую память весь поток данных со всех сеансов.

Группа серверов предварительной обработки включает процессы географической привязки и радиометрической калибровки принятых данных. Она логически обособлена, т.к. процессы предварительной обработки обязательны для всех космических систем ДЗЗ и выполняются в первую очередь, а также в связи с тем, что они реализуются на программном обеспечении, специфичном для каждой системы ДЗЗ, которое предоставляется разработчиками этой системы.

Третья группа серверов тематической обработки, собственно, и производит целевую обработку данных с получением конечной полезной информации для потребителей. В эту группу попадает, в том числе, тематическое программное обеспечение собственной разработки ФИЦ КНЦ СО РАН. Процессы обработки здесь более однородны и согласованы, а также наиболее часто меняются в следствие разработки новых версий или приложений. В состав этой группы включен в том числе веб-интерфейс, построенный на основе геопортальных технологий, как главная точка доступа потребителей к информации ДЗЗ [8], [9], [10].

В состав спутникового приемного комплекса входит следующее оборудование:

16. Станция приема УниСкан-36 производства компании СКАНЭКС, включает в себя параболическую антенну диаметром 3,1 м, трехосевое опорно-поворотное устройство, два канала приема и регистрации данных на основе персональных компьютеров в стойечном исполнении и стационарный приемник сигналов GPS. Антенна установлена на крыше здания, на специально построенной из металлоконструкций площадке, там же на ограждении закреплен приемник GPS. В помещении, находящемся на верхнем этаже, непосредственно под антенной расположена стойка с приемным оборудованием, так как максимальная длина высокочастотного кабеля от антенны составляет 50 м.

17. Сервера обработки данных (2 шт.) компании HP, один из которых отвечает за оперативную первичную обработку данных (Уровень 1), второй предназначен для углубленной тематической обработки, решения прикладных задач.

18. Кластерные системы хранения данных (2 шт.) на основе дисковых массивов Network Appliance FAS2554 (в каждой – по 20 HDD на 4 Тбайт каждый + 4 твердотельных диска SDD для кэширования данных; доступная емкость отказоустойчивого хранилища составляет 36 Тбайт).

19. Высокопроизводительные рабочие станции (4 шт.).

20. Локальная вычислительная сеть стандарта 10G с передачей данных на скорости до 10 Гбит/с по медной витой паре, построенная на основе 16-портового коммутатора Extreme X620-16T [11], который обеспечивает полную совместимость с менее быстрыми стандартами. Кабельные линии в стандарте 10G ограничены длиной 50 м и требуют кабель и разъемы «витой пары» 6-й категории или выше. Практически, на линии длиной 48 м наблюдалась скорость обмена по протоколу CIFS2 между рабочей станцией и сервером при копировании файла объемом 10 Гб в начале – 1100 Мб/с, и в конце – 190 Мб/с, что соответствует реальной скорости записи на дисковый массив. Уже на линии длиной в 53 м адаптеры автоматически переходили на стандарт 1G. Таким образом, современная, компактная по размерам локальная вычислительная сеть многократно превосходит по своей пропускной способности любой дисковый массив, даже на базе твердотельных устройств, и более не является «узким горлом» системы.

Как уже было отмечено выше, используемое и разрабатываемое программное обеспечение спутникового приемного комплекса ФИЦ КНЦ СО РАН состоит из трех частей: 1) приема, 2) предварительной и 3) тематической обработки. Рассмотрим его структуру и характеристики:

21. Используемое программное обеспечение приема данных разработано компанией СКАНЭКС – поставщиком спутниковой приемной станции. Оно обеспечивает полную автоматизацию всех процессов: скачивание орбитальных элементов, прием сигналов точного времени от GPS, составление расписания на основе заданных приоритетов приема данных с различных космических аппаратов, управление несколькими приемными серверами, и проч. При

необходимости оператору предоставляется вся текущая информация о процессе работы станции в реальном времени, в том числе, и картосхема пролёта КА, и реальный видеопоток с него (если возможно декодирование его на лету).

22. Программное обеспечение предварительной обработки включает в себя пакеты для данных разных спутниковых систем: TERRA/AQUA – для радиометра MODIS, Suomi NPP/NOAA-20 — для радиометров VIIRS, CrIS, ATMS, Fengyun-3A/B/C – для радиометра MERSI. Все пакеты работают в среде Linux/CentOS на одном сервере. Скрипты обработки запускаются через задаваемый интервал времени (15 минут).

23. Тематическая обработка данных выполняется в соответствии с решаемыми задачами, параллельно на двух серверах. В частности, для каждого принятого спутникового снимка TERRA/AQUA, Suomi NPP/NOAA-20 генерируется набор мультимасштабных многоканальных обзорных изображений/«квик-луков» («популярные») комбинации спектральных каналов, температура поверхности, NDVI) для практически мгновенного отображения информации на веб-странице. Картографический веб-интерфейс предоставляет пользователю большой набор возможностей по визуализации данных ДЗЗ.

Спектр задач, решаемых на основе получаемых данных дистанционного зондирования Земли, постоянно расширяется. Исследования в области создания систем оперативного спутникового мониторинга, выполняемые в ФИЦ КИЦ СО РАН, предполагают создание новых и, на первом этапе, использование существующих публично доступных программ обработки ДЗЗ [12], в том числе алгоритмов для радиометров MODIS и VIIRS: поиска активных пожаров, оценки содержания аэрозолей, оценки площади гарей, маскирования облачности, определения оптических свойств облачности (температура, высота, фракция и агрегатное состояние верхней границы), атмосферной коррекции ИК каналов, восстановления вертикальных профилей атмосферы, вычисления NDVI и EVI.

Наблюдаемый в настоящее время значительный рост объема спутниковых данных приводит к необходимости развития методов и технологий построения систем приема, хранения и обработки спутниковой информации. Анализ существующих решений и собственный опыт исследований и разработок показывает, что одним из наиболее перспективных подходов в создании систем указанного типа является реализация комплекса взаимосвязанных автономных функционально-ограниченных компонент, взаимодействующих между собой в сервис-ориентированной архитектуре, с интерфейсом пользователя, построенном на основе технологий геоинформационных веб-систем.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Xu, W. Land observing satellite data center: Big data challenges and a potential solution / W.Xu, J. Shao, W. Yu, P. Feng // *Geomatics and Information Science of Wuhan University*. – 2017. – V. 42. – № 1. – P. 7-13.
- Casu, F. Big Remotely Sensed Data: tools, applications and experiences / F. Casu, M. Manunta, P. S. Agram, R. E. Crippen // *Remote Sensing of Environment*. – 2017. – V. 202. – P. 1-2.
- Kashnitskii A. V. Technology for designing tools for the process and analysis of data from very large scale distributed satellite archives / A. V. Kashnitskii, E. A. Lupyay, I. V. Balashov, A. M. Konstantinova // *Atmospheric and Oceanic Optics*. – 2017. – V. 30. – № 1. – P. 84-88.
- Craglia M. Towards the vision for the next decade / M. Craglia de Bie, K. Jackson, D. Pesaresi, M., et al. *Digital Earth 2020: // Int. Journal of Digital Earth* – 2012. – V. 5. – № 1. – P. 4-21.
- Lewis A. The Australian Geoscience Data Cube – Foundations and lessons learned / A. Lewis S. Oliver, L. Lymburner, B. Evans, Lan-Wei Wang. // *Remote Sensing of Environment* – 2017. – V. 202. – P. 276-292.
- Ahamed A. A MODIS-based automated flood monitoring system for SouthEast Asia / A. Ahamed, J. D. Bolten. // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2017. – V. 61. – P. 104-117.
- Liu Y. Software to facilitate remote sensing data access for disease early warning systems, J. Hu, I. Snell-Feikema, S. Michael, VanBemmel, C. Michael, Wimberly. // *Environmental Modelling & Software*. – 2015. – V. 74. – P. 247-257.
- Yakubailik O.E. Applied software tools and services for rapid web GIS development / O E. Yakubailik, A. A. Kadochnikov, A. V. Tokarev // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2015 Conference Proceedings. Book 2*. – 2015. – V. 1. – P. 487-494.
- Yakubailik O.E. The formation of regional spatial data infrastructure // *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. – 2016. – V. 9. – № 7. – P. 979-986.
- Yakubailik O.E. Geospatial services & Web GIS software for environmental monitoring problems / O E. Yakubailik // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2016 Conference Proceedings*. – 2016. – V. 1. – P. 657-664.
- Extreme Networks // <https://www.extremenetworks.com/product/x620/>
- Coronado P. NASA Direct Readout for Its Polar Orbiting Satellites. In *Earth Science Satellite Remote Sensing* / P. Coronado, K. Brentzel // Vol. 2: Data, Computational Processing, and Tools, edited by J. Qu, W. Gao, M. Kafatos, R. Murphy, and V. Salomonson. – 2006. – Beijing: Tsinghua University Press.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.015>

ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Научная статья

Якубайлик О.Э.^{1,*}, Кадочников А.А.², Токарев А.В.³

¹ ORCID: 0000-0002-2668-4776;

² ORCID: 0000-0003-0965-3609;

³ ORCID: 0000-0002-9997-9065;

^{1,2,3} Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Красноярск, Россия

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

Аннотация

Рассматриваются методы и технологии, программное обеспечение для визуализации многоканальных спутниковых снимков, размещенных в каталоге данных дистанционного зондирования Земли. Сервисы оперативной предобработки данных, принимаемых спутниковым приемным комплексом, формируют набор обзорных изображений небольшого размера («квик-луков») и многоканальных мультимасштабных растров, адаптированных для быстрого отображения в геоинформационной веб-системе. Пользовательский веб-интерфейс обеспечивает отображение наиболее распространенных, используемых на практике комбинаций спектральных каналов – композитных цветных изображений.

Ключевые слова: спутниковые данные, ДЗЗ, веб-сервисы, веб-ГИС, геоинформационная веб-система, каталог спутниковых снимков.

SOFTWARE AND TECHNOLOGICAL SUPPORT FOR VISUALIZATION OF SATELLITE DATA

Research article

Yakubailik O.E.^{1,*}, Kadochnikov A.A.², Tokarev A.V.³

¹ ORCID: 0000-0002-2668-4776;

² ORCID: 0000-0003-0965-3609;

³ ORCID: 0000-0002-9997-9065;

^{1,2,3} Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia

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

Abstract

Methods, technologies and software for visualization of multichannel satellite images placed in the Earth remote sensing data catalog are considered in the article. Services of online data pre-processing received by the satellite receiving complex form a set of small size survey images (“quick-looks”) and multichannel multi-scale rasters adapted for fast display in the geo-information web-system. User web-interface provides the display of the most common combinations used in practice of spectral channels – composite color images.

Keywords: satellite data, remote sensing data, web services, web GIS, web-based geo-information system, satellite imagery catalog.

Развитие систем дистанционного зондирования Земли в настоящее время обусловлено сочетанием таких факторов, как увеличение количества космических аппаратов и улучшение их эксплуатационных характеристик, увеличение доступности спутниковой информации, связанной с развитием Интернета: увеличение скорости и снижение стоимости доступа, развитие веб-сервисов и стандартов передачи геопространственных данных [1]. Новые технологии автоматизации приема и обработки данных ДЗЗ, создание сверхбольших архивов в специализированных дата-центрах позволили организовать принципиально новые способы обработки спутниковых данных, создать системы мониторинга природной среды в режиме реального времени нового поколения. В их основе лежат геоинформационные веб-технологии, интерактивные картографические онлайн-системы с прямым доступом к спутниковой информации, обеспеченные возможностью настройки различных параметров для визуализации геопространственных данных и формирования сложных аналитических запросов.

Современные веб-ГИС построены в так называемой сервис-ориентированной архитектуре, и их можно рассматривать как набор взаимосвязанных программных средств для обработки пространственных данных, таких как импорт/экспорт, каталогизация, визуализация, создание, обработка, распространение, и т.д. [2], [3]. Технологической основой для систем рассматриваемого класса являются, как правило, библиотеки программных интерфейсов, такие как Google Карты API, и Mapserver Mapscript, СКАНЭКС Геомиксер, и т.д. [4], [5]. Они обеспечивают доступ к функциям и контексту отображения картографических элементов веб-страницы – инструментам визуализации карты и пространственным метаданным, например, к данным по дорожной сети с информацией о пробках, параметрам рельефа местности, характеристикам объектов на карте, и проч. [6], [7]. В соответствии с этим подходом также разрабатывается программно-технологическое обеспечение системы спутникового мониторинга, поскольку она также представляет собой веб-ГИС.

В качестве технологической основы созданного авторами каталога спутниковых данных использовался комплекс инструментального программного обеспечения специализированной веб-ГИС. Разработанный как совокупность отдельных модулей, этот комплекс может развиваться и модернизироваться не только на этапе создания, но и в процессе своей эксплуатации [8].

Проектирование и реализация программ комплекса осуществляются на основе свободного и открытого

программного обеспечения как в части геоинформационной составляющей, так и во всех остальных компонентах разработки. Рассматриваемое веб-приложение предоставляет пользователю средства для заполнения и редактирования системных данных и метаданных, поиска и классификации картографических ресурсов, веб-сервисы прямого доступа к данным на основе стандартных протоколов WMS / WFS, возможности аналитической обработки [9].

Функционал серверных компонент системы создан с использованием паттерна проектирования MVC (модель-представление-контроллер) и технологий "Веб 2.0" [10]. Использование этой архитектуры включает разделение данных приложения, пользовательского интерфейса и логики управления на три упомянутых отдельных компонента; предполагается что эти компоненты не зависят друг от друга, их можно по отдельности модифицировать. Данная возможность представляется очень важной, с учетом необходимости обеспечения возможности модернизации системы, уточнения технических требований к разработке.

В ходе проектирования и реализации обсуждаемой системы был создан ряд оригинальных программных компонент и библиотек, которые предполагается использовать в других проектах [11]. Это элементы пользовательского интерфейса, сервисы для работы с геопространственными базами данных, веб-интерфейсы и сервисы прикладного картографирования, и др.

Основная функциональность геоинформационной веб-системы обслуживается программными средствами Minnesota Mapserver и Autodesk MapGuide Open Source, гео-СУБД PostgreSQL/PostGIS, системой управления веб-контентом системы на основе Drupal CMS, набором библиотек разработки пользовательских интерфейсов и других компонент системы на JavaScript, авторскими программами на языках программирования PHP и jQuery, Fusion, TinyMCE и, ExtJS, MapScript, и проч.

Приоритетной задачей исследований и разработок текущего этапа было создание программных средств для работы с каталогом данных ДЗЗ. Разработанные программные инструменты обеспечивают решение первоочередных задач оперативной обработки данных ДЗЗ, поступающих с нового спутникового приемного комплекса УниСкан в ФИЦ КНЦ СО РАН, который был введен в эксплуатацию весной 2017 г.

Базовое программное обеспечение приемного спутникового комплекса ФИЦ КНЦ СО РАН формирует набор стандартных продуктов 1-го уровня – поканальные изображения (яркости спектральных каналов). Дальнейшие задачи, связанные с извлечением полезной информации, тематической обработкой данных, решаются отдельно, средствами специального программного обеспечения.

Система веб-визуализации спутниковой информации основана на наборах специально формируемых коллекций мультимасштабных снимков – с возможностью выбора в веб-интерфейсе комбинаций отображаемых каналов на мелких масштабах и в то же время – наличием детальных данных на максимально доступном пространственном разрешении. Ограничение в выборе комбинаций каналов на детальном уровне связано с экономией дискового пространства. Таким образом реализуется компромисс между системой класса «работаем с грубыми квик-луками» и системой уровня «все что угодно, с максимальной детализацией». Созданный веб-интерфейс обеспечивает просмотр архива спутниковых снимков. В нем реализована возможность выбора сенсора космического аппарата, выбора предопределенного набора каналов и продуктов у каждого снимка для простого анализа данных. Возможности созданного программного модуля позволяют комбинировать любые сочетания каналов, доступных в изображении без дополнительной настройки серверного программного обеспечения.

При формировании цветных изображений используется технология LUT (Look Up Table), в соответствии с которой вносятся «поправки» в каждый из трех каналов формируемого RGB-изображения. Разработанные алгоритмы обеспечивают корректировку исходных изображений, настройку их контрастности и цветовой палитры, 8/16-битные преобразования. Пример веб-интерфейса представлен на Рис. 1.

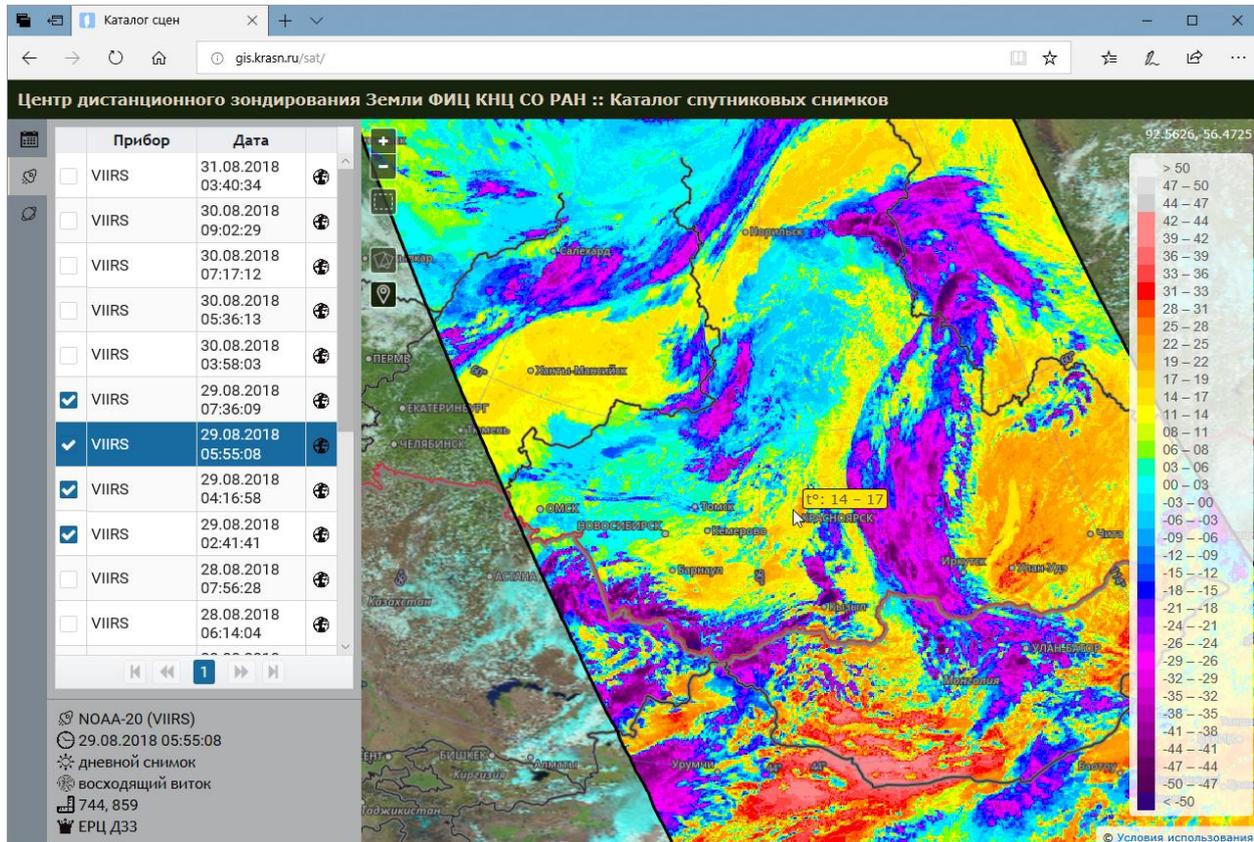


Рис. 1 – Интерфейс каталога спутниковых снимков ФИЦ КНЦ СО РАН.

Основные задачи разработки на данном этапе связаны с реализацией методов и алгоритмов обработки спутниковых данных. Технологические особенности работы с растровыми данными предопределяются необходимостью быстрого отображения файлов больших объемов. Эксперименты с различными форматами и их параметрами показали, что оптимальным выбором с точки зрения минимизации времени отображения в веб-браузере является формат TIFF с геопривязкой (GeoTIFF), с использованием структуры TILES (изображение состоит из отдельных фрагментов – тайлов), обзорных мультимасштабных изображений-слоев OVERVIEW. Все упомянутые этапы преобразования данных выполняются утилитами библиотеки GDAL.

Разработанные программные инструменты обеспечивают решение первоочередных задач оперативной обработки поступающих данных ДЗЗ, их каталогизации, интерактивной визуализации с помощью веб-приложения. Рассматривались следующие данные: MODIS TERRA/AQUA, Suomi NPP/NOAA-20.

Для быстрого и удобного поиска в каталоге спутниковых данных, для минимизации нагрузки на серверное программно-аппаратное обеспечение подготовлен набор серверных приложений для предварительной обработки спутниковых данных, включающих следующие этапы обработки:

1. Конвертация первичных данных (растр) в формат GeoTIFF с преобразованием исходной проекции в азимутальную равновеликую проекцию Ламберта (Lambert Azimuthal Equal Area) (код EPSG:3576), являющуюся обязательной для работы сервисов Open Geospatial Consortium.

2. Создание для всех сцен каталога цветных изображений в грубом разрешении («квик-луков») в растровом формате PNG, с прозрачностью. Такие изображения используются для быстрого обзорного отображения спутниковых данных, зарегистрированных в каталоге, с одновременной визуализацией набора таких «квик-луков» в окне веб-браузера, с масштабированием на стороне клиента, без перезагрузки/докачки данных через Интернет.

3. Создание мультимасштабного набора многоканальных изображений формата GeoTIFF. Каждое такое изображение, созданное в определенном пространственном разрешении, содержит несколько «значимых» каналов, из которых в веб-приложении «на лету» генерируются некоторый набор цветных композитных изображений. Например, для сенсора TERRA/MODIS мультисканальное изображение содержит 1, 2, 3, 4, 7, 31 каналы, на основе которых динамически формируются набор обычно используемых на практике композитных R-G-B изображений: 1-4-3 («естественные цвета»), 7-2-1 («пожары»), 3-6-7 («снег и лед»), а также одноканальные изображения с палитрами – 31 («температура»), 2-1/2+1 (NDVI).

Создание эффективного программно-технологического инструментария для задач регионального спутникового мониторинга на основе технологий геоинформационных веб-систем имеет значительные перспективы. Развиваемый подход может стать основой в решении актуальных практических задач, связанных с развитием экономики региона, повышением конкурентоспособности и обеспечения безопасной жизнедеятельности.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Kashnitskii A.V. Technology for designing tools for the process and analysis of data from very large scale distributed satellite archives / A. V. Kashnitskii, E. A. Lupyran, I. V. Balashov, A. M. Konstantinova // *Atmospheric and Oceanic Optics*. – 2017. – V. 30. – № 1. – P. 84-88.
2. Pinde F. *Web GIS: principles and applications* / F Pinde, S Jiulin – Esri Press, 2011. – 300 p.
3. Songnian L. *Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications* / L. Songnian, S. Dragicevic, B. Veenendaal – CRC Press, 2011. – 400 p.
4. Lobell D. B. A scalable satellite-based crop yield mapper / D. B. Lobell, D. Thau, Ch. Seifert, E. Engle, B. Little // *Remote Sensing of Environment*. – 2015. – V. 164. – P. 324-333.
5. Bastin L. Open-source mapping and services for Web-based land-cover validation / L. Bastin, G. Buchanan, A. Beresford, J. F. Pekel, G. Dubois // *Ecological Informatics*. – 2013. – V. 14. – P. 9-16.
6. J. T. Sample. *Geospatial Services and Applications for the Internet* / J. T. Sample, K. Shaw, S. Tu, et al. – Springer-Verlag US – 2008. – 179 p.
7. Mari R. A GIS-based interactive web decision support system for planning wind farms in Tuscany (Italy) / R. Mari, L. Bottai, C. Busillo, F. Calastrini et al. // *Renewable Energy*. – 2011. – V. 36. – P. 754-763.
8. Yakubailik O.E. Web geographic information system and the hardware and software ensuring rapid assessment of air pollution / O. E. Yakubailik, A. A. Kadochnikov, A. V. Tokarev // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. – 2018. – V. 54. – P. 243-249.
9. Yakubailik O.E. Applied software tools and services for rapid web GIS development / O. E. Yakubailik, A. A. Kadochnikov, A. V. Tokarev // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2015 Conference Proceedings. Book 2*. – 2015. – V. 1. – P. 487-494.
10. Rinner C. The use of Web 2.0 concepts to support deliberation in spatial decision-making / C. Rinner, C. Keßler, S. Andrulis // *Computers, Environment and Urban Systems*. – 2008. – V. 32. – P. 386-395.
11. Shaparev N. Usage of web mapping systems and services for information support of regional management / N. Shaparev, O. Yakubailik // *MATEC Web of Conferences*. – 2016. – V. 79. – № 01081.

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЯ И ЖЕЛЕЗА В ПОЧВАХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ХИБИН И ЛОВОЗЁРСКИХ ТУНДР

Научная статья

Семенов В.А.^{1*}, Козаренко А.Е.²

¹ Российский государственный университет правосудия, Москва, Россия;

² Московский городской педагогический университет, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (kosarevanatalia[at]ramble.ru)

Аннотация

В статье анализируются данные химического состава почв и поверхностных вод Хибинских и Ловозёрских тундр. Специальное внимание уделено характеру распространения и поведения водорастворимых соединений алюминия и железа. Почвы Луяврурта выделяются на фоне Хибин более высокими концентрациями водорастворимых форм Al и Fe, хотя их абсолютное содержание невелико. Концентрация данных форм Al и Fe растет от почв горно-тундровых ландшафтов к горно-таёжным. Внутренние воды обоих горных массивов бедны водорастворимыми соединениями алюминия и железа, при этом в озёрах концентрации данных металлов больше, чем в речных системах изучаемого региона.

Ключевые слова: водорастворимые формы Al и Fe; профильная дифференциация; низкая минерализация природных вод; химико-минералогический состав.

WATER-SOLUBLE ALUMINUM AND IRON COMPOUNDS IN SOIL AND SURFACE WATER OF Khibiny MOUNTAINS AND LOVOZERO MASSIF TUNDRA

Research article

Semenov V.A.^{1*}, Kozarenko A.E.²

¹ Russian State University of Justice, Moscow, Russia;

² Moscow State Pedagogical University, Moscow, Russia

* Corresponding author (kosarevanatalia[at]ramble.ru)

Abstract

The article analyzes data on the chemical composition of soil and surface waters of the Khibiny mountains and Lovozero massif tundras. Special attention is paid to the nature of the distribution and behavior of water-soluble compounds of aluminum and iron. The soils of Luyavrurt are distinguished from the Khibiny and have higher concentrations of water-soluble forms of Al and Fe, although their absolute content is small. The concentration of these forms of Al and Fe grows from the soils of the mountain-tundra landscapes to the mountain-taiga ones. The internal waters of both mountain ranges are poor in water-soluble compounds of aluminum and iron, while the concentration of these metals in lakes is higher than in the river systems of the region under study.

Keywords: water soluble forms of Al and Fe; profile differentiation; low mineralization of natural waters; chemical and mineralogical composition.

Al – один из самых распространённых в биосфере элементов и занимает 3-е место после O₂ и Si. С формами Al связан показатель pH почв, в особенности гумидных областей [1, С. 1097]. Уже в концентрациях всего 2 γ/л почвенного раствора Al оказывает токсическое воздействие на корни растений [6, С. 111]. Fe – также один из самых часто встречающихся в ландшафте металлов, он занимает следующее место по концентрации в земной коре после Al. Железо играет важную индикаторную роль, особенно в геохимии северотаёжных и болотных ландшафтов Приполярья и Заполярья. Для Хибин и Луяврурта (Ловозёрских тундр), являющихся щелочными нефелиново-сиенитовыми провинциями, Fe и Al являются типоморфными элементами, имеющими серьёзное конституционное значение в северных биогеоценозах.

Al, как и Fe, представлен в почвенном покрове миграционными формами с резко различной растворимостью. Водная вытяжка экстрагирует из почвенного покрова наиболее подвижные и растворимые, наименее связанные соединения химических элементов. Это Al и Fe из внешнего, диффузного слоя компенсирующих ионов коллоидной мицеллы. Водные растворы наиболее естественны в природе, поэтому данные о водных формах Al и Fe во многом свидетельствуют о реальных процессах перемещения вещества в ландшафте. Это единственные из форм, которые со 100%-ной уверенностью можно назвать формами миграции, а не аккумуляции [10, С. 77]. Учитывая, что показатель pH основной массы образцов почв исследуемой территории относит их к слабокислым [4, С. 64], можно отметить ускорение миграции соединений Al и Fe по почвенному профилю с током лизиметрических вод сверху вниз, при выпадении осадков в виде дождя или промачивании почвенной массы при снеготаянии.

Сбор почвенных и растительных образцов проводился в долинах рек Часнайок, Кунийок, Рийок (Хибин) и в долине р. Эльморайок (Луяврурт) в основных вертикально-зональных ландшафтах: долинная тайга, горная лесотундра, нагорная тундра. Большая часть лабораторно-экспериментальных исследований производилась авторами в УНЦ геохимии ландшафта географического факультета МПГУ; определение валового содержания Al и Fe

выполнялось в ЦЛАВ ГЕОХИ РАН им. В.И. Вернадского по методике рентген-флюоресцентного анализа на приборе Philips PW-1600 [9, с. 1612]. Также было определено содержание водорастворимых соединений Al и Fe. Определение Al проводилось на спектрофотокориметре ФЭК-3 при длине волны 547 нм, алюминоновым методом. Определение Fe проводилось также колориметрически на ФЭК-3, но при длине волны 430 нм, по стандартной методике определения Fe с сульфосалициловой кислотой [2, С. 228]. Показатель рН в природных водах и почвах определялся потенциометрически, содержание общего Са в воде – титриметрически (с Трилоном Б), концентрации Mg в воде – потенциометрически (с Пурпуратом аммония) [2, С. 234].

Распределение водорастворимых Al и Fe для различных разновидностей почв приведено в таблице 1. Содержание этих модификаций соединений Al и Fe – низкое, колеблется в пределах $0,01-1,17 \cdot 10^{-4}$ % (для Al) и $0,10-5,06 \cdot 10^{-4}$ % (для Fe) [5, С. 42]. Если оценивать обобщённо, то дифференциация рассматриваемых форм Al и Fe в почвенном покрове подчиняется правилу убывания вниз по профилю, с незначительными нюансами. Максимальная концентрация как водорастворимого Al, так и Fe, отмечена в горно-таёжных подбурх, занимающих подчинённое положение в ландшафте, в межгорных долинах. При этом однотипные почвы Ловозёрских тундр – богаче в этом отношении, чем почвы Хибин [5, С. 44]. Содержание Al в них – до $1,17 \cdot 10^{-4}$ %, а Fe – существенно больше, до $5,06 \cdot 10^{-4}$ %. Разница между содержанием водорастворимого Al в одинаковых разновидностях почв Хибин и Луяврурта невелика, хотя для органогенных горизонтов она может достигать 1,5 раз (для Fe – до 2 с лишним раз). Максимальные концентрации водорастворимых Al и Fe характерны для верхних органогенных частей почвенной массы всех рассмотренных типов почв, убывая, как выше сказано, вниз по профилю. Такой характер дифференциации водорастворимых соединений Al и Fe связан с поступлением влаги из тропосферы и нисходящими перемещениями веществ под действием гравитационных сил, способствующими выносу элементов за пределы почвенной толщ. Торфянистые гумусово-железистые подзолы также характеризуются довольно высоким содержанием водорастворимых окислов и гидроокислов Al и Fe. Содержание Al в подзолистых почвах Ловозёрских тундр – до $1 \cdot 10^{-4}$ %, а Fe – до $3,61 \cdot 10^{-4}$ % (в Хибинах эти показатели ниже) [10, С. 79].

Таблица 1 – Концентрации водорастворимых соединений Al и Fe в почвах, % от валовых, соотношение Al:Fe (80 проб)

Массив	Вертикально-зональный ландшафт	Почва	Горизонт, глубина взятия, см	Содержание водорастворимых форм, $1 \cdot 10^{-4}$ %		$1 \cdot 10^{-4}$ % от валового		Соотношение Al:Fe
				на воздушно-сухое вещество				
				Al	Fe	Al	Fe	
Луяврурт		Торфянистый гумусово-железистый подзол	A ₀ 0-7	1,00	3,61			0,28
			A _T 8-12	0,69	1,97			0,35
			A ₂ 14-18	0,14	0,41	–	–	0,34
			B 28-35	0,02	0,15			0,13
			C 47-53	0,01	0,10			0,10
Хибинь	Горно-таёжный		A ₀ 0-4	–	–	–	–	–
			A _T 4-11	0,59	1,16	17,95	19,51	0,51
			A ₂ 11-14	0,04	0,17	0,54	0,63	0,24
			B/C 23-28	0,03	0,16	0,28	0,66	0,19
Луяврурт		Подбур горно-таёжный	A ₀ 0-4	1,17	5,06	55,37	369,34	0,23
			A _T 4-12	0,59	2,13	49,33	232,28	0,28
			A 12-16	0,54	0,69	9,19	14,84	0,78
			B/C 33-38	0,02	0,34	0,21	5,35	0,06
Хибинь			A ₀ 0-4	0,76	3,77			0,20
			A _T 4-10	0,50	1,67			0,30
			B/C 22-27	0,05	0,22	–	–	0,23
			C 31-45	0,02	0,17			0,12
Луяврурт	Субальпийские березняки	Мощная кислая бурая почва	A ₀ 0-3	0,94	4,42	157,45	792,11	0,21
			A _T 3-7	0,19	0,52	3,25	9,16	0,37
			A ₁ 12-18	0,03	0,23	0,50	2,95	0,13
			B 65-70	следы	0,18	следы	2,51	0,00
			C 88-98	0,15	0,14	1,91	1,79	1,07
Хибинь	Ерниковая лесотундра	Торфянистая лесотундровая почва	A ₀ 0-3	0,47	3,33	122,07	1144,3	0,14
			A _T /B 10-15	0,07	0,29	1,22	3	0,24
			B/C 32-38	0,03	0,13	0,27	7,31	0,23
							3,06	

Окончание табл. 1 – Концентрации водорастворимых соединений Al и Fe в почвах, % от валовых, соотношение Al:Fe (80 проб)

Массив	Вертикально-зональный ландшафт	Почва	Горизонт, глубина взятия, см	Содержание водорастворимых форм, $1 \cdot 10^{-4}$ %		$1 \cdot 10^{-4}$ % от валового		Соотношение Al:Fe
				на воздушно-сухое вещество				
				Al	Fe	Al	Fe	
Луяврурт			A ₀ 0-3	0,54	1,63			0,33
			A _T 5-10	0,72	1,26			0,57
			B/C 20-28	0,05	0,24	–	–	0,21
			C 36-42	0,02	0,15			0,13
Хибины	Горная тундра	Торфянистая горно-тундровая	A ₀ 3	0,57	2,60	–	–	0,22
			A _T 3-9	0,12	0,56	0,16	15,63	0,21
			B/C 17-23	0,03	0,20	0,37	3,52	0,15
			A ₀ 0-3	0,92	1,92			0,48
			A _T 6	0,16	0,45			0,36
			B/C 8-12	0,02	0,14	–	–	0,14
			C 18-30	0,04	следы			–

Примечание: «–» означает отсутствие данных; «следы» означает, что результат ниже чувствительности определения.

В мощной кислой бурой почве в Луяврурте, вскрытой в субальпийском березняке в долине р. Эльморайок, обращает на себя внимание увеличение концентрации Al в горизонте С, которое даже превышает содержание водорастворимого Fe. Это может быть связано с тем, что почва находится на пойме, где почвообразующая порода представлена, главным образом, речными наносами, иловатой фракцией и аллювием, насыщенным органикой [3, с. 201]. Распределение водорастворимых соединений Al и Fe в торфянистых лесотундровых почвах сходно с таковым для Al и Fe в горно-таёжных подбурях. Содержание подвижного Al здесь невелико, но наибольшее – в горизонте A_T ($0,72 \cdot 10^{-4}$ %). Водорастворимые формы Fe обнаруживают максимум в приповерхностном горизонте A₀ – от $1,63 \cdot 10^{-4}$ % до $3,33 \cdot 10^{-4}$ %. В торфянистых горно-тундровых почвах, слагающих возвышенные, доминирующие в ландшафте, части Хибин и Луяврурта, концентрации водорастворимых форм Al и Fe снижаются вниз по почвенному профилю [8, с. 534]. В качестве причин, объясняющих довольно низкие концентрации водорастворимых форм в данном случае можно назвать следующие:

1. низкие, иногда даже ниже чувствительности определения, содержания Al и Fe в водной вытяжке обусловлены их способностью образовывать устойчивые связи с почвенной органикой; водная экстракция, как достаточно слабый реагент, эти связи не разрушает;

2. концентрации водорастворимых Al и Fe выше в слабо-кислых почвах, чем в нейтральных и щелочных. Высокие значения pH характеризуются минимальным содержанием изучаемых миграционных форм Al и Fe [6, с. 113].

Наглядным подтверждением незначительной роли водорастворимых соединений Al и Fe в почвенной массе рассматриваемых массивов служит их процентное содержание от валового. Доля водорастворимых соединений Al в общем содержании элемента в почвенной массе невелика и составляет от 0,16 до $157,45 \cdot 10^{-4}$ %. Водорастворимых форм Fe в исследуемых почвенных образцах зачастую значительно больше, чем Al, его доля в валовых концентрациях составляет $0,63\text{--}1144,33 \cdot 10^{-4}$ %. Наибольший % рассматриваемых форм Al и Fe от валового – в верхней части почвенной массы, связанной с органикой, причём во всех разновидностях почв изучаемых районов, наименьший же % от валового характерен для нижних минеральных горизонтов. Следовательно, водорастворимые соединения Al и Fe наиболее миграционно-активны в органогенных горизонтах.

В соотношении Al:Fe в изученных почвенных разновидностях, помимо того что водорастворимых соединений Fe почти повсюду больше, можно отметить, что максимальные различия, как правило, наблюдаются в нижних горизонтах почвенного профиля. Особенно это выражено в почвенном покрове таёжных ландшафтов, где в нижних минеральных горизонтах количество водорастворимых окислов и гидроокислов Fe в 5-17 раз выше, чем Al. Во вскрытой почве субальпийского ландшафта Луяврурта наибольшие перепады значений отмечены в горизонте A₁. Однако в этой же почвенной разновидности выявлено небольшое преобладание водорастворимых соединений Al над Fe в нижнем горизонте С. В торфянистых лесотундровых почвах концентрация водорастворимых форм Fe и Al наиболее различается в A₀ и С (Fe больше, чем Al в 7 с лишним раз). В торфянистых почвах горно-тундровых ландшафтов наиболее велика разница в переходном В/С; причём здесь же, но в горизонте С, отмечено преобладание Al над Fe [10, с. 81].

Также в УНЦ геохимии ландшафта была предпринята попытка обработки растёртых в пудру основных минералов и горных пород Хибин и Луяврурта (нефелин, хибинит, луйаврит, уртит) дистиллированной водой, с целью выснить % перехода ионов Al и Fe в водный раствор. Выяснилось, что в водную экстракцию переходит ничтожное количество рассматриваемых металлов. Так, например, из уррита (валовая концентрация Al – $5165 \cdot 10^{-3}$ %) в водный раствор перешло всего $0,017 \cdot 10^{-3}$ % алюминия. Железа перешло в водную экстракцию уррита несколько больше: при валовой концентрации Fe – $13231 \cdot 10^{-3}$ % в водный раствор перешло $0,125 \cdot 10^{-3}$ %. Из этого можно сделать осторожный вывод о большей подвижности соединений Fe, нежели Al, в водной среде.

Пробы воды отбирались в крупных озёрах и реках центральных и периферийных районов исследуемых массивов. В лаборатории УНЦ геохимии ландшафта определялись некоторые физико-химические особенности поверхностных вод Хибин и Луявурта: рН, общий Al и Fe, Ca, Mg.

Таблица 2 – Некоторые физико-химические особенности поверхностных вод Хибин и Луявурта

Место взятия водной пробы	рН	Содержание элементов в природных водах							
		Al ³⁺		Fe общее		Ca ²⁺		Mg ²⁺	
		γ/л	1·10 ⁻⁶ %	γ/л	1·10 ⁻⁶ %	мг/л	1·10 ⁻⁶ %	мг/л	1·10 ⁻⁶ %
1	6,5	0,82	0,082	2,25	0,225	6,81	681	2,92	292
2	6,9	0,18	0,018	1,95	0,195	4,01	401	1,95	195
3	6,2	0,16	0,016	1,95	0,195	8,02	802	0,49	49
4	6,5	0,60	0,060	2,125	0,2125	4,81	481	1,95	195
5	6,5	0,50	0,050	2,45	0,245	4,81	481	1,95	195
6	6,3	0,24	0,024	2,125	0,2125	3,21	321	2,92	292

24. оз. Большой Вудъявр, северный берег, Ботанический Сад (ПАБС), г. Кировск (Хибины);
25. р. Кунийок, среднее течение, левый берег, долина Кукисвум, в 1 км к югу от базы КСС (Хибины);
26. р. Часнайок, приток р. Гольцовка, среднее течение, правый берег (Хибины);
27. оз. Безымьянное, восточный берег, долина Кукисвум, в 2 км к юго-западу от базы КСС (Хибины);
28. оз. Сейдъявр, западный берег, в 100 м к северу от устья р. Эльморайок (Ловозёрские тундры);
29. р. Эльморайок, среднее течение, левый берег, в 6 км к северо-западу от оз. Сейдъявр (Ловозёрские тундры).

При общей слабо-кислой или близкой к нейтральной реакции рН исследуемых водных объектов, можно отметить их ультрапресность и слабую минерализацию. В исследуемых реках и озёрах показатель рН находится в диапазоне 6,20-6,90, отражая зависимость от соотношений с одной стороны – свободного диоксида углерода, с другой – бикарбонат-иона. При весьма небольших абсолютных значениях Al (от 0,016·10⁻⁶ % до 0,082·10⁻⁶ %) и Fe (от 0,195·10⁻⁶ % до 0,245·10⁻⁶ %) в изученных пробах природных вод, можно выявить, что железа повсеместно больше, чем алюминия. Также бросается в глаза, что концентрации Al и Fe выше в озёрах, нежели в реках, что можно объяснить бóльшим потенциалом накопления данных металлов в застойных водоёмах. Концентрации Ca в воде – от 321·10⁻⁶ % до 802·10⁻⁶ %, причём минимум – в оз. Сейдъявр (Ловозёрские тундры), а максимум – в р. Часнайок (Хибины). Концентрации Mg в воде – от 0,49·10⁻⁶ % до 2,92·10⁻⁶ %, причём минимум – в р. Часнайок (Хибины), а максимум – в оз. Б. Вудъявр (Хибины) и Сейдъявр (Ловозёрские тундры).

Подводя итоги вышесказанному, приходим к выводу о том, что водорастворимые соединения Al и Fe в почвах изученных ландшафтов составляют от сотых долей до единиц ·10⁻⁴ %, почти нигде не превышая сотен ·10⁻⁴ % от валовых концентраций. При этом ландшафтно-геохимическая обстановка Луявурта отличается более высокими показателями данных соединений как Al, так и Fe, по сравнению с Хибины.

Для водорастворимых форм Al и Fe в большинстве изученных почвенных образцов характерно убывание концентраций вниз по профилю почв; в содержании валового Al и Fe наблюдается обратная картина. Содержание водорастворимых соединений Al и Fe в почвенных профилях разных вертикально-зональных ландшафтов неодинаково. Концентрация данных форм как Al, так и Fe растёт от почв горной тундры к горно-таёжным.

При весьма небольших абсолютных значениях концентраций Al и Fe в изученных пробах природных вод, отмечаем, что железа повсеместно больше, чем алюминия. Концентрации Al и Fe – выше в озёрах, чем в реках. При этом алюминия, в целом, больше в водоёмах Хибин, в сравнении с Луявуртом; железа, в целом, больше в водоёмах Луявурта, в сравнении с Хибины. По-видимому, это является следствием различий в показателе рН, нюансов минерализации вод и химического состава коренных горных пород [7, с. 68], слагающих эти два массива. Прикладное значение результатов данного исследования состоит в том, что, в силу типоморфности Al и Fe в ландшафтах нефелиново-сиенитовых провинций, их соединения могут быть использованы для биогеохимической и биоиндикационной оценки местных природно-территориальных комплексов, оценки экологии водоёмов и почв данного района.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Амелянич Л. А. Алюминий в водных и солевых вытяжках из подзолистых почв / Л. А. Амелянич, О. А. Воробьева // Почвоведение. – № 9. – М.: Наука, 1999. – С. 1096-1106.
2. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина – М.: Изд-во МГУ, 1962. – 491 с.
3. Зонн С. В. Алюминий. Роль в почвообразовании и влияние на растения / С. В. Зонн, А. П. Травлев. – Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1992. – 224 с.
4. Козаренко А. Е. Особенности химического состава почв Хибинского и Ловозерского массивов / А. Е. Козаренко, В. А. Семенов // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. – № 2(22). – 2016. – С. 62-72.
5. Козаренко А. Е. Некоторые формы алюминия в почвах Хибинско-Ловозерского щелочного плутона / А. Е. Козаренко, В. А. Семенов // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. № 1 (29). – 2018. – С. 35-46.

6. Орлов Д. С. Соединения алюминия и проблема почвенной кислотности // Химия почв. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – С. 110-123.
7. Пеков И. В. Ловозерский массив: история исследования, пегматиты, минералы / И. В. Пеков – М.: Творческое объединение Земля Ассоциации Экоист, 2001. – С. 67-280.
8. Переверзев В. Н. Генетические особенности почв тундрового пояса Ловозерских гор (Кольский полуостров) / В. Н. Переверзев // Почвоведение. – №5. – 2000. – С. 533-539.
9. Рощина И. А. Рентгенофлуоресцентный анализ образцов горных пород переменного состава / И. А. Рощина, И. Д. Шевалеевский, Н. А. Коровкина, А. П. Майоров // Журнал аналитической химии. – Т. 37. – Вып. 9. – 1982. – С. 1611-1618.
10. Семенов В. А. Геохимия алюминия и железа в ландшафтах Хибинского и Ловозерского массивов. / Дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук: защищена 16.12.02 : утв. 23.05.2003 / В. А. Семенов. – Москва, МПГУ, 2002. – 154 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Amelianchik L. A. Aluminium v vodnih i solevih vityazhkah iz podzolistih pochv [Aluminum in water and salt extracts from podzolic soils] / L. A. Amelianchik, O. A. Vorobjeva // Pochvovedenie. [Pedology] – № 9. – М.: Nauka, 1999. – P. 1096-1106. [in Russian]
2. Arinushkina E. V. Rukovodstvo po chimicheskomu analyzu pochv [Guide to soil chemical analysis]. – М.: MGU, 1962. – 491 p. [in Russian]
3. Zonn S. V. Aluminium. Role v pochvoobrazovanii i vliyaniye na rasteniya [Aluminum. Role in soil formation and influence on plants]. / S. V. Zonn, A. P. Travleev. – Dnepropetrovsk: DGU, 1992. – 224 p. [in Russian]
4. Kozarenko A. E. Osobennosti khimicheskogo sostava potchv Khibinskogo i Lovozerskogo Massifov [Chemical Composition's Features of the Soils in the Khibinskiy and Lovozerskiy Massifs] / A. E. Kozarenko, V. A. Semenov // Vestnik MPGU. Estestvennye nauki [Bulletin of MGPU. Natural sciences]. – № 2(22). – 2016. – P. 62-72. [in Russian]
5. Kozarenko A. E. Nekotorye formy aluminiya v potchvah Khibinsko-Lovozerskogo shelochnogo plutona [Some forms of aluminium in the Soils of the Khibinskiy-Lovozerskiy alkaline pluton] / V. A. Semenov, A. E. Kozarenko // Vestnik MPGU. Estestvennye nauki [Bulletin of MGPU. Natural sciences]. – № 1(29). – 2018. – P. 35-46. [in Russian]
6. Orlov D. S. Soedineniya aluminiya i problema pochvennoy kislotnosti [Aluminum compounds and the problem of soil acidity] / D. S. Orlov // Khimiya pochv [Soil chemistry]. – М.: MGU, 1985. – P. 110-123. [in Russian]
7. Pekov I. V. Lovozerskiy massif: istoria issledovaniya, pegmatity, mineral. [Lovozero massif: history of research, pegmatites, minerals] / I. V. Pekov – М.: Zemlia, 2001. – P. 67-280. [in Russian]
8. Pereverzev V. N. Geneticheskie osobennosti pochv tundrovogo poyasa Lovozerskich gor (Kolskiy poluostrov) [Genetic features of soils of the tundra belt of Lovozero mountains (Kola Peninsula)] / V. N. Pereverzev // Pochvovedenie [Pedology]. – №5. – 2000. – P. 533-539. [in Russian]
9. Roschina I. A. Rentgen-fluorence analiz obraztsov gornyx porod peremennogo sostava [X-ray fluorescence analysis of rock samples of variable composition] / I. A. Roschina, I. D. Chevaleyevskiy, N. A. Korovkina, A. P. Mayorov // Journal ananiticheskoy khimii [Journal of analytical chemistry]. – Vol.37. – V.9. – 1982. – P. 1611-1618. [in Russian]
10. Semenov V. A. Geohimiya Al i Fe v landshaftakh Khibinskogo i Lovozerskogo massivov [Geochemistry of Al and Fe in the landscapes of Khibinskiy and Lovozerskiy massifs] / : dis. ... of PhD in Geography : defense of the thesis 16.12.02 : approved 23.05.2003 / V. A. Semenov – М.: MGPU, 2002. – 154 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.017>

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЗОЛОТВАЛА ЧИТИНСКОЙ ТЭЦ-1

Научная статья

Усманова Л.И.¹, Усманов М.Т.^{2,*}

¹ ORCID: 0000-0002-2278-3486;

² ORCID: 0000-0003-4676-6741;

^{1,2} Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, Россия

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

Аннотация

В результате фильтрационных утечек из гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1 по потоку подземных вод сформировался ореол протяженностью свыше 3 км вплоть до оз. Кенон гидрокарбонатно-сульфатных вод с минерализацией более 1,0 г/л, некондиционных в питьевом отношении по общей минерализации, величине жесткости и содержанию магния и кремния. Цель данного сообщения – по результатам выполненных авторами работ показать изменение химических характеристик подземных и поверхностных вод в зоне влияния ее гидрозолоотвала. За основу исследования приняты результаты гидрогеохимических исследований природных и техногенных объектов за 2002, 2008 и 2015 годы. Пробы отбирались в осенне-летний период (период открытой воды), что, с учетом достаточно стабильного гидрогеохимического режима в пределах годового цикла является репрезентативным.

Ключевые слова: озеро Кенон, золоотвал, химический состав, термодинамические равновесия.

GEOCHEMICAL FEATURES OF GROUND AND SURFACE WATER IN AFFECTED ZONE OF ASH-DISPOSAL AREA OF CHITA TPP-1

Research article

Usmanova L.I.¹, Usmanov M.T.^{2,*}

¹ ORCID: 0000-0002-2278-3486;

² ORCID: 0000-0003-4676-6741;

^{1,2} Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia

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

Abstract

As a result of filtration leaks from the hydraulic ash disposal area of Chita TPP-1, a halo with bicarbonate-sulphate water with a length of over 3 km up to the lake Kenon was formed along the groundwater flow having a salinity of more than 1.0 g/l, off grade in terms of drinking in terms of total salinity, hardness value and magnesium and silicon content. The main goal of this paper is to show the change in the chemical characteristics of groundwater and surface water in the affected zone of hydraulic ash disposal area, based on the results of the work carried out by the authors. The work is based on the results of hydrogeochemical studies of natural and man-made objects for 2002, 2008 and 2015. Samples were taken in the autumn-summer period (the period of open water), which, taking into account the fairly stable hydrogeochemical mode within the annual cycle, is representative.

Keywords: Kenon lake, ash disposal area, chemical composition, thermodynamic equilibria.

Загрязнение природных вод на участках размещения золоотвалов – общая проблема угольных ГРЭС и ТЭЦ [1], [2]. В этом отношении Читинская ТЭЦ-1 не составляет исключения. Объектами исследований кроме самого золоотвала были пункты подземных вод в районе его размещения, а также руч. Кадалинка и оз. Кенон, попадающие в зону влияния золоотвала.

Гидрозолоотвал (ГЗО) Читинской ТЭЦ-1 находится в 3 км к северо-западу от ее площадки и оз. Кенон (рис. 1) и представляет собой огражденный дамбами накопитель в понижении рельефа Читино-Ингодинской межгорной впадины. Площадь его около 115 га, эксплуатируется он с 1973 г. К настоящему времени ГЗО практически заполнен, в стадии строительства вторая его очередь на участке, примыкающем к существующим секциям с запада.

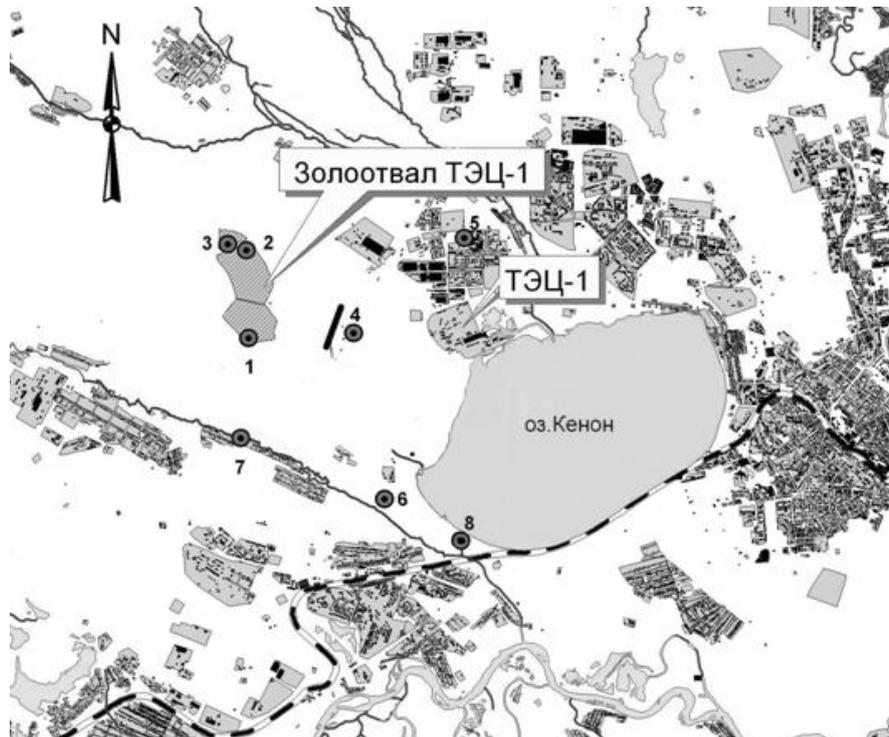


Рис. 1 – Местоположение гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1 и пунктов отбора водных проб:

1 – пруд-отстойник ГЗО; 2 – секция сброса пульпы; 3 – труба, дренирующая секцию сброса пульпы; 4 – родниковая разгрузка; 5 – скважина в пос. Черемушки; 6 – скважина в долине руч. Кадалинка; 7, 8 – руч. Кадалинка

В гидрогеологическом отношении участок приурочен к осевой части Читино-Ингодинского артезианского бассейна в зоне транзита подземных вод водоносного комплекса нижнемеловых нормально-осадочных отложений доронинской свиты. Породы комплекса на глубину 500-600 м в основном представлены алевролитами и песчаниками с примерно равным соотношением пачек мощностью от 50-70 до 110-130 м. Водоносными являются преимущественно песчаники. Фильтрационные свойства пород сильно колеблются, максимальные коэффициенты фильтрации песчаников достигают 35 м/сут. Воды комплекса в верхней гидродинамической зоне (на первом водоупоре) грунтовые, с глубиной становятся напорными.

Химико-аналитические определения макро- и микрокомпонентов выполнены в сертифицированной лаборатории ИПРЭК СО РАН стандартизированными методами. Применялись титриметрический (CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-}), турбидиметрический (SO_4^{2-}), потенциометрический (рН, Cl, F), фотометрический (Si, P, перманганатная окисляемость), атомно-абсорбционный (основные катионы, стронций, другие металлы) и другие методы анализа. Насыщение вод по возможным вторичным минеральным фазам определялось термодинамическими расчетами по программе HydroGeo [3].

Химический состав воды отстойника ГЗО по результатам выполненных нами с 1991 г. нескольких разовых опробований до 2008 г. был сульфатным магниево-кальциевым, содержание сульфат-иона не превышало 600 мг/л. Основным источником его высоких концентраций служит сульфидная сера (в виде пирита, марказита), содержащаяся в сжигаемом угле и минеральных золообразующих компонентах. Некоторый вклад вносит также серная кислота, используемая ТЭЦ при чистке котлов от накипи. В 2008 г. отмечен рост концентраций хлора и натрия в воде отстойника, вызванный, очевидно, поступлением их в золоотвал вследствие применения в тех же целях хлорида натрия. Анионный состав воды отстойника в результате стал хлоридно-сульфатным, а катионный – натриево-магниево-кальциевым. Минерализация воды, по данным за 2002-2015 годы, в летний период изменялась от 0,77 до 1,14 г/л. Эти колебания обусловлены динамикой состава используемой для золоудаления воды, различным составом сбрасываемых в ГЗО технологических вод ТЭЦ и др. По величине рН воды отстойника щелочные (рН до 9.4). Еще одна характерная их особенность – высокие концентрации фтора. Данные по химическому составу вод отстойника и подземных вод в зоне его влияния по трем срокам опробования представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-химические характеристики вод пруда-отстойника гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1, подземных и поверхностных вод в зоне его инфильтрационного влияния (в мг/л, кроме рН)

Компонент	Пруд-отстойник			Родниковая разгрузка			Скважина			р. Кадалинка 24.05.11
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
рН	9.38	9.33	8.95	8.27	6.64	6.84	7.58	7.29	7.26	8.06
CO ₂	0.0	0.0	0.0	0.0	37.0	67.3	12.0	11.1	14.3	1.76
HCO ₃ ⁻	126.8	104.7	18.9	433.1	303.1	554.1	263.5	281.1	226.3	08.6
CO ₃ ²⁻	10.8	9.0	13.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO ₄ ²⁻	600.0	453.0	592.9	504.0	378.0	409.2	576.0	415.0	455.7	252
Cl ⁻	70.8	102.4	122.6	39.8	52.5	66.5	50.2	67.6	66.5	16.2
F ⁻	16.9	15.8	8.68	0.91	0.46	0.50	1.12	2.08	2.23	0.66
NO ₃ ⁻	0.71	6.2	2.66	0.68	2.97	0.88	<0,62	1.96	0.44	0.60
Ca ²⁺	195.0	101.6	212.9	136.3	141.1	177.4	156.5	166.8	150.8	110.8
Mg ²⁺	48.5	56.2	25.8	112.0	63.2	102.9	86.4	48.4	63.7	28.8
Na ⁺	62.3	90.8	85.2	50.4	44.3	46.2	55.4	63.8	52.8	23.7
K ⁺	11.1	4.5	2.9	9.2	2.9	2.0	6.8	2.7	1.9	0.67
NH ₄ ⁺	-	-	0.21	-	-	0.45	-	-	1.11	0.2
Сумма ионов	1144	949	1086	1286	986	1360	1196	1050	1021	641.5
P	0.205	0.145	0.058	0.099	0.083	0.072	0.14	0.095	0.065	0.075
Si	6.5	12.2	15.8	11.5	11.1	12.3	11.4	10.9	11.5	4.8
Sr	2.00	1.30	14.9	1.00	1.29	5.99	0.60	1.21	2.84	0.16
ПО, мгО ₂ /л	3.67	2.00	1.02	3.01	1.60	1.27	3.60	4.20	1.10	3.80

Примечание: даты отбора проб: 1 – 10.09.2002 г.; 2 – 02.06.2008 г.; 3 – 27.07.2015 г.; ПО – перманганатная окисляемость; прочерк – нет определений.

По содержанию гидрокарбонатного иона в воде отстойника резко выделяется проба в последний срок опробования. Причина такого снижения неясна. Она может быть связана как с ростом поступления кальция в водную среду, так и со снижением содержания карбонатных компонентов в сжигаемых углях. В первом случае должно усиливаться образование вторичных карбонатов, в особенности доломита, по которым вода пересыщена (табл. 2). В частности, равновесные массы доломита CaMg(CO₃)₂ по пробам отстойника за 2002 и 2015 г. равны 32 и 5.3 мг (в расчете на 1 л) соответственно при незначимой в обоих случаях массе кальция CaCO₃ (менее 0.01 мг). Известно, что в случае высококальциевых золошлаковых отходов растут масштабы образования карбонатов, и, как следствие, существенно изменяются фильтрационные свойства подстилающих золоотвалы пород в результате вторичного карбонатообразования. Так, отмечено уменьшение фильтрационных потерь с 14.5 до менее 1.0 тыс. м³/сут. по Березовской ГРЭС (КАТЭК), при этом коэффициент фильтрации подстилающих пород на 1998 г. оценивался в 0.04 м/сут. при 5-10 м/сут. на конец 1950-х годов до ввода ГЗО в эксплуатацию [4]. Подобного по золоотвалу Читинской ТЭЦ-1 пока не отмечалось. Но насыщение по карбонатным минералам, к тому же более высокое, получено и по другим водным пробам, в том числе и подземных вод, при этом концентрации гидрокарбоната в них более чем на порядок выше. Потому более вероятна вторая причина, если исключить возможность других.

Таблица 2 – Равновесное количество осадка основных минералов (мг/л) по пробам, отобраным 27.07. 2015 г.

Минерал и его формула	Пробы воды			
	пруд-отстойник	родниковая разгрузка	скважина	озеро Кенон
кварц; SiO ₂	28	21	17	0
витлокит(фосфат); Ca ₃ (PO ₄) ₂	0.083	0.1	0.1	0.11
флюорит; CaF ₂	14	0	0	0
доломит; CaMg(CO ₃) ₂	5.3	140	35	14
целестин; SrSO ₄	29	9.6	3.5	0

Геохимических барьеров, существенно ограничивающих накопление в водах ГЗО сульфата, практически не существует, насыщение по гипсу CaSO₄·2H₂O не достигается. Образование целестина заметно не влияет на концентрацию в воде сульфата. Даже при полном осаждении целестина по пробе отстойника за 2015 г. в осадок уйдет не более 15.3 мг/л SO₄²⁻.

Фтор уже при фильтрации через золошлаковые осадки в основном удаляется из водной среды. При содержании в воде секции сброса пульпы (точка 2 на рис. 1) 6.9-16.9 мг/л в стоке из дренажной трубы (т. 3) оно уменьшалось до 0.48-1.99 мг/л [1]. Удаление из фильтрующихся вод фтора обусловлено выпадением его в результате образования флюорита, по которому воды пульпы и отстойника пересыщены. По расчетам, из вод отстойника может высаживаться до 32 мг/л CaF₂ [5].

Фильтрация воды из гидрозолоотвала наиболее значимо проявилась в подземных водах в росте содержания сульфат-иона, как это видно по родниковой разгрузке и самоизливающей скважине в долине руч. Кадалинка (точки 4 и 6 на рис. 1). В пробах последнего по времени опробования концентрации SO₄²⁻ по ним были 409 и 456 мг/л соответственно (табл. 1). Ранее в этих точках фиксировалось до 635 и 580 мг/л сульфатов. В подземных водах в

районе золоотвала ТЭЦ вне зоны его влияния концентрации сульфат-иона изменялись от 22.8 до 66.0 мг/л (скважины в пос. Черемушки (точка 5 на рис. 1), вблизи пос. Кутузовка и в с. Застесть к северо-западу от золоотвала выше по потоку подземных вод), анионный состав вод гидрокарбонатный. Снижение содержания SO_4^{2-} в подземных водах в сравнении с золоотвалом связано со смешением фильтрационных утечек с менее сульфатными водами водоносного горизонта, тогда как содержание гидрокарбоната при этом, напротив, более высокое, поскольку за пределами зоны влияния ГЗО оно кратно выше. Так, в пробе по скважине в пос. Черемушки концентрация HCO_3^- была 664.7 мг/л [5]. Высокое содержание гидрокарбоната в воде этой скважины связано, по-видимому, с локальным обогащением карбонатами водовмещающих пород (карбонатным цементом песчаников) на примыкающей площади.

В результате разгрузки подземных вод содержание SO_4^{2-} в воде руч. Кадалинка на приустьевом участке (т. 8 на рис. 1) достигало 528 мг/л [6], а в августе 2014 г. даже 534 мг/л [7]. Выше зоны разгрузки сульфата более 51 мг/л не отмечалось. Сток ручья, таким образом, является одним из путей поступления сульфатов в оз. Кенон [8], [9]. Поступают они и через разгрузку подземных вод непосредственно в озеро вдоль северо-западного берега, которая может достигать 550 куб. м/час [10].

С гидрозолоотвалом связано и обогащение подземных вод кремнием. Рост его концентрации в воде отстойника в сравнении с оз. Кенон, из которого производится забор воды для транспортировки золы, в какой-то мере можно сравнить с азотными термами, определяется он температурой золы и высокой щелочностью взаимодействующей с ней воды. Источником кремния служат алюмосиликатные зольные компоненты, при этом при насыщении по кварцу, концентрации его в основном контролируются аморфным кремнеземом, по которому равновесие не достигается. Практически не влияет на содержание кремния, как в воде отстойника, так и в подземных водах возможное образование вторичных глинистых минералов (бейделлитов, монтмориллонитов, иллитов и др.), осадки их суммарно не превышают 0.1 мг/л.

В результате фильтрации из гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1 сформировался ореол протяженностью свыше 3 км вплоть до оз. Кенон гидрокарбонатно-сульфатных вод с минерализацией более 1,0 г/л, некондиционных в питьевом отношении по общей минерализации, величине жесткости и содержанию магния и кремния. Вследствие смешения фильтрационных утечек с подземными водами водоносного горизонта содержания сульфат-иона по сравнению с золоотвалом уменьшаются, а гидрокарбоната из-за более высокого содержания его в подземных водах растут, но доминирующим анионом в зоне загрязнения остается сульфат. За прошедший более чем 40-летний период эксплуатации гидрозолоотвал остается источником загрязнения подземных вод, что свидетельствует об отсутствии кольматации подстилающих пород, значимой для снижения фильтрационных потерь, и незначительных масштабах вторичного минералообразования.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Замана Л. В. Влияние золоотвала Читинской ТЭЦ-1 на геологическую среду / Л. В. Замана, М. Т. Усманов, Л. И. Усманова и др. // Сергеевские чтения. Вып. 6. Инженерная геология и охрана геологической среды. Современное состояние и перспективы развития. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Москва. 23-24 марта 2004). – М.: ГЕОС. – 2004. – С. 246-250.
2. Павлов С. Х. Фильтрационные утечки из золошлакоотвала и их взаимодействие с геологической средой / С. Х. Павлов, А. И. Оргильянов, П. С. Бадминови др. // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2014. – Т. 7. – С. 100-115.
3. Букаты М. Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач / М. Б. Букаты // Известия ТПУ. – 2002. – Т.305. Вып. 8. – С. 348-365.
4. Белый В. В. Использование золошлаковых отходов для защиты подземных вод от фильтрации из золоотвала Березовской ГРЭС-1 / В. В. Белый, Г. И. Кузнецов, А. Ю. Озерский // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России. – Иркутск: Изд-во ИрТГУ. – 2003. – С. 201-203.
5. Замана Л. В. Гидрохимия отстойника золоотвала Читинской ТЭЦ-1 и подземных вод в зоне его инфильтрационного влияния / Л. В. Замана, Л. И. Усманова, М. Т. Усманов // Вестник Бурятского гос. университета. – 2010. – Вып. 3: Химия, физика. – С. 28-33.
6. Усманова Л. И. Влияние золоотвалов Читинских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 на природные воды прилегающих территорий / Л. И. Усманова, М. Т. Усманов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2010. – № 2. Вып. 16. – С. 167-178.
7. Цыбекмитова Г. Ц. Качество фильтрационных вод золошлакоотвала ТЭЦ-1 и возможные пути их поступления в оз. Кенон (Забайкальский край) / Г. Ц. Цыбекмитова // Вода: химия и экология. – 2016. – № 2. – С. 11-17.
8. Усманова Л. И. Характеристика химического состава речных вод на территории и в окрестностях города Читы / Л.И. Усманова // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 7. – С. 200-208.
9. Цыбекмитова Г. Ц. Гидрохимия озера Кенон (Забайкальский край) / Г. Ц. Цыбекмитова, М. Н. Бутенко // Материалы III Всероссийской научной конференции «Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии». – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН – 2016. – С. 327-329.
10. Итигилова М. Ц. Экология городского водоема / М. Ц. Итигилова, А. П. Чечель, Л. В. Замана и др. – Новосибирск: Издательство СО РАН. – 1998. – 260 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zamana L. V. Gidrohimiya otstojnika zolootvala CHitinskoj TENC-1 i podzemnyh vod v zone ego infiltracionnogo vliyaniya [The influence of the gold of the Chita TPP-1 on the geological environment] / L. V. Zamana, M. T. Usmanov, L. I. Usmanova, and others // Sergeevskie chteniya. Vyp 6. Inzhenernaya geologiya I ohrana geologicheskoy sredy/ Sovremennoe sostoyanie I perspektivy razvitiya. Materialy-godichnoj sessii Nauchno go soveta RAN po problemam

geoekologii inzhenernoj geologii i gidrogeologii (Moskva 23-24 marta-2004) [Sergeevskie readings. Issue 6. Engineering geology and protection of the geological environment. Current State and Development Prospects Materials of the annual session of the Scientific Council of the RAS on the problems of geocology, engineering geology and hydrogeology (Moscow. March 23-24, 2004)]. – M.: GEOS. – 2004. – P. 246-250. [in Russian]

2. Pavlov S. Kh. Filtratsionnye utechki iz zoloshlakootvala i ih vzaimodejstvie s geologicheskoy sredoy [Filtration leaks from the ash dump and their interaction with the geological environment] / S. Kh. Pavlov, A. I. Orgilyanov, P. S. Badminov, and others // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta Seriya Nauki o Zemle [News of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences]. – 2014. – T. 7. – P. 100-115. [in Russian]

3. Bukaty M. B. Razrabotka programmnoho obespecheniya dlya resheniya gidrogeologicheskikh zadach [Software development for solving hydrogeological problems] / M. B. Bukaty // Izvestiya TPU. – 2002. – V.305. Issue 8. – P. 348-365.

4. Bely V. V. Ispolzovanie zoloshlakovykh othodov dlya zashchity podzemnykh vod ot filtratsii iz zolootvala Berezovskoy GREHS-1 [The use of ash and slag waste to protect groundwater from filtration from the ash dump of Berezovskaya GRES-1] / V. V. Bely, G. I. Kuznetsov, A. Yu. Ozersky // Materialy Vserossijskogo soveshchaniya po podzemnym vodam Vostoka Rossii [Materials of the All-Russian Conference on the Groundwaters of Eastern Russia]. – Irkutsk: Publishing house IrtGU. – 2003. – P. 201-203. [in Russian]

5. Zamana L. V. Gidrohimiya otstojnika zolootvala CHitinskoj TEHC-1 i podzemnykh vod v zone ego infiltratsionnogo vliyaniya. [Hydrochemistry of a settler of the ash dump of the Chita TPP-1 and groundwater in the zone of its infiltration influence] / L. V. Zamana, L. I. Usmanova, M. T. Usmanov // Vestnik Buryatskogo gos universiteta – 2010. – Vyp 3 Himiya fizika. [Bulletin of the Buryat State. university. 2010. Issue 3: Chemistry, physics]. – P. 28-33. [in Russian]

6. Usmanova L. I. Vliyanie zolootvalov CHitinskih TEHC-1 i TEHC-2 na prirodnye vody prilegayushchih territorij [Influence of the ash dumps of the Chita CHPP-1 and CHPP-2 on the natural waters of the adjacent territories] / L.I. Usmanova, M.T. Usmanov // Vestnik KRAUNC Nauki o Zemle [Vestnik KRAUNC. Earth Sciences]. 2010. – No. 2. Vol. 16. – P. 167-178. [in Russian]

7. Tsybekmitova G. Ts. Kachestvo filtratsionnykh vod zoloshlakootvala TEHC-1 i vozmozhnye puti ih postupleniya v oz Kenon (Zabajkalskij kraj) [The quality of seepage water from the ash dump of CHP-1 and the possible ways of their entry into the lake. Kenon (Zabaykalsky Krai)] / G. TS. Tsybekmitova // Voda himiya i ehkologiya [Water: chemistry and ecology]. – 2016. – No. 2. – P. 11-17. [in Russian]

8. Usmanova L. I. Harakteristika himicheskogo sostava rechnykh vod na territorii i v okrestnostyakh goroda Chity [Characteristics of the chemical composition of river water in and around the city of Chita] / L. I. Usmanova. // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern science]. – 2018. – № 7. – P. 200-208.

9. Tsybekmitova G. Ts. Gidrohimiya ozera Kenon Zabajkalskij kraj [Hydrochemistry of Kenon Lake (Zabaykalsky Krai)] / G. Ts. Tsybekmitova, M. N. Butenko // Materialy III Vserossijskoj nauchnoj konferencii Raznoobrazie pochv i bioty Severnoj i Centralnoj Azii [Proceedings of the III All-Russian Scientific Conference «Diversity of soils and biota of Northern and Central Asia»]. – Ulan-Ude: Publishing House of the BSC SB RAS. – 2016. – P. 327-329.

10. Itigilova M. Ts. Ekologiya gorodskogo vodoema [Ecology of a city reservoir] / M. Ts. Itigilova, A. P. Chechel, L. V. Zamana and others. – Novosibirsk: Publisher SB RAS. – 1998. – 260 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.018>

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ДЖАМГЫР (ЗАПАДНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)**

Научная статья

Ревинский Ю.А.*

ORCID: 0000-0003-2611-8990,

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

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

Аннотация

Статья посвящена исследованию особенностей применения различных геологических методов для оценки перспективности одного из золоторудных объектов Центральной Азии. Актуальность данной темы обусловлена тем, что к настоящему времени рассматриваемое месторождение Джамгыр успешно разрабатывается при достаточно небольших затратах на предварительные геологоразведочные работы, что связано с анализируемым применением комплекса различных методов исследования на ранних стадиях его изучения. Данные статьи могут служить достаточной методологической основой для проведения прогнозно-металлогенических исследований на территории РФ.

Ключевые слова: Джамгыр, тектонофизика, термобарогеохимия, штокверк, методология.

**METHODOLOGICAL ASPECTS OF CARRYING OUT PREDICTIVE ESTIMATE OF THE JAMGYR DEPOSIT
(WESTERN TIAN SHAN)**

Research article

Revinskiy Yu.A.*

ORCID: 0000-0003-2611-8990,

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

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

Abstract

The article is devoted to the study of the use of various geological methods for predictive estimate of one of the gold ore objects in Central Asia. The relevance of this topic is due to the fact that the Jamgyr deposit under consideration is being successfully developed at relatively low costs for preliminary exploration work, which is associated with the analyzed use of the complex of various research methods at the early stages of its exploration. The data of the article can serve as the sufficient methodological basis for conducting predictive metallogenic studies in the territory of the Russian Federation.

Keywords: Jamgyr, tectonophysics, thermobarogeochemistry, stockwork, methodology.

Представление о значительной и весьма достаточной геолого-минералогической изученности золоторудных объектов западной и юго-западной части Российской Федерации далеко не всегда соответствует истинному положению дел. В настоящее время накоплен значительный фактический материал, меняющий представления о бесперспективности Юга России [1, С. 21]. Получен опыт крупномасштабного изучения жильных образований, вмещающих пород, метасоматических изменений с помощью минерало-термобарогеохимических методов исследований различных золоторудных месторождений Средней Азии, Восточного Донбасса, Камчатки и т.д. [2, С. 17]. Однако, для проведения достоверных прогнозно-металлогенических исследований требуются более качественные методологические разработки изучения золоторудных объектов.

Приведённые данные исследований должны способствовать тому, что тенденция направления финансовых ресурсов на золоторудные объекты Сибири и Дальнего Востока должна смениться пониманием необходимости переоценки и детального анализа месторождений и рудопроявлений Российского Кавказа и в целом фундамента Русской платформы.

В данной статье проводится анализ использования комплекса тектонофизических и термобарогеохимических методов на месторождении золота Джамгыр. Результаты геохимических исследований, представленные ранее [3, С. 659], учитывались в полученных выводах. Указанный комплекс методов в данном случае позволяет оценить не только собственно основной жильный тип минерализации, но и выявить и оценить другие генетические типы золоторудной и иной минерализации, имеющей более значительные масштабы.

Месторождение Джамгыр расположено в Сандалаш-Чаткальском рудном районе западного Тянь-Шаня (рис. 1) и приурочено к зоне действия крупного суперрегионального Талассо-Ферганского разлома [4, С. 13]. Представлено месторождение (рис. 2) кварцевыми жилами с золотой минерализацией в позднерифейских гранитоидах бешторского комплекса. Гранитоиды перекрываются с угловым несогласием породами узунбулакской свиты рифея-венда, которая сложена конгломератами, гравелитами, песчаниками. С северо-востока месторождение ограничено штоком бакаирских гранитоидов пермского возраста.

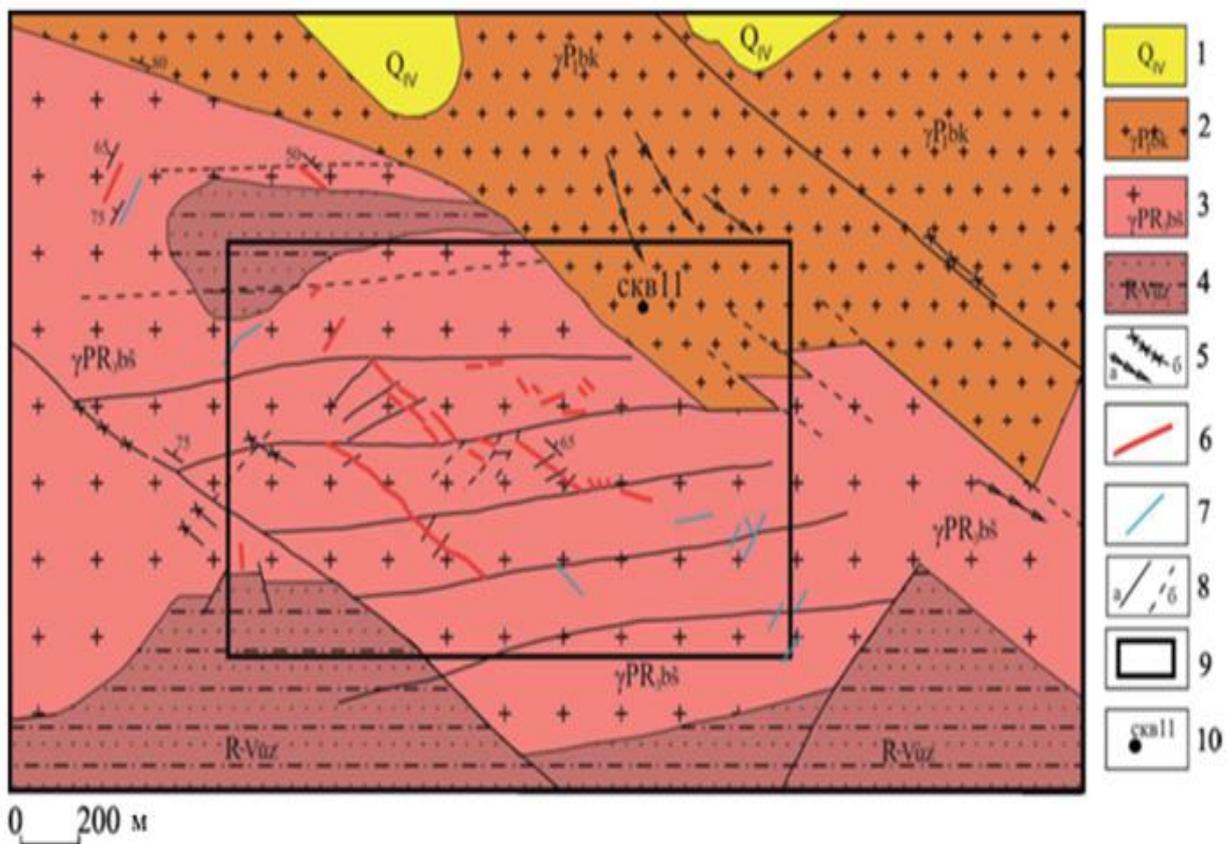


Рис. 2 – Схематическая геологическая карта месторождения Джамгыр:

1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – биотитовые граниты и гранит-порфиры бакаирского комплекса; 3 – граниты бешторского комплекса; 4 – песчаники и алевролиты узунбулакской свиты; 5 – акшамский комплекс: лампрофиры, диабазы(а) и гранит-порфиры, микрограниты (б); 6 – кварцевые жилы; 7 – кальцитовые и кварц-кальцитовые жилы; 8 – разломы: установленные (а), предполагаемые (б); 9 – площадь проведения поисково-оценочных работ; 10 – скважина № 11

Главной особенностью месторождения Джамгыр является наличие комплекса жильных образований, представленных жилами, прожилками, линзами, зонами окварцевания, карбонатизации. Золотоносными являются кварцевые жилы преимущественно северо-западного простирания с крутыми углами падения, мощностью от первых

см до 2,5 м. В данных жилах сосредоточены основные запасы золота данного месторождения, сопровождаемые сульфидной минерализацией.

В связи с тем, что жильный тип оруденения на месторождении является основным, то применение тектонофизических методов исследования является весьма перспективным для выявления структурно-тектонического контроля рудолокализации. Геометрические приёмы изучения трещинно-разрывной тектоники позволяют использовать не только данные об ориентации в пространстве поверхностей смесителей, но и направления сдвиговых смещений по ним [5, С. 324]. Тектонофизические методы позволяют как определять положение и тип разрывов, так и по конкретным нарушениям реконструировать ориентировку осей напряжений, породивших эти разрывы.

Графическое изображение решения обратной задачи, т.е. определение ориентировки осей напряжений производится с помощью стереографической сетки Шмидта [6, С. 558]. Определив положение осей напряжений, получаем характеристику поля напряжений определённого уровня сдвиговых смещений.

Для месторождения Джамгыр на локальном уровне в результате проведённых исследований была получена пространственная ориентация напряжений: для напряжения сжатия – 324° , угол 0° ; для напряжения растяжения – 234° , угол 24° . Данные ориентировки поля напряжений локального уровня, установленного для месторождения, согласуются с мезорегиональным уровнем, обусловленным, вероятно, влиянием Талассо-Ферганского разлома. Тектонофизический метод анализа разрывных структур позволяет утверждать, что формирование основных рудных тел проходило в условиях приповерхностной хрупкой деформации двумя способами. В первом случае приоткрываются стенки сколовых трещин, рассеянных в гранитном массиве, а во втором это приоткрытие сопровождается разрывом их сплошности как по падению, так и по простиранию. Таким образом, мы можем наблюдать как «стволовые» крутопадающие жилы, прослеживающиеся до значительных глубин, так и предвидеть «скрытые», не выходящие на поверхность рудные жилы. Кроме того, весьма вероятно связь данных жил со штокверковым оруденением, предполагаемым источником золоторудной минерализации на глубине.

Термобарогеохимические исследования проводились с целью изучения физико-химических, термодинамических условий минералообразования и их связи с кинематическим механизмом формирования структуры месторождения. Методами декриптации и газовой хроматографии, разработанными на кафедре месторождений полезных ископаемых ЮФУ [7, С. 110], были изучены пробы кальцита, рудного и безрудного кварца, сульфидов, самородного золота, вмещающих гранитоидов.

В результате исследований по относительной величине флюидонасыщенности и эффектам декриптации включений установлен кварц трёх видов, определена стадийность минералообразования (табл.1). Стадии названы по типоморфным минералам и имеют более сложный минералогический состав. Выделен основной золотоносный интервал температур минералообразования 220 – 280. Установлено, что рудная формация месторождения является золотокварцевой, малосульфидной, средне-высокотемпературной [8, С. 31]. При этом характеристики жильных образований, их термодинамические параметры распределены в соответствии с тектонофизическим механизмом формирования структуры (табл.1).

Таблица 1 – Стадийность гидротермального минералообразования

Стадия	Состав стадии	T	Газы флюидов	Структурное положение
Дорудная	Халькопиритовая	220-180	CO ₂ , O ₂ , N ₂ , H ₂ O	Субширотные зоны
Предрудная	Золото-пиритовая	370-300	CO ₂ , O ₂ , N ₂ , CO, CH ₄ , C ₂ H ₄	Разломы СВ простирания
Рудная	Золото-сульфосольно-полиметаллическая	280-220	H ₂ O, CO ₂ , O ₂ , N ₂ , CO, CH ₄ , C ₂ H ₄	Рудные жилы СЗ простирания
Пострудная	Халцедон-карбонатная	140-70	O ₂ , N ₂ , H ₂ O	Участки рудных жил

Вкрест простирания рудных тел как на поверхности, так по скважинам и штольневим горизонтам для термобарогеохимических исследований были отобраны пробы вмещающих бешторских гранитоидов. Цель – исследование ореолов «пропаривания», изучение температур вторичных флюидных изменений пород. Проведёнными исследованиями установлено, что газовыделение происходит в интервалах температур от 50 до 700. Кроме того, что фиксируются ореолы рудных тел, устанавливается интересная закономерность поведения рудного интервала 200 – 300. На поверхности интенсивность проявления данного флюида по мере приближения к контакту бешторских и бакаирских гранитоидов уменьшается, а на глубинах 150 – 200 м увеличивается. После выявления данной закономерности вблизи этой зоны контакта, но по бакаирским гранитоидам, была пробурена скважина N11 глубиной 605 м, по которой также были отобраны пробы для температурных исследований. В интервалах глубин от 350 до 605 м установлено пять зон проявления флюидоактивности интервала 200 – 300. При этом этот интервал характеризуется наличием участков видимого молибденита и в целом повышенным содержанием молибдена с максимумом в интервале 600 – 603 м (0,21%). В этом же интервале содержание золота составляет 2,5 г/т.

Ассоциация золота и молибдена относятся к «чуждым» минеральным парагенезисам, согласно известному исследователю Н.В. Петровской [9, С. 216], отличных от устойчивых ассоциаций. Однако, проведённый анализ [10, С. 422] золоторудных месторождений Востока России свидетельствует о том, что при ассоциации нетипичных минералов возможны различные варианты интерпретации геологических данных: происходит ремобилизация рудного вещества из вмещающих пород или из древних месторождений, находящихся на глубине; «чуждые» минералы

формируются в результате телескопированного наложения на более раннее оруденение. В любом случае ассоциация золота и молибдена свидетельствует о многоярусности оруденения месторождения Джамгыр.

Заслуживает внимания также тот факт, что бешторские граниты местами подвержены процессу карбонатизации. Карбонат чёрного цвета (кальцит, содержащий углерод) цементирует трещины, возникшие между частями раздробленных зёрен. В единичных пробах данных зон брекчирования с карбонатной цементацией установлены содержания золота до десятков грамм на тонну. Эти зоны не формируют более-менее геометрически определённых рудных тел и не связаны с кварцевыми жилами.

Тектонофизическим анализом (Корчемагин В. А., 1989 г.) было высказано предположение о субвертикальном сжатии с азимутом падения 20° и углом падения $75 - 80^\circ$. Это элементы ориентировки нескрытого штокверкового оруденения, представляющего собой источник, из которого происходила ремобилизация золота в кварцевые жилы. Наличие в одних зонах золота и молибдена, подтверждённые данными декриптометрии, свидетельствует о том, что штокверковое оруденение представлено предположительно молибден-порфировым золотосодержащим типом.

Таким образом, применение методов тектонофизического анализа в сочетании с методами термобарогеохимии позволяет существенно повысить прогнозную оценку месторождения. В частности, установлена перспективность кварцевых жил, образовавшихся при открывании сколовых трещин при преимущественном развитии субгоризонтальных деформаций, что привело к разрыву сплошности разъединяющих перемычек во вмещающих породах.

Наличие декриптации активности, связанной с рудным интервалом 200 – 300 в интервале глубин 300 – 600 м свидетельствует о наличии нескрытых, так называемых «слепых», кварцевых жил, что было подтверждается в процессе эксплуатации месторождения.

Полученные данные кинематического анализа и термобарогеохимии свидетельствуют также о многоярусности месторождения, представленного на нижнем уровне молибден-порфировым, золотосодержащим штокверком. Штокверковое оруденение на данном уровне может быть представлено также брекчированными бешторскими гранитоидами с цементом, представленным карбонатом тёмного цвета. На верхнем уровне – золотоносные кварцевые жилы.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Труфанов В. Н. Ресурсный потенциал и геотехнологические аспекты освоения новых металлических полезных ископаемых Ростовской области / В. Н. Труфанов, М. И. Гамов, Н. В. Грановская. и др. // Геология и минерально – сырьевая база Ростовской области: материалы конф., посв. 300-летию геол. службы России 2000 г., Ростов-на-Дону/ Изд. РГУ. – Ростов-на-Дону, 2000. – С.13–27.
2. Грановская Н. В. Минералогия и термобарогеохимия золотого оруденения в юго-восточном Донбассе. / Н. В. Грановская // Записки ВМО, – 1992. – №4, – С.15–18
3. Шарова Т. В., Геохимические особенности месторождения Джамгыр (Западный Тянь-Шань) / Т. В. Шарова., Ю. А. Ревинский // Материалы V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского 28 февраля – 3 марта 2017 г., Санкт-Петербург / ВСЕГЕИ, – Санкт-Петербург, 2017.– С. 659–662.
4. Войтович И. И. Геологические условия размещения эндогенного оруденения восточной части Чаткальской горной системы (средний Тянь-Шань): Автореферат дис. канд. геол. – мин. наук / И. . Войтович, г. Фрунзе, ИГ АН Кирг. ССР, – 1974. – С.12–15
5. Гзовский М. В. Основы тектонофизики / М. В. Гзовский. – М.: Наука, 1975. – 520 с.
6. Гущенко О. И. Кинематический принцип реконструкции направлений главных напряжений / О. И. Гущенко // Докл. АН СССР, т. 125. – 1975.– №3.– С. 557–560.
7. Труфанов В. Н. Научные основы генетической информации природных систем «минерал – флюид» / В. Н. Труфанов, С. А. Куршев, Ю. Г. Майский и др.// Известия СКНЦ ВШ. Естественные науки, Ростов-на-Дону. – 1987.– №3.– С. 107–115.
8. Сафонов Ю. Г. Гидротермальные золоторудные месторождения: распространенность – геолого-генетические типы – продуктивность рудообразующих систем / Ю. Г. Сафонов // Геология рудных месторождений. т. 39. – 1997. – №1. – С. 25–40.
9. Петровская Н. В. Формации золоторудных месторождений / Н. В. Петровская Ю. Т. Сафонов, С. Д. Шер – М.: Рудные формации эндогенных месторождений, т.2. М.: Наука, 1976.– 314 с.
10. Томсон И. Н. О «чуждых» минеральных ассоциациях золоторудных месторождений Востока России / И. Н. Томсон, А. В. Волков, А. А. Сидоров и др. // Геология рудных месторождений. т.45.– 2003.– №5.– С. 415–428.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Trufanov V. N. Resursnyj potencial i geotekhnologicheskie aspekty osvoenija novykh metallicheskih poleznykh iskopaemykh Rostovskoj oblasti [Resource potential and geotechnological aspects of the development of new metallic minerals of the Rostov region] / V. N. Trufanov, M. I. Gamov, N. V. Granovskaja i dr. // Geologija i mineral'no – syr'evaja baza Rostovskoj oblasti: materialy konf., posv. 300-letiju geol. sluzhby Rossii .[Geology and Mineral Resources Base of the Rostov Region: Proceedings of the Conference Dedicated to the 300th Anniversary of the Geological Survey of Russia] 2000 g., Rostov-na-Donu/ Izd. RGU. – Rostov-na-Donu, 2000. – S.13–27. [in Russian]
2. Granovskaja N. V. Mineralogija i termobarogeochemija zolotogo orudnenija v jugo-vostochnom Donbasse [Mineralogy and thermobarogeochemistry of gold mineralization in the southeastern Donbass.] / N. V. Granovskaja // Zapiski VMO [Notes of the ARMO], – 1992, – №4, – S.15–18. [in Russian]
3. Sharova T. V. Geokhimicheskie osobennosti mestorozhdenija Dzhamgyr (Zapadnyj Tjan'-Shan') [Geochemical features of the Dzhamgyr deposit (Western Tien Shan)] /T. V. Sharova., Ju. A. Revinskij// Materialy V Mezhdunarodnoj konferencii molodykh uchenykh i specialistov pamjati akademika A. P. Karpinskogo [Materials of the V International Conference of

Young Scientists and Specialists in Memory of Academician A. P. Karpinsky] 28 fevralja – 3 marta 2017 g., Sankt-Peterburg / VSEGEI, – Sankt-Peterburg, 2017.– S. 659–662. [in Russian]

4. Vojtovich I. I. Geologicheskie usloviya razmeshhenija jendogenogo orudnenija vostochnoj chasti Chatkal'skoj gornoj sistemy (srednij Tjan'-Shan') [Geological conditions of endogenous mineralization of the eastern part of the Chatkal mountain system (middle Tien Shan)] Avtoreferat dis. kand. geol. – min. nauk [Abstract of a PhD thesis] / I. I. Vojtovich g. Frunze, IG AN Kirg. SSR– 1974. – S.12–15. [in Russian]

5. Gzovskij M. V. Osnovy tektonofiziki [Basics of tectonophysics] / M. V. Gzovskij. – M.: Nauka, 1975. – 520 s. [in Russian]

6. Gushhenko O. I. Kinematicheskij princip rekonstrukcii napravlenij glavnykh naprjazhenij [Kinematic principle of reconstruction of main stress directions] / O. I. Gushhenko // Dokl. AN SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences], t. 125. – 1975.– №3.– S. 557–560. [in Russian]

7. Trufanov V. N. Nauchnye osnovy geneticheskoy informacii prirodnykh sistem «mineral – fljuid» [Scientific foundations of genetic information of mineral-fluid natural systems] / V. N. Trufanov, S. A. Kurshev, Ju. G. Majskij i dr. // Izvestija SKNC VSh. Estestvennye nauki [News SKNTS VS. Natural Sciences], Rostov-na-Donu. – 1987.– №3.– S. 107–115. [in Russian]

8. Safonov Ju. Gidrotermal'nye zolotorudnye mestorozhdenija: rasprostranennost' – geologo-geneticheskie tipy – produktivnost' rudoobrazujushhikh sistem [Hydrothermal gold deposits: prevalence - geological and genetic types - productivity of ore-forming systems] / Ju. G. Safonov // Geologija rudnykh mestorozhdenij [Geology of ore deposits], t. 39. – 1997. – №1. – S. 25–40. [in Russian]

9. Petrovskaja N. V. Formacii zolotorudnykh mestorozhdenij [Gold Ore Formations] /N. V. Petrovskaja, Ju. T. Safonov, S. D. Sher – M.: Rudnye formacii jendogennykh mestorozhdenij [Ore formations of endogenous deposits] t.2. M.: Nauka, 1976.– 314 s. [in Russian]

10. Tomson I. N., O «chuzhdykh» mineral'nykh asociacijakh zolotorudnykh mestorozhdenij Vostoka Rossii [On the "alien" mineral associations of gold deposits in Eastern Russia] / I. N. Tomson, A. V., Volkov, A. A. Sidorov i dr. // Geologija rudnykh mestorozhdenij [Geology of ore deposits], t.45.– 2003.– №5.– S. 415–428. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.019>

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД ТЕХНОГЕННЫХ ВОДОЕМОВ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Научная статья

Чечель Л.П.*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4150-6871>,

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, Россия

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

Аннотация

Исследован химический состав вод карьерных озер шести рудных месторождений, расположенных в Забайкальском регионе. Максимальной степенью аномальности характеризуются воды в карьерах месторождений, содержащих повышенное количество сульфидных минералов в рудах и вмещающих породах. Это кислые и сильно кислые с высоким содержанием сульфатов и тяжелых металлов (Fe, Al, Zn, Cu, Mn, Ni, Cd и др.) и минерализацией более 2 - 3 г/л воды. Исследование распределения элементов в водной толще одного из карьерных озер показало значительную вертикальную неоднородность, что выражается в существенном увеличении с глубиной минерализации вод, концентраций сульфатов, железа, цинка, свинца, мышьяка и алюминия.

Ключевые слова: месторождения Забайкалья, карьерные озера, техногенные воды, сульфидные руды.

CHEMICAL COMPOSITION OF WATER OF MAN-MADE WATER BASES OF EASTERN TRANSBAIKAL

Research article

Chechel L.P.*

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of SB RAS, Chita, Russia

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

Abstract

The chemical composition of waters of the open-cut lakes of six ore deposits located in the Transbaikal region was studied. The maximum degree of anomaly is characterized by the water in the quarries of deposits containing an increased amount of sulphide minerals in the ores and host rocks. They are acidic and strongly acidic with a high content of sulfates and heavy metals (Fe, Al, Zn, Cu, Mn, Ni, Cd, etc.) and mineralization of more than 2–3 g/l of water. The study of the distribution of the elements in the water column of one of the open-cut lakes showed a significant vertical heterogeneity, which is reflected in a significant increase with the depth of water mineralization, the concentrations of sulfates, iron, zinc, lead, arsenic and aluminum.

Keywords: deposits of Transbaikal, open-cut lakes, industrial waters, sulphide ores.

Введение

Заотпление карьеров в местах бывшей горной добычи приводит к образованию техногенных озер, качество вод которых может значительно варьировать в зависимости от геологических гидрогеологических, и ландшафтно-

климатических особенностей территорий расположения месторождений (Юрташкина, 2005; Удачин и др., 2008, 2009; Юркевич, 2009; Филиппова и др., 2013, 2014; Castro, 2000; Bachmann, 2001; Ramstedt, 2003; Wilson, 2012; Gammons, 2013 и др.). Такие воды зачастую характеризуются повышенной кислотностью и аномально высокими концентрациями тяжелых металлов и других токсикантов [7, С. 6], [9, С. 44] или напротив, отличаются крайне низкими концентрациями большинства компонентов [10, С. 62].

Объекты и методы исследования

В представленной работе показаны основные отличия химического состава вод шести карьерных озер: вольфрамовых – Бом-Горхонского, Букуинского и Спокойнинского, молибденового – Первомайского, оловополиметаллического – Шерловогорского и литиевого – Завитинского месторождений, расположенных в Западном и Восточном Забайкалье.

В числе основных особенностей геологического строения месторождений выделяются их пространственная ассоциация с гранитными и гранитоидными породами, а также наличие либо отсутствие сульфидной минерализации. Так, в составе рудных жил кварц-гюбнерит-сульфидного Бом-Горхонского и кварц-вольфрамит-сульфидного Букуинского месторождений преобладают – вольфрамит, гюбнерит, молибденит, пирит, сфалерит, галенит, пирротин, халькопирит [5, С. 181], [6, С. 136]. Основные рудные минералы Шерловогорского месторождения – касситерит, пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит [2, С. 132]. Первомайского штокверкового – молибденит, пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, флюорит [8, С. 150]. Особенностью рудных тел Спокойнинского грейзеново-вольфрамитового месторождения является малое количество в них сульфидов и флюорита, главный рудный минерал в зонах грейзенизации – вольфрамит [3, С. 109]. Жильные минералы Завитинского пегматитового месторождения – сподумен, кварц, альбит, мусковит [1, С. 8].

Химический анализ водных проб выполнялся общепринятыми методами в лаборатории Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (г. Чита) и в аналитическом центре Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск).

Результаты исследования и обсуждение

Исследованные карьерные озера расположены в районах мерзлотной горно-таёжной и лесостепной ландшафтно-климатических зон. В их пределах в естественных условиях формируются слабокислые и околонейтральные ультрапресные и пресные гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые воды. Изменение условий водообмена и дренирования подземных вод в результате техногенного нарушения геологического пространства в процессе отработки месторождений стало причиной трансформации вод зоны выщелачивания, являющихся основным источником питания карьерных озер. Как следствие, изученные техногенные водоемы имеют существенные отличия от вод, формирующихся в ненарушенных условиях, как по величине водородного показателя, так и по химическому составу (таблица).

Таблица 1 – Показатели химического состава вод карьерных озёр

Показатель	Единицы измерения	Номер пробы									
		1-В	1-С	2	3	4	5-0м	5-7м	5-14м	6	
pH	–	2,06	5,40	7,88	5,3	3,36	2,98	3,06	3,48	8,4	
Eh	мВ	–	–	0,189	0,289	0,571	0,524	0,453	0,376	–	
CO ₂	мг/л	722,1	17,4	3,96	23,8	2834	–	–	–	–	
HCO ₃ ⁻	“_”	12,0	3,8	54,9	3,05	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	97,6	
SO ₄ ²⁻	“_”	300,0	25,0	352,0	44,6	1820	1916	2226	2143	565,0	
Cl ⁻	“_”	0,8	0,4	2,82	1,3	1,4	6,3	7,1	7,4	28,2	
F ⁻	“_”	31,5	4,35	3,3	0,2	397,0	1,32	1,04	2,75	0,52	
Ca ²⁺	“_”	36,1	6,9	152,9	17,8	529,4	394,4	393,0	361,6	179,4	
Mg ²⁺	“_”	9,1	0,9	35,8	2,5	67,1	226,2	301,0	301,4	40,28	
Na ⁺	“_”	1,7	0,5	20,4	1,6	35,0	25,0	31,2	29,0	36,75	
K ⁺	“_”	0,7	1,1	5,1	3,13	1,0	3,95	3,36	4,06	9,47	
∑ ионов	“_”	510,4	38,6	627,2	74,1	3214	2572	2962	2846	957,2	
Si	“_”	8,6	3,0	5,6	3,0	7,5	17,1	19	15,8	1,03	
P _{общ.}	“_”	0,069	0,065	0,09	0,065	0,053	0,05	0,055	0,06	0,16	
Sr	“_”	0,08	0,04	0,89	0,018	0,034	–	–	–	1,14	
Mn	мкг/л	1780	110,0	1530	61,7	18404	67400	72900	75700	2,1	
Fe	“_”	75900	350,0	46,0	32,5	35184	32800	52890	116500	82,6	
Zn	“_”	14510	180,0	17,0	231,1	24139	58100	49300	127900	1,7	
Cu	“_”	5940	700,0	1,0	74,9	888,1	2722	2409	1270	2,95	
Pb	“_”	10,7	0,15	0,92	0,19	6,29	14,6	80,0	170,0	н.о.	
Ni	“_”	170,0	6,5	51,0	4,7	168,0	2921	3251	3072	6,81	
Cd	“_”	160,0	3,02	9000	3,26	271,6	3359	3474	2851	0,38	
Co	“_”	70,0	1,3	24,0	1,03	329,1	814,0	879,0	808,0	н.о.	
Al	“_”	26300	1420	250,0	313,7	285198	586,0	7552	5692	43,1	

Примечание: н.о. – элемент не обнаружен; прочерк – определение не проводилось; номер пробы: 1 – Букуинское, 2 – Спокойнинское, 3 – Бом-Горхонское, 4 – Первомайское, 5 – Шерловогорское, 6 – Завитинское месторождения.

Наибольшая контрастность химического состава свойственна водам карьерных озер Букукинского, Первомайского и Шерловогорского месторождений, руды которых содержат повышенное количество сульфидных минералов. В районе Букукинского месторождения было опробовано два карьерных озера, одно, из которых расположено на восточном (табл. – проба 1-В), другое – на северном склонах (табл. – проба 1-С) горы Букука. Воды карьеров соответственно кислые и слабокислые пресные и ультрапресные F-SO₄-Al-Fe и SO₄-Ca с повышенными концентрациями тяжелых металлов – Fe, Al, Zn, Cu, Mn, Ni, Cd. Малая величина минерализации и более низкие содержания тяжелых металлов в водах северного карьера объясняются его приводораздельным положением и, как следствие, преимущественным атмосферным питанием.

Аналогично северному карьере Букуки карьер Бом-Горхонского рудника расположен на водоразделе и в питании его вод высока доля атмосферных осадков. Вода озера слабокислая, ультрапресная, SO₄-Ca с повышенными концентрациями Zn и Al. Преимущественный сульфатный анионный состав вод этих карьерных озер, несмотря на отработку рудных тел, определяется присутствием сульфидных минералов в околожильном пространстве и вмещающих породах [4, С. 271].

Аномальностью химического состава выделяются карьерные озера Первомайского (табл. – проба 4) и Шерловогорского (табл. – проба 5) рудников, кислые и сильно-кислые F-SO₄-Ca-Al и SO₄-Ca, солоноватые по величине минерализации, воды которых содержат десятки и сотни мг/л алюминия, железа, марганца и цинка. Эти металлы по своим абсолютным содержаниям в карьерных водах являются макрокатионами наряду с кальцием, магнием и натрием.

Изучение распределения элементов в водной толще Шерловогорского карьера на глубинах 0, 7 и 14 метров (табл. – пробы 5-0м, 5-7м, 5-14м) показало его значительную вертикальную неоднородность. Отмечен существенный рост значений минерализации и концентраций ионов SO₄²⁻ в вертикальном разрезе, на порядок возрастают концентрации тяжелых металлов – Fe, Zn, Pb, As и Al. Закономерное увеличение с глубиной содержания элементов объясняется отсутствием перемешивания водной толщи озера, в придонном слое которого непосредственно контактирующие с подстилающими породами воды в большей степени подвержены влиянию процессов выщелачивания. И напротив, понижение концентраций компонентов на разных глубинах может быть связано с действием процессов вторичного минералообразования.

Воды карьерных озер Спокойнинского и Завитинского месторождений слабощелочные с повышенной минерализацией, SO₄-Mg-Ca (табл. – пробы 2 и 6). Доминирующие микрокомпоненты в карьерных водах Спокойнинского месторождения – Cd, Mn, Al и W (300 мкг/л), Завитинского месторождения – Fe и Al. Преимущественно сульфатный анионный состав вод озер связан с воздействием двух факторов: геологического – присутствие некоторого количества сульфидных минералов в породах, и климатического – расположение в пределах более засушливой лесостепной ландшафтной зоны.

Заключение

Исследован химический состав вод шести затопленных карьеров в местах бывшей отработки рудных месторождений Забайкалья. Как было показано, степень аномальности состава вод в значительной мере определяется наличием или отсутствием сульфидов в их рудах и вмещающих породах. Наибольшая трансформация химического состава вод зафиксирована в Шерловогорском и Первомайском карьерных озерах. Это кислые и сильно-кислые сульфатные кальциевые и фторидно-сульфатные кальциево-алюминиевые солоноватые по величине минерализации воды, содержащие десятки и сотни мг/л алюминия, железа, марганца и цинка, которые по своим абсолютным содержаниям становятся макрокатионами наряду с кальцием, магнием и натрием. Такие водоемы однозначно непригодны для хозяйственного использования, служат источниками загрязнения подземных вод и нуждаются в очистке. Напротив, возрастание доли атмосферного питания карьерных озер при их размещении на водоразделах благоприятно сказывается на качестве вод.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Владимиров А. Г. Литиевые месторождения сподуменовых месторождений Сибири / А. Г. Владимиров, Н. З. Ляхов, В. Е. Загорский, В. М. Макагон и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – Т.20. – № 1. – С. 3-20.
2. Гайворонский Б. А. Шерловогорское месторождение. Месторождения Забайкалья (в 2 книгах) / Б. А. Гайворонский. – М.: Геоинформмарк, 1995. – Т. 1. – Кн. 1.– С. 130-133.
3. Гребенников А. М. Спокойнинское вольфрамовое месторождение. Месторождения Забайкалья (в 2 книгах) / А. М. Гребенников. – М.: Геоинформмарк, 1995. – Т. 1. – Кн. 1.– С. 106-116.
4. Замана Л. В. Геохимия дренажных вод горнорудных объектов вольфрамового месторождения Бом-Горхон (Забайкалье) / Л. В. Замана, Л. П. Чечель // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22. – № 3. – С. 267-273.
5. Онтюев, Д. О. Стадийность минерализации и зональность месторождений Забайкалья / Д. О. Онтюев. – М.: Наука, 1974. – 244с.
6. Сизых В. И. Бом-Горхонское вольфрамовое месторождение. Месторождения Забайкалья (в 2 книгах) / В. И. Сизых. – М.: Геоинформмарк, 1995. – Т. 1. – Кн. 1.– С. 134-138.
7. Филиппова К. А. Химический состав вод карьерных озер Южного Урала / К. А. Филиппова, П. Г. Аминов, В. Н. Удачин // Вода: химия и экология. – 2013. – № 7. – С. 3-8.
8. Ходанович П. Ю. Молибдено-вольфрамовые месторождения Джидинского рудного поля. Месторождения Забайкалья (в 2 книгах) / П. Ю. Ходанович. – М.: Геоинформмарк, 1995. – Т. 1. – Кн. 1. С. 149-163.

9. Geller W. Acidic Pit Lakes: The legacy of coal and metal surface mines / W. Geller, M. Schultze, R. Kleinmann, C. Wolkersdorfer eds. – New York: Springe, 2013. – 512 p.

10. Gammons C. H. Geochemistry, water balance, and stable isotopes of a "clean" pit lake at an abandoned tungsten mine, Montana, USA. / C. H. Gammons, B. L. Pape, S. R. Parker et al. // Applied Geochemistry. – 2013. – № 36. – P. 57-69.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vladimirov A. G. Litievye mestorozhdeniya spodumenovyh mestorozhdenij Sibiri [Lithium deposits of spodumene deposits of Siberia] / A. G. Vladimirov, N. Z. Lyahov, V. E. Zagorskij, V. M. Makagon i dr. // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya [Chemistry for sustainable development]. – 2012. – Vol. 20. – № 1. – P. 3-20. [in Russian]

2. Gajvoronskij B.A. Sherlovogorskoe mestorozhdenie. Mestorozhdeniya Zabajkal'ya (v 2 knigah) [Sherlovogorskoe field. Deposits of Transbaikalia (in two books)] / B.A. Gajvoronskij. – Moscow: Geoinformmark, 1995. – Vol. I. – Book I. – P. 130-133. [in Russian]

3. Grebennikov A. M. Spokojninskoe vol'framovoe mestorozhdenie. Mestorozhdeniya Zabajkal'ya (v 2 knigah) [Pokojninsko tungsten Deposit. Deposits of Transbaikalia (in two books)] / A. M. Grebennikov. – Moscow: Geoinformmark, 1995. – Vol. I. – Book I. – P.106-116. [in Russian]

4. Zamana L. V. Geohimiya drenaznyh vod gornorudnyh ob"ektov vol'framovogo mestorozhdeniya Bom-Gorhon (Zabajkal'e) [Geochemistry of drainage waters of mining objects of tungsten deposit Bom-Gorkhon (Transbaikalia)] / L. V. Zamana, L. P. Chechel' // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya [Chemistry for sustainable development]. – 2014. – Vol. 22. – № 3. – P. 267-273. [in Russian]

5. Ontoev D. O. Stadijnost' mineralizacii i zonal'nost' mestorozhdenij Zabajkal'ya [Stages of mineralization and zoning of deposits of Transbaikalia] / D. O. Ontoev. – Moscow: Nauka, 1974. – 244 p. [in Russian]

6. Sizyh V. I. Bom-Gorhonskoe vol'framovoe mestorozhdenie. Mestorozhdeniya Zabajkal'ya [Bom Gorodskoe tungsten deposit. Deposits of Transbaikalia (in two books)] – Moscow: Geoinformmark, 1995. – Vol. I. – Book I. – P. 134-138. [in Russian]

7. Filippova K. A. Himicheskiy sostav vod kar'ernyh ozer YUzhnogo Urala [Chemical composition of the waters of the southern Ural lakes] / K. A. Filippova, P. G. Aminov, V. N. Udachin // Voda: himiya i ehkologiya [Water: chemistry and ecology.]. – 2013. – № 7. – P. 3-8. [in Russian]

8. Hodanovich P. Yu. Molibdeno-vol'framovye mestorozhdeniya Dzhidinskogo rudnogo polya. Mestorozhdeniya Zabajkal'ya (v 2 knigah) [Molybdenum-tungsten deposits of ore field Dzhidinskoe. Deposits of Transbaikalia (in two books)] – Moscow: Geoinformmark, 1995. – Vol. I. – Book I. – P. 149-163. [in Russian]

9. Geller W. Acidic Pit Lakes: The legacy of coal and metal surface mines / W. Geller, M. Schultze, R. Kleinmann, C. Wolkersdorfer eds. – New York: Springe, 2013. – 512 p.

10. Gammons C. H. Geochemistry, water balance, and stable isotopes of a "clean" pit lake at an abandoned tungsten mine, Montana, USA. / C. H. Gammons, B. L. Pape, S. R. Parker et al. // Applied Geochemistry. – 2013. – № 36. – P. 57-69.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.020>

ТИПОМОРФНЫЕ ПРИЗНАКИ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАРАЖЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Научная статья

Шумилова Т.Г.*

ORCID: 0000-0002-1772-3606,

Институт геологии Коми научного центра Уральского отделения Российской Академии Наук, Сыктывкар, Россия

* Корреспондирующий автор (shumilova[at]geo.komisc.ru)

Аннотация

Широкое распространение использования синтетических алмазов в качестве абразивного материала и появление на рынке ювелирных сортов синтетических алмазов является серьезной проблемой сегодняшнего дня ввиду реальной возможности изменения ценовой политики на алмазном рынке и риска заражения природных объектов при поисках новых коренных месторождений алмазов. В данной работе рассматриваются основные типоморфные признаки наиболее широко распространенных марок синтетических алмазов и предлагаются критерии, позволяющие выявить достоверность находок коренных алмазов известных и новых генетических типов и исключить возможность нецелесообразного расходования средств на изучение и разведку недостоверных объектов.

Ключевые слова: синтетические алмазы, природные алмазы, типоморфизм, техногенное заражение, критерии достоверности природных алмазов.

TYPMORPHIC FEATURES OF SYNTHETIC DIAMONDS AND POSSIBLE WAYS OF TECHNOGENIC CONTAMINATION OF NATURAL OBJECTS

Reserach article

Shumilova T.G.*

ORCID: 0000-0002-1772-3606,

Institute of Geology, Komi Scientific Center, Ural Branch of RAS, Syktyvkar, Russia

* Corresponding author (shumilova[at]geo.komisc.ru)

Abstract

Widespread use of synthetic diamonds as an abrasive material and the appearance of synthetic diamonds on the market of jewelry is currently a serious problem as there is a possibility of changing the pricing policy on the diamond market and the risk of contamination of natural objects when looking for new primary diamond deposits. This paper discusses the main typomorphic features of the most widespread brands of synthetic diamonds and proposes criteria to identify the authenticity of primary diamonds of known and new genetic types and eliminate the possibility of inappropriate expenditure of funds for the study and exploration of unreliable objects.

Keywords: synthetic diamonds, natural diamonds, typo-morphism, man-made contamination, criteria for the reliability of natural diamonds.

Алмаз является одним из особенных минеральных видов, как минерал с физическими свойствами, определяющими его как один из царствующих в ювелирном деле и уникальный для обширного спектра технических приложений. Достаточно малые содержания алмаза в природе определяют его как минерал супер-аксессуарного класса, имеющий высокую себестоимость и малые, реально возможные, объемы производства, не обеспечивающие всей потребности человечества за счет исключительно природных источников. Данное обстоятельство, начиная с середины XX века, привело к стремительному развитию индустрии производства искусственных алмазов, первоначально мелких алмазов технических марок, затем и крупных кристаллов ювелирного качества.

Алмазный рынок и области использования алмазного сырья в технических приложениях постоянно расширяются, что требует постоянного развития технологий производства для получения алмазов с заданными свойствами, повышающими эффективность их использования в высокотехнологичных отраслях, связанных как с электроникой и разного рода оптическими приложениями, так и большими объемами абразивного материала, все чаще используемого в больших объемах в строительных технологиях и геологоразведочных работах. Годовое потребление алмазов в мире составляет порядка 5 млрд карат [1], не много не мало, но синтез алмаза в настоящее время достигает порядка 1000 тонн. Сегодня любой желающий может приобрести через интернет желаемую марку алмазов любой крупности.

Выше перечисленные обстоятельства обуславливают и проблему появления синтетики на рынке ювелирных синтетических алмазов [1], что может вносить существенный сдвиг ценовой политики и желание подмены природных кристаллов продуктами синтеза, имеющих себестоимость на 30-70% ниже природных.

Особое значение в техническом секторе придается производству алмазосодержащего инструмента для геологоразведочных работ, в которых требование к износостойкости алмазного бурового инструмента во многом определяет себестоимость бурения и, следовательно, работ в целом. В связи с развитием технологий производства синтетических алмазов и алмазосодержащего инструмента типоморфизм синтетических алмазов существенно расширяется, что необходимо учитывать при сравнении с природными алмазами с целью исключения всевозможных факторов заражения природных объектов при их исследовании.

Проблема, связанная с возможностью заражения природных объектов техническими синтетическими алмазами при их геологическом изучении, является давней и наиболее острой для геологов. Случайно обнаруженные непрофильными специалистами алмазы в нетрадиционных объектах могут выдаваться за природные, что часто несет

за собой риск недостоверных открытий. При этом надо отметить, что, принимая во внимание многообразие механизмов кристаллизации алмаза [2], вероятность обнаружения принципиально новых коренных алмазных геологических объектов действительно существует, и здесь вопрос заключается в качестве находок и необходимости полного исключения возможности случайного или намеренного заражения исследуемых проб. Особой тщательности проверки на достоверность природного генезиса требуют обнаруженные алмазы, имеющие типоморфные признаки синтетических продуктов, и тем более несущие целый комплекс таких особенностей. Этому вопросу, прежде всего, должны уделять особое внимание сами авторы находок еще до их обнаружения, а при опубликовании необходимо приводить убедительные фактурные данные, доказывающие достоверность обнаружения новых алмазных объектов.

Типоморфные признаки синтетических алмазов

В настоящее время основными методами массового производства технических алмазов являются технологии высокобарного высокотемпературного синтеза в расплаве металлов (НРНТ), синтез из газовой фазы (CVD) и детонационный синтез наноалмазов (ДНА).

Здесь мы затрагиваем проблему возможности заражения природных объектов широко используемыми техническими алмазами по НРНТ технологии, имеющими более широкое распространение и огромные объемы использования. Данные алмазы получают диффузионным механизмом из графита в расплаве металлов в области стабильности алмаза. Синтез алмаза в таких условиях производится, как правило, при температуре около 1400-1700°C и давлении порядка 50-70 кБар.

Наиболее важными типоморфными признаками синтетических алмазов абразивных марок НРНТ типа являются:

- 1) преобладающий куб-октаэдрический габитус кристаллов; но следует иметь в виду, что в товарных продуктах также широко используется алмазная крошка;
- 2) преобладающая зелено-желтая окраска (допускается при этом серая окраска, почти бесцветные и черные кристаллы);
- 3) преобладание монокристаллов с явными признаками диффузионного роста;
- 4) включения и примеси основных металлов расплава – Fe, Ni, Mn, Co. Однако, следует отметить, что в последнее время производители выпускают все больше марок алмазов с минимальным количеством включений для инструментов с требованием к длительной продолжительности использования. Такие марки характеризуются отсутствием видимых включений.
- 5) примесь парамагнитных одиночных атомов азота в структуре алмаза;
- 6) легкий изотопный состав углерода, соответствующий использованному графитовому прекурзору;
- 7) широчайший спектр примесей различных элементов, используемых конкретными производителями для регулирования качества производимых алмазов.

Последний пункт из выше указанных требует особого внимания, так как марки и сорта алмазов разных производителей могут существенно отличаться друг от друга именно по элементам-примесям в зависимости от желаемого качества синтезируемых кристаллов. В частности, металлы и металлоиды – Ti, Al, Si, Mg, Ca, Sr, As, Zr, и др. добавляются в шихту для нейтрализации кислорода путем образования с ним соединений [3], а также других элементов, в частности Au и Pd, например, для придания нитевидной формы кристаллам алмазов. Добавленные в систему Mg, Ca, Sr, переходят в карбиды и могут связывать часть азота в цианиды, тем самым уменьшая концентрацию примесного азота в алмазе.

Известен целый ряд других элементов промоторов, позволяющих регулировать качество синтезируемых алмазов, включая их прочностные характеристики, морфологию и крупность кристаллов.

Экспериментально было показано, что «в искусственные алмазы могут быть введены практически все элементы, которые встречаются в виде примесей в природных алмазах» [3, С. 125]; «...последовательно применяя методы синтеза и перекристаллизации, легирование ростовой системы, отжиг при высокой температуре, травление и т. д., можно получить аналоги практически любого типа природных алмазов» [3, С. 163]. При использовании отжига искусственных алмазов в технологическом процессе получают кристаллы, которые практически не отличаются от природных [4].

Загрязнение технических алмазов при эксплуатации

Кроме описанных выше типоморфных признаков, связанных непосредственно с процессом синтеза алмазов, загрязнение их разными компонентами может происходить и в ходе их модифицирования для разных приложений, производства алмазосодержащего инструмента и эксплуатации. Рассмотрим некоторые из наиболее очевидных факторов.

При производстве синтетических продуктов также широко используется напыление разными металлами для лучшей связки с металлической матрицей алмазного инструмента.

Непосредственно буровой алмазный инструмент, как правило, состоит из двух технологических частей – стального корпуса и алмазосодержащей матрицы, последняя предназначена для передачи нагрузки дополнительного механического разрушения горной породы. При производстве алмазного абразивного инструмента чаще всего используются сплавы на основе латуни, но с целью повышения эффективности его использования и увеличения срока службы сменных частей камнерезного оборудования могут быть использованы разнообразные специальные твердосплавные матрицы, содержащие соответствующие легирующие добавки. Используются порошковые технологии с формированием алмазосодержащей матрицы посредством пропитки или горячего прессования, известные еще с 70-х годов XX века [5]. Технологически эффективными являются матрицы WC-Ti-Co состава, содержащие наночастицы SiO₂, и WC-Ti-Cu система [6, 7]. При формовании и прессовании твердосплавных порошковых смесей используются растворы пластификаторов - каучука, полиэтиленгликоля, поливинилацетата, парафина, стеарата цинка и др. [6]. Для равномерного распределения связующей массы суспензия обрабатывается ультразвуком. Органические вещества пластификатора на последующих стадиях процесса претерпевают разложение, испарение и удаление

образовавшихся паров, в то же время наночастицы оседают на поверхности зёрен твердосплавного порошка, заполняя образовавшиеся поры и полости. Для обеспечения большей связки используются также латунь, медно-никелевые сплавы, смеси WC, Sn, Ni, Cu. Перед установкой в пресс-форму корпуса инструмента с целью прочного соединения с алмазосодержащей матрицей его обрабатывают флюсом, состоящим из хлористого цинка, хлористого олова и хлорной меди [8]. Непосредственно при эксплуатации в скважинах используются многокомпонентные буровые растворы, содержащие в частности утяжелители на основе мела, барита и гематита, пенообразователи (сульфанол, лигносульфанат) и другие.

Таким образом, при эксплуатации алмазного инструмента, алмазы, содержащиеся в матрице, могут быть загрязнены с поверхности широким спектром веществ, как из бурового инструмента, так и бурового раствора, а также продуктов их взаимодействия при высокой температуре трения, в том числе со шламовыми продуктами истираемой горной породы.

Возможные причины и способы заражения

Анализируя возможные причины и способы заражения, следует учитывать комплексность технологий получения, обработки и эксплуатации алмазов. Следует обратить особое внимание на корректность поисков, многообразие и возможность комплексного характера загрязнения самих алмазов, вызывающего сложность выявления продуктов заражения. Особым случаем заражения является возможность случайного или намеренного вброса синтетических алмазов в исследуемый материал на всех стадиях – от опробования, хранения, перевозок и пробоподготовки до конечного исследования.

Чаще всего геологи при доказательстве природного происхождения находок алмазов уповают на необычные минеральные включения, не учитывая современное состояние области лабораторного и промышленного синтеза алмазов и алмазообразующего инструмента.

Нами проведен анализ обширной известной научной литературы по экспериментальному моделированию природного алмазообразования и сведений специфике различных промышленных марок синтетических алмазов, имеющихся на современном рынке, в частности от таких производителей и торговых компаний как *Changsha Xinye Industrial Co., Ltd*, *Ceratonia*, *Scio Diamond Technology Corporation*, *Alibaba* и др., а также ряд патентованных технологий [3–8 и многие другие]. Здесь мы кратко формулируем возможные источники различных включений внутри кристаллов и на их поверхности за счет загрязнения синтетических НРНТ алмазов в процессе синтеза, извлечения из спеков, получения и эксплуатации алмазного инструмента и их комбинации:

1) в синтетических алмазах НРНТ технологий могут быть использованы практически любые металлы и металлоиды, которые могут быть в качестве включений внутри алмазов и в виде реликтовых примазок на поверхности;

2) состав включений в алмазе также определяется степенью чистоты стартового графита. В случае использования природного графита его зольная часть (SiO_2 , Al_2O_3 , многочисленные естественные примеси в виде широкого перечня металлов и TR) непременно попадает в состав системы синтеза. Изотопия графитового прекурсора определяет, в том числе, и значение изотопного состава углерода в алмазном продукте;

3) существует возможность образования новых соединений элементов примесей между собой в ходе кристаллизации в системе синтеза, при химическом извлечении алмазов и при очистке продуктов синтеза;

4) нельзя исключить возможное совместное нахождение на поверхности алмазов ростовых примесей и реликтов камнерезного инструмента, продуктов их взаимодействия с химическими реагентами обогащения и буровых растворов, а также взаимодействия с минеральными веществами разрушаемой горной породы при возможном совместном нахождении выше перечисленных источников загрязнения в исследуемом алмазе. Примеси внутри алмазов и на поверхности могут быть представлены как металлическими частицами и сплавами, так и карбидами, оксидами, боратами, сульфатами, карбонатами, сульфидами, алюмосиликатами, органическими соединениями и т.д.

Для исключения возможности заражения природных объектов синтетическими алмазами **необходимо исключить следующие факторы:**

1) наличие комплекса наиболее характерных типоморфных признаков технических алмазов, широко распространенных в использовании (случаи выявления целого комплекса таких признаков несут наибольшую опасность заражения).

2) хорошая сортировка алмазов по гранулометрическому составу (синтетические марки алмазов абразивного ряда, как правило, характеризуются в первую очередь определенным преобладающим классом крупности);

3) отсутствие детальных сведений о проведенном опробовании и геологической привязки;

4) использование алмазосодержащего инструмента на всех стадиях работ – опробование, пробоподготовка, извлечение, подготовка к аналитическим работам (в том числе, алмазы бурового инструмента в случае бурения с использованием алмазного бурения, использование алмазных порошков и паст при пробоподготовке, случайное заражение синтетическими алмазами при наличии их в камнерезном цехе; SiC из твердосплавных частей измельчительного оборудования). В случае же применения алмазосодержащего инструмента следует произвести детальный сравнительный анализ алмазов из инструмента и алмазов находки с целью исключения возможности совпадения их типоморфных признаков.

Обсуждение

Также необходимо отметить важность серьезного отношения к появляющимся сообщениям о находках новых алмазных объектов, особо часто появляющихся в последние годы. Перечислим некоторые из них – вулканогенно-эруптивные алмазы вулкана Толбачик на Камчатке [9], [10], [11], алмазы офиолитов Китая и Полярного Урала [12], [13], [14]), алмазы флюидизаторов Енисейского кряжа [15]. Данные находки, представляемые в качестве 3-х новых разных генетических типов алмазов, характеризуются аналогичными типоморфными признаками алмазов, в полной мере соответствующими НРНТ синтетическим алмазам и, очевидно, являются результатом заражения. Небольшие

отличия, приводимые в данных публикациях, связанные с примесным составом и включениями, объясняются выше описанными факторами. По меньшей мере, данные находки нельзя считать достоверно установленными.

Для корректного выявления новых генетических типов алмазов необходимо **наличие существенных специфических типоморфных признаков нового объекта**. Для этого необходимо сравнить алмазы находки со всеми известными типами искусственных алмазов и продемонстрировать соответствующие доказательства отличия. Особые случаи достоверности могут быть связаны с находками алмазов в породе “in situ” на свежих сколах и внутри породы, без признаков возможного механического внедрения.

Признание открытия нового алмазоносного объекта возможно только после воспроизведения находки путем опробования и изучения алмазов с участием независимых профильных специалистов на всех этапах, при условии приоритета открытия за авторами находки, с соблюдением всех мер предосторожности для полного исключения возможности заражения, в том числе путями, описанными выше.

Заключение

В данной работе рассмотрена проблема заражения широко распространенными марками НРНТ синтетических алмазов и предложены критерии, позволяющие избежать ошибки при обнаружении природных источников алмазов вследствие различных возможностей техногенного заражения.

Принимая во внимание выше указанные меры предосторожности, следует также помнить и о различных вариантах возможного заражения природными алмазами, а также синтетическими алмазами, полученными с применением CVD технологий, детонационного синтеза и других менее распространенных методов синтеза алмаза.

В случае техногенного источника с использованием алмазодержащих инструментов и материалов на основе синтетических НРНТ алмазов, выявление заражения, как правило, не составляет большой сложности, но требует привлечения специалистов, являющихся экспертами в соответствующей области, имеющими понимание, как природных алмазов, так и многообразия искусственных алмазов.

Наиболее трудными при установлении фактов заражения могут быть случаи намеренного вброса алмазов с целью привлечения внимания к геологическим объектам, получения финансирования, повышения цитируемости публикаций и т.д. В этом случае алмазы могут быть представлены любыми разновидностями, включая природные кристаллы, и могут быть внедрены на любом этапе – от опробования до аналитических работ, включая все стадии пробоподготовки, а также хранения каменного материала и готовых образцов для исследований.

Область исследования и производства алмазов настолько широка, а количество публикаций и патентов настолько велико, что, к сожалению, даже среди алмазников встречается недостаточно полное одновременное понимание существующего многообразия и природных, и техногенных алмазов. Поэтому, находки алмазов в нетрадиционных природных объектах, которые не прошли проверки на их достоверность, включая воспроизводимость находок, независимыми экспертами-алмазниками, не должны быть поспешно расценены, поскольку это несет за собой последствия необоснованных финансовых затрат на весьма затратные поисковые и геологоразведочные работы и дискриминацию самой науки.

Финансирование

Статья подготовлена в рамках выполнения работ по теме НИР ГР № АААА–17–117121270036–7.

Funding

The article was prepared as part of the work on the subject of R&D GR No. АААА – 17–117121270036–7.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Шумилова Т. Г. Алмаз в природе и промышленном синтезе. Современные достижения и перспективы / Т. Г. Шумилова // Материалы XVI Геологического Съезда РК «Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России». – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. – Т. 2. – С. 355–358.
2. Шумилова Т. Г. Минералогия самородного углерода / Т. Г. Шумилова. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. – 318 с.
3. Чепуров А. И. Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования / А. И. Чепуров, И. И. Федоров, В. М. Сонин; науч. ред. А. И. Чепуров, А. Г. Кирдяшкин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 196 с.
4. Бокий Г. Б. Природные и синтетические алмазы / Г. Б. Бокий, Г. Н. Безруков, Ю. А. Клюев и др. – М.: Наука, 1986. – 221 с.
5. Бакуль В. Н. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента: учебное пособие / В. Н. Бакуль. – М.: Машиностроение, 1975. – 269 с.
6. Шарин П. П. Новый метод приготовления твердосплавной шихты с упорядоченными наночастицами для изготовления матриц алмазных инструментов / П. П. Шарин // Вестник СВФУ. – 2016. – №1 (51). – С. 78–87.
7. Исонкин А. М. Влияние металлизации алмазов на структурообразование и прочность композиционного материала WC-Co-Cu / А. М. Исонкин, А. М. Дуда, Н. Н. Белявина и др. // Наукові праці ДонНТУю. Серія «Гірничо-геологічна». – 2013. – № 2(19). – С. 146–154.
8. АС СССР № 1469746 В 24, В 22. Способ изготовления алмазного инструмента и металлическая связка для алмазного инструмента / Р. И. Эльбаева, Л. А. Никишкина. Оpubл. 1.12.1988.
9. Аникин Л. П. Находка алмаза в лавах Толбачинского извержения 2012–2013 гг. / Л. П. Аникин, А. В. Сокоренко, А. А. Овсянников и др. // Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. – С. 20–23.

10. Карпов Г. А. Алмазы и сопутствующие минералы в продуктах трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. / Г. А. Карпов, В. И. Силаев, Л. П. Аникин и др. // Вулканология и сейсмология. – 2014. – № 6. – С. 3–20.
11. Силаев В. И. Алмазы в продуктах трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг., Камчатка / В. И. Силаев, Г. А. Карпов, В. И. Ракин и др. // Вестник Пермского университета. Геология. – 2015. – Вып. 1 (26). – С. 6–22.
12. Xiong F. Diamonds and other exotic minerals recovered from peridotites of the Dangqiong ophiolite, Western Yarlung-Zangbo Suture Zone, Tibet / F. Xiong, J. Yang, P. T. Robinson et al. // *Geologica Sinica (English editing)*. – 2016. – V. 90. – № 2. – P. 425–239.
13. Yang J. S. Diamonds in Ophiolites / J. S. Yang, P. T. Robinson, Y. Dilek // *ELEMENTS*. – 2014. – V. 10. – P. 127–130.
14. Yang J. Diamonds, native elements and metal alloys from chromitites of the Ray-Iz ophiolite of the Polar Urals / J. Yang, F. Meng, X. Xu et al. // *Gondwana Research*. – 2015. – Vol. 27(2). – P. 459–485.
15. Силаев В. И. Туффизитовые алмазы на Енисейском кряже / В. И. Силаев, И. А. Кузьмин, В. М. Колямкин и др. // Вестник Пермского университета. Геология. – 2017. – Т. 16. – № 4. – С. 304–329.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shumilova T. G. Almaz v prirode i promyshlennom sinteze. Sovremennyye dostizheniya i perspektivy [Diamond in nature and industrial synthesis. Modern achievements and perspectives] / T. G. Shumilova // *Materialy XVI Geologicheskogo S'yezda RK «Geologiya i mineral'nyye resursy Yevropeyskogo Severo-Vostoka Rossii» [Proceedings of XIV Geological Congress of the Komi Republic "Geology and mineral resources of the European North-East of Russia"]*. – Syktyvkar: IG Komi NTS UrO RAN, 2014. – Т. 2. – P. 355–358. [in Russian]
2. Shumilova T. G. Mineralogiya samorodnogo ugleroda [Mineralogy of native carbon] / T. G. Shumilova. – Yekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 2003. – 318 p. [in Russian]
3. Chepurov A. I. Eksperimental'noye modelirovaniye protsessov almazobrazovaniya [Experimental modeling of diamond formation processes] / A. I. Chepurov, I. I. Fedorov, V. M. Sonin; nauch. red. A. I. Chepurov, A. G. Kiryashkin. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, NITS OIGGM, 1997. – 196 p. [in Russian]
4. Bokiy G. B. Prirodnyye i sinteticheskiye almazy [Natural and synthetic diamonds] / G. B. Bokiy, G. N. Bezrukov, YU. A. Klyuyev and others. – M.: Nauka, 1986. – 221 p.
5. Bakul' V. N. Osnovy proyektirovaniya i tekhnologiya izgotovleniya abrazivnogo i almaznogo instrumenta: uchebnoye posobiye [Basis of projecting and manufacturing technology of abrasive and diamond tools: tutorial book] / V. N. Bakul'. – M.: Mashinostroyeniye, 1975. – 269 p. [in Russian]
6. Sharin P. P. Novyy metod prigotovleniya tverdosplavnoy shikhty s uporyadochennymi nanochastitsami dlya izgotovleniya matrits almaznykh instrumentov [New method of preparing of carbide charge with ordered nanoparticles for production of matrices for diamond tools] / P. P. Sharin // *Vestnik SVFU [Vestnik of North-Eastern Federal University]*. – 2016. – №1 (51). – P. 78–87. [in Russian]
7. Isonkin A. M. Vliyaniye metallizatsii almazov na strukturoobrazovaniye i prochnost' kompozitsionnogo materiala WC-Co-Cu [Influence of diamond metallization on the structure formation and strength of WC-Co-Cu composite material] / A. M. Isonkin, A. M. Duda, N. N. Belyavina and others // *Naukovi pratsi DonNTUyu [Scientific proceedings of DonNTU]. Seriya «Girnicho-geologichna»*. – 2013. – № 2(19). – P. 146–154. [in Russian]
8. AS SSSR № 1469746 V 24, V 22. Sposob izgotovleniya almaznogo instrumenta i metallicheskaya svyazka dlya almaznogo instrumenta [A method of diamond tools production and metal matrix for diamond tools] / R. I. El'bayeva, L. A. Nikishkina. Opubl. 1.12.1988. [in Russian]
9. Anikin L. P. Nakhodka almaza v lavakh Tolbachinskogo izverzheniya 2012–2013 gg. [Find of diamond in the lavas of the 2012–2013 Tolbachik eruption] / L. P. Anikin, A. V. Sokorenko, A. A. Ovsyannikov and others // *Materialy konferentsii, posvyashchonnoy Dnyu vulkanologa «Vulkanizm i svyazannyye s nim protsessy» [Proceedings of the conference dedicated to the Day of the volcanologist "Volcanism and related processes"]*. – Petropavlovsk-Kamchatskiy: IViS DVO RAN, 2013. – P. 20–23. [in Russian]
10. Karpov G. A. Almazy i soputstvuyushchiye mineraly v produktakh treshchinnogo Tolbachinskogo izverzheniya 2012–2013 gg. [Diamonds and associated minerals in the products of the 2012–2013 fissure of the Tolbachik eruption] / G. A. Karpov, V. I. Silayev, L. P. Anikin and others // *Vulkanologiya i seysmologiya [Volcanology and seismology]*. – 2014. – № 6. – P. 3–20. [in Russian]
11. Silayev V. I. Almazy v produktakh treshchinnogo Tolbachinskogo izverzheniya 2012–2013 gg., Kamchatka [Diamonds in the 2012–2013 Tolbachik Fissure Eruption, Kamchatka] / V. I. Silayev, G. A. Karpov, V. I. Rakin and others // *Vestnik Permskogo universiteta [Bulletin of Perm University. Geology]*. – 2015. – Vyp. 1 (26). – P. 6–22. [in Russian]
12. Xiong F. Diamonds and other exotic minerals recovered from peridotites of the Dangqiong ophiolite, Western Yarlung-Zangbo Suture Zone, Tibet / F. Xiong, J. Yang, P. T. Robinson et al. // *Geologica Sinica (English editing)*. – 2016. – V. 90. – № 2. – P. 425–239.
13. Yang J. S. Diamonds in Ophiolites / J. S. Yang, P. T. Robinson, Y. Dilek // *ELEMENTS*. – 2014. – V. 10. – P. 127–130.
14. Yang J. Diamonds, native elements and metal alloys from chromitites of the Ray-Iz ophiolite of the Polar Urals / J. Yang, F. Meng, X. Xu et al. // *Gondwana Research*. – 2015. – Vol. 27(2). – P. 459–485.
15. Silayev V. I. Tuffizitovyye almazy na Yeniseyskom kryazhe [Tuffisite diamonds at the Yenisei Ridge] / V. I. Silayev, I. A. Kuz'min, V. M. Kolyamkin and others // *Vestnik Permskogo universiteta, Geologiya [Bulletin of Perm University. Geology]*. – 2017. – Т. 16. – № 4. – P. 304–329. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.021>**НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СОХРАНЕНИЯ КОЛЛЕКЦИИ И ОСОБЕННОСТИ АГРОТЕХНИКИ ТЮЛЬПАНОВ БЕЗ ЕЖЕГОДНОЙ ВЫКОПКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЛЕТНЕГО ОПЫТА**

Научная статья

Данилина Н.Н.^{1,*}, Семенова М.В.², Енина О.Л.³¹ ORCID: 0000-0002-4341-1761;² ORCID: 0000-0002-4627-0802;³ ORCID: 0000-0002-8971-6384;^{1,2,3} Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН

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

Аннотация

Изучали возможности культивирования без выкопки различных по происхождению сортов и видов тюльпанов. Исследовали следующие сорта и виды: три сорта из садовой группы Дарвиновы гибриды - Yellow Dover, Beauty of Oxford, Beauty of Apeldoorn; сорт Princeps из группы Тюльпаны Фостера; сорт Little Princess, представляющий собой гибрид *T. hageri* Heldrelch и *T. aucheriana* Baker; тюльпан поздний *T. tarda* Stapf; тюльпан Эйхлера *T. eichleri* Regel., тюльпан Введенского *T. vvedenskyi* Z. Botsch. В течение трех лет проводили учет количества цветущих и ювенильных растений, их биометрические характеристики, определяли количество и массу луковиц, фиксировали выпад растений от болезней и вредителей. Установлено, что для включения тюльпанов в состав сборных многолетних цветников необходимо обращать внимание на сортовые и видовые особенности. Предпочтение должны иметь сорта, менее чувствительные к условиям сухого покоя (влажность и температура в период закладки цветка), устойчивые к болезням, со средним коэффициентом биологического размножения и с хорошей энергией роста ювенильных луковиц. Для равномерности цветения в каждый год вегетации необходимо кроме крупных цветущих луковиц использовать при посадке средние и мелкие луковицы (или счетную детку). Рекомендуется использовать для долговременных цветников без выкопки следующие виды и сорта: тюльпан поздний - *T. tarda* Stapf; тюльпан Введенского - *T. vvedenskyi* Z Botsch., гибрид Little Princess и сорт Beauty of Oxford.

Ключевые слова: Tulipa, тюльпан, агротехника, луковицы, вегетативное размножение, декоративные качества, выкопка, многолетние цветники.

NEW TECHNOLOGY OF PRESERVING THE COLLECTION AND MAIN FEATURES OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY OF TULIPS WITHOUT ANNUAL DIGGING BASED ON MANY YEARS' EXPERIENCE

Research article

Danilina N.N.^{1,*}, Semenova M.V.², Enina O.L.³¹ ORCID: 0000-0002-4341-1761;² ORCID: 0000-0002-4627-0802;³ ORCID: 0000-0002-8971-6384;^{1,2,3} Main Botanical Gardens named after N.V. Tsitsin RAS

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

Abstract

We studied the possibility of cultivating the varieties and types of tulips of different origins without digging. The following varieties and types were considered: Three varieties from the garden group of Darwin hybrids - Yellow Dover, Beauty of Oxford, Beauty of Apeldoorn; Princeps from the Foster Tulips group; Little Princess, a hybrid of *T. hageri* Heldrelch and *T. aucheriana* Baker; late tulip *T. tarda* Stapf; tulip of Eichler *T. eichleri* Regel., tulip of Vvedensky *T. vvedenskyi* Z. Botsch. We have been taking into account the number of flowering and juvenile plants, their biometric characteristics, determined the number and mass of bulbs, recorded the attack of plants from diseases and pests for three years. It has been established that for the inclusion of tulips in the composition of combined perennial flower beds it is necessary to pay attention to the varietal and specific features. Preference should be given to varieties that are less sensitive to dry dormancy conditions (humidity and temperature during flowering), resistant to diseases, with an average coefficient of biological reproduction and with good growth energy of juvenile bulbs. For flowering uniformity in each year of the growing season, it is necessary, to use medium and small bulbs (or counting ratoon) in addition to large flowering bulbs. It is recommended to use the following types and varieties for long-term flower beds without digging: Late tulip - *T. tarda* Stapf; Wedenden Tulip - *T. vvedenskyi* Z Botsch., Little Princess hybrid and variety of Beauty of Oxford.

Keywords: Tulipa, tulip, agricultural technology, bulbs, vegetative propagation, decorative qualities, digging, perennial flower beds.

Введение

Агротехника выращивания тюльпанов разработана крупными производителями луковиц для ежегодного получения товарной продукции. Для снижения затрат при выращивании механизированы такие процессы как посадка, уход, декапитация цветков, выкопка, сушка и сортировка. Принято менее затратное разделение труда между фермерами, выращивающими луковицы, и фирмами, обеспечивающими сушку, сортировку и продажу готовой продукции на аукционе. Полученные крупные цветущие луковицы являются продуктом одноразового использования

для выгонки, срезки и озеленения. Для размножения используют молодые, быстрорастущие дочерние луковицы и крупную детку. Температурный режим в период сушки луковиц обеспечивает оптимальные условия для закладки цветка. Ежегодная выкопка и севооборот обеспечивают хорошие физические показатели почвы, способствует повышению плодородия, препятствует распространению болезней, вредителей и сорняков. Для ухода за городскими стационарными цветниками и коллекциями тюльпанов в ботанических садах используется в основном ручной труд, где максимальная механизация – это использование ручных самодвижущихся культиваторов.

В условиях недостатка материальных ресурсов становится затруднительным использование традиционной технологии выращивания тюльпанов с обязательной ежегодной выкопкой. В то же время, любое изменение агротехники тюльпанов, в частности выращивание без ежегодной выкопки луковиц оказывает влияние на особенности формирования генеративных побегов, их цветение, рост, развитие и фитосанитарное состояние. В литературе преобладают рекомендации о необходимости ежегодной выкопки [1]. В то же время, есть данные об успешном выращивании видов тюльпанов без выкопки в течение ряда лет [2], [6]. Для сортов тюльпанов, в основном, имеются сведения об отрицательном влиянии выращивания в течение нескольких лет без выкапывания. Отмечают такие проблемы как увеличение поражаемости растений грибной инфекцией [3], уменьшение количества цветущих растений и декоративности растений [4], [14], ухудшение зимостойкости [12], снижение количества и качества урожая луковиц [15], но трёхлетнее выращивание тюльпанов без ежегодной выкопки не оказывало влияния на прохождение фенологических фаз [13].

В Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН был заложен опыт с целью выяснения возможности включения различных по происхождению сортов и видов тюльпанов в сборные цветники из многолетних растений и перевода коллекции тюльпанов на новую агротехнику выращивания луковиц. В данном исследовании были поставлены задачи: определение стабильности декоративных признаков, устойчивости к болезням и вредителям, пластичности различных сортов и видов тюльпана в условиях неблагоприятных погодных факторов при выращивании в течение трех лет без выкопки, выявление возникающих проблем и поиск способов их преодоления.

Методика исследований

Опыт проводили в 2009-2013 гг. на коллекции тюльпанов отдела декоративных растений ГБС РАН. Далее, в 2013-2016 гг. были использованы полученные данные для создания многолетнего цветника из тюльпанов на экспозиции отдела декоративных растений ГБС РАН. Изучали следующие сортообразцы: три сорта из садовой группы Дарвиновы гибриды - Yellow Dover, Beauty of Oxford, Beauty of Apeldoorn; сорт Princeps из группы Тюльпаны Фостера; сорт Little Princess, представляющий собой гибрид *T. hageri* Heldrelch и *T. aucheriana* Baker; тюльпан поздний *T. tarda* Stapf; тюльпан Эйхлера *T. eichleri* Regel., тюльпан Введенского *T. vvedenskyi* Z. Botsch. Все луковицы были распределены на разборы по размеру и массе и высажены в грунт 09.10.09 г. В течение трех лет проводили учет количества цветущих и ювенильных растений, их биометрические характеристики, определяли количество и массу луковиц, фиксировали выпад растений от болезней и вредителей. Во время проведения опыта луковицы выращивали на естественном природно-климатическом фоне без искусственного полива, химические обработки от болезней и вредителей не проводили, минеральные удобрения не вносили. Для преодоления различий в стандартах оценки луковиц в зависимости от их размера (видовые образцы, Дарвиновы гибриды и другие сорта) был принят единый подход к оценке качества луковиц различных классов по 4 разборам: луковицы 1 и 2 разбора (Л-1, Л-2) и детка 1 и 2 разбора (Д – 1, Д – 2).

Результаты и их обсуждение

Анализ урожая луковиц различных сортов был проведен через три года выращивания. Процент каждого разбора в полученном общем урожае луковиц по вариантам представлен на рис. 1 и 2. Данные по количеству и массе луковиц в начале и в конце эксперимента приведены в табл. 1. Динамика массы и диаметра луковиц в урожае тюльпанов были подробно описаны ранее [5].

Луковицы тюльпанов 1 разбора - наиболее крупные по величине, являются лучшим материалом для всех видов использования (в цветниках, для получения срезки и на выгонку). Луковицы тюльпанов 2 разбора при выращивании в открытом грунте пригодны для использования в озеленении и для срезки. Декоративный эффект цветника из тюльпанов зависит от наличия луковиц 1 и 2 разборов в посадочном материале. В то же время, достигнув своей максимальной величины, после первого года выращивания луковицы 1 разбора дробятся на гнездо дочерних луковиц разного размера и качества. Часть луковиц 2 разбора достигает величины и массы 1 разбора, часть - увеличивает массу и остается в размере 2 разбора, остальные дробятся на разнокачественную детку. Нецветущая в первый год после посадки детка 1 и 2 разбора, к третьему году выращивания достигает 1 и 2 разбора луковиц и вступает в фазу цветения. Процент каждого разбора от общего количества и скорость роста ювенильных луковиц, как непосредственно высаженных в открытый грунт, так и образовавшихся в результате дробления материнской луковицы зависит от сорта, видовой принадлежности и происхождения тюльпанов.

Во всех вариантах опыта из луковиц 1 разбора после трех лет выращивания не удалось получить посадочный материал исходного количества и качества, но в каждом более низком разрядном классе всех сортообразцов формировались способные к цветению луковицы.

Таблица 1 – Анализ урожая луковиц после трех лет культивирования без выкопки

Исходные характеристики луковиц			Урожай луковиц, шт	Производственный коэффициент размножения
Разбор (вариант)	масса, г	кол-во, шт		
Princeps				
Л-1	16,7	94	96	1,0
Л-2	9,3	63	39	0,6
Д-1	4,0	105	77	0,7
Yellow Dover				
Л-1	15,2	115	160	1,4
Л-2	8,6	55	61	1,1
Д-1	3,2	100	63	0,6
Beauty of Oxford				
Л-1	17,3	83	97	1,2
Л-2	9,6	85	122	1,4
Д-1	3,9	129	201	1,6
Beauty of Apeldoorn				
Л-1	15,7	146	427	2,9
Д-1	3,7	186	260	1,4
Д-2	0,9	45	35	0,8
T. vvedenskyi				
Л-1	19,6	160	170	1,1
Л-2	11,8	135	87	0,6
T. eichleri				
Л-1	22,8	340	937	2,8
Л-2	8,8	210	643	3,1
T. tarda				
Л-1	5,9	325	244	0,8
Little Princess				
Л-2	3,9	400	417	1,0

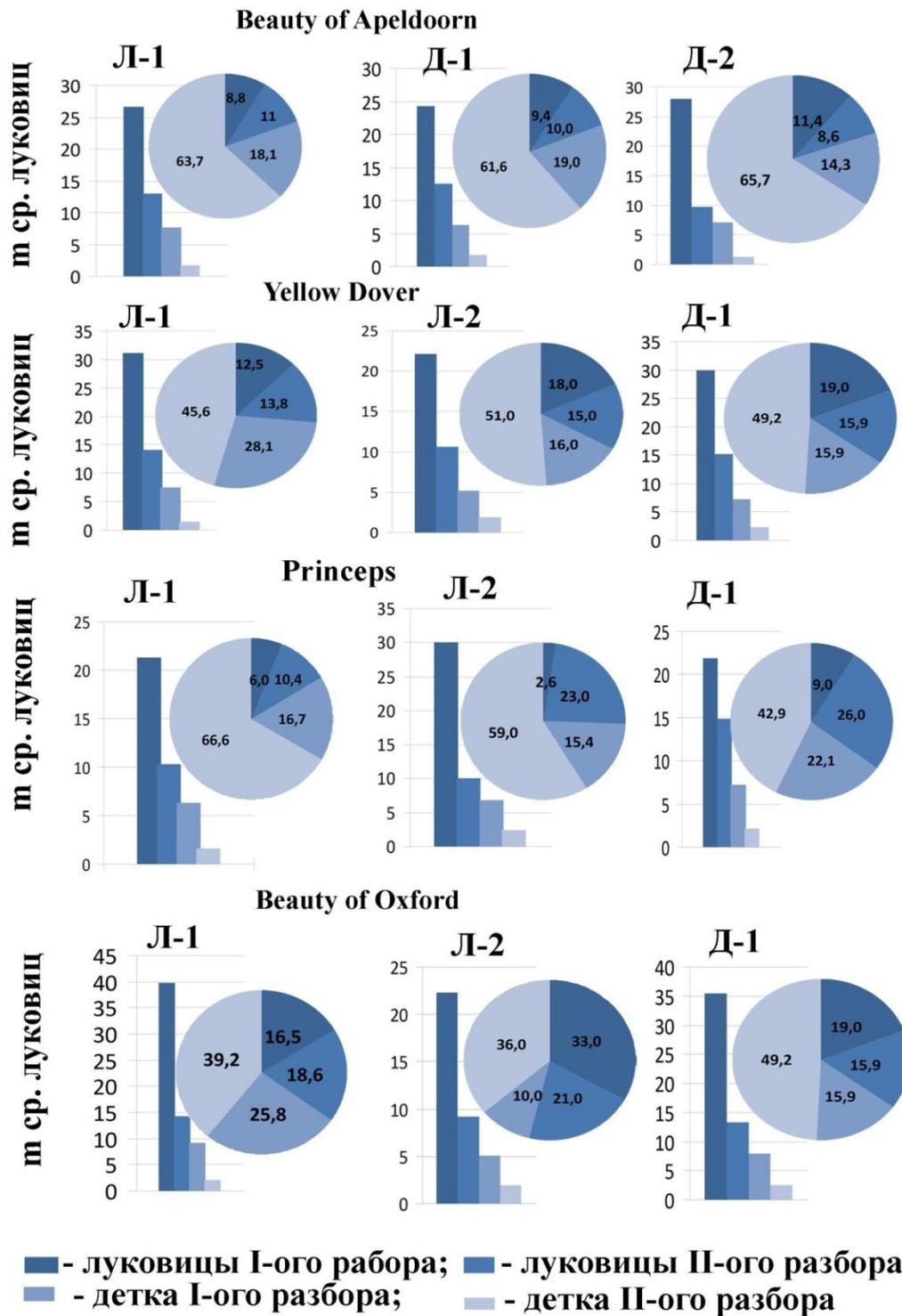


Рис. 1 – Анализ урожая луковиц сортов тюльпана после трех лет культивирования без выкопки: на столбчатой диаграмме показана средняя масса луковиц (в граммах) по разборам в граммах, на круговой - % каждого разбора

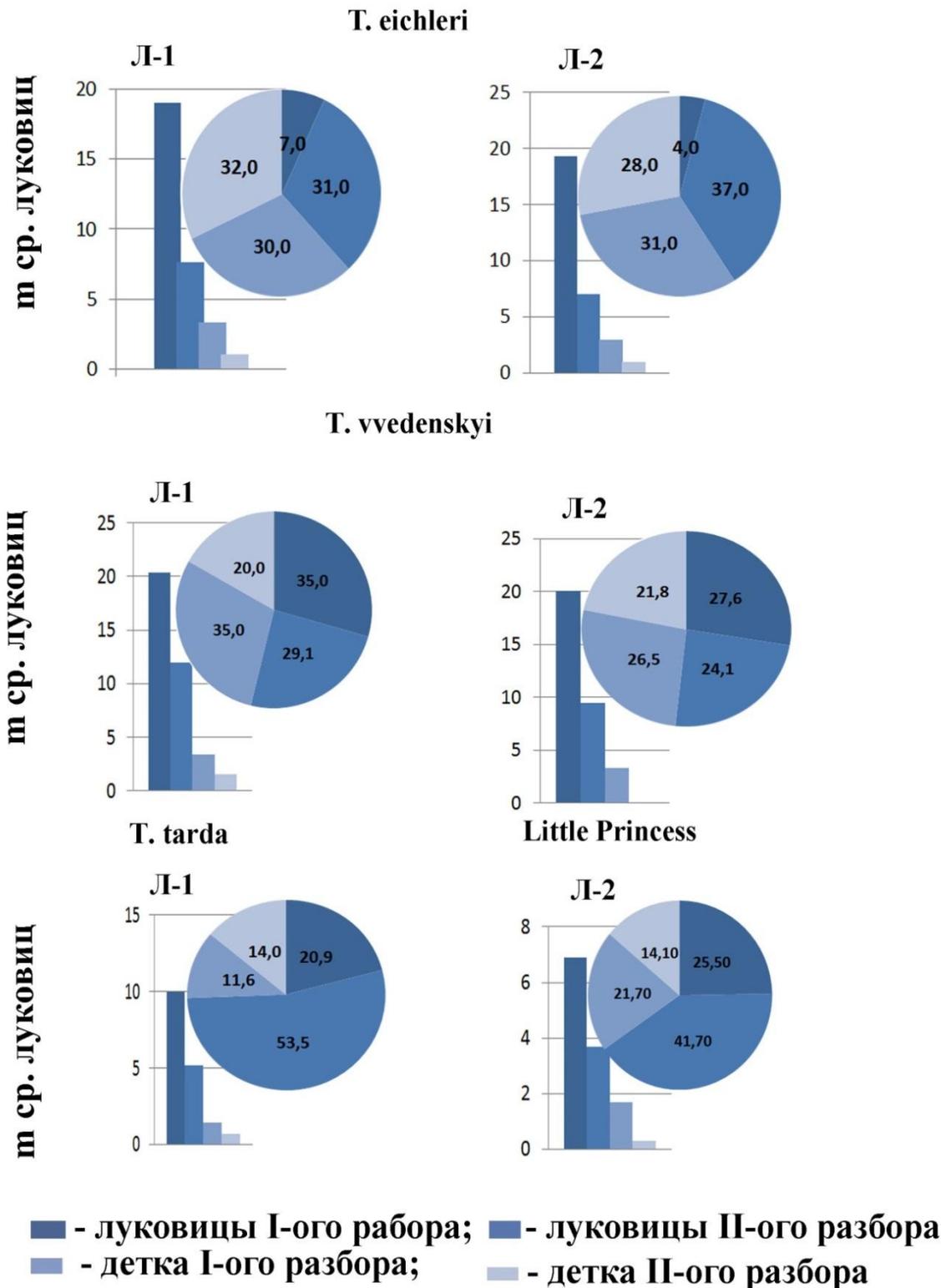


Рис. 2 – Анализ урожая луковиц видов тюльпана после трех лет культивирования без выкопки: на столбчатой диаграмме показана средняя масса луковиц (в граммах) по разборам в граммах, на круговой – % каждого разбора

В ходе многолетнего опыта выявлено формирование большого количества весовой детки, как из крупных луковиц, так и из детки 1 разбора (рис.1 и 2), что говорит об активно идущих процессах вегетативного размножения. Весовая детка из варианта Л-1 составляла от 14 до 67% в зависимости от сорта, средняя масса луковиц была больше 1г, а в варианте Л-2 весовой детки формировалось меньше (от 14 до 59%), но средняя масса луковиц у некоторых образцов не превышала 1 грамма (Little Princess – 0,3г, *T tarda* и *T vvedenskyi* – 0,7г). На долю весовой детки из варианта Д-1 пришлось от 49,2% (*Beauty of Oxford*) до 61,6% (*Beauty of Apeldoorn*) но средняя масса луковиц превышала 1,7г, а у некоторых сортов достигала 2,2-2,5г, что говорит о разном качестве формирующейся весовой детки. В варианте Д-2 сорта *Beauty of Apeldoorn* было высажено в 2009г 100% весовой детки со средней массой 0,9г, а к концу опыта получено 65,7% весовой детки, но средняя масса её возросла до 1,2г. Остальной процент составляли

луковицы 1 и 2 разбора (8,6% и 11,4%) и счетная детка (14,3%) со средней массой 7г. Очевиден приоритет сортов с хорошей энергией роста и развития мелких луковиц при подборе ассортимента для многолетних цветников. Для преодоления резкого спада декоративности тюльпанов на второй год вегетации из-за снижения процента цветущих растений, необходимо высаживать вместе с крупными луковицами также мелкие и счетную детку. Возможно использование мелкой весовой детки для размножения новых ценных сортов, выращивая её без выкопки 3-4 года, т.к. при этом снижаются затраты труда и потери мелких луковиц при выкапывании. Кроме того, есть данные о том, что включение преимущественно крупных луковиц в схему вегетативного возобновления коммерческих сортов тюльпана в России привело к накоплению мелких фракций, а для достижения максимальной продуктивности необходимо использовать мелкие луковицы [8].

Декоративность тюльпанов определяется их способностью к стабильному цветению на протяжении всего периода выращивания. Отмечено снижение процента цветущих тюльпанов у всех сортов для луковиц 1 разбора на второй год выращивания без выкопки, но к третьему году число цветущих растений увеличивалось. В то же время в ходе опыта происходило увеличение цветущих растений в вариантах, где высаживали детку 1 разбора. Так, из луковиц 1 разбора сорта Beauty of Oxford в 2010г. цвело 100% растений, в 2011г. - цвело только 68%, а 2012г. - 85% растений. В варианте Д-1 этого сорта в первый 2010г. зацвело 8% растений, в 2011г. цвело уже 47%, а 2012 году - 92,5% луковиц были цветущими. Луковицы 1 разбора сорта Yellow Dover в 2010г. цвели все (100%), в 2011г. - цвело 66% растений, в 2012г. - 88%. В разборе Д-1 этого сорта в 2010г. цвело 5%, в 2011г. - 61% а в 2012г.- 92%. У сорта Princeps из группы Тюльпаны Фостера и тюльпана *T. eichleri* в варианте Л - 1 число цветущих растений год от года постепенно сокращалось. Так, в 2010г. у сорта Princeps цвело 100% растений, в 2011г. - 74%, в 2012г. - 67%; у *T. eichleri* - 99% цвело в 2010г., 71% - в 2011г. и 57% - в 2012г. Луковицы детки (Д-1) сорта Princeps имели хорошую энергию роста, по сравнению с луковицами разбора Л-2, количество цветущих растений увеличилось от 3% в 2010г. до 54% в 2012г. В варианте Л-2 этого сорта в 2010г. цвело 60% растений, в 2011г. - 36%, а в 2012г. - 42%. Высокий процент цветущих растений зафиксирован у *T tarda*. В варианте Л-2 в 2010г. цвело 98,8%, в 2011г. - 99%, а в 2012г. 100% растений.

Высота генеративного побега и размер цветка тюльпана зависит от размера и массы луковицы. Для парадных цветников в регулярном стиле или для определённого художественного замысла отбирают луковицы одного размерного ряда: 11–12, 12, 12+ (максимальная длина окружности в см), принятого в Нидерландах при механической сортировке. В сборных цветниках из многолетников и насаждений в природном стиле неестественно выглядят тюльпаны, растущие цветок к цветку как «парадный расчёт». В многолетнем опыте нас интересовала динамика изменений высоты растений и размера цветка, как реакция луковиц на условия сухого покоя (когда закладываются побег и цветок) в открытом грунте, где температура и влажность не регулируются. В первый же год выращивания материнская луковица полностью отмирает, передав все пластические вещества дочерним и замещающей луковицам. В молодых луковицах закладываются побег и цветок или только один ювенильный лист в зависимости от количества запасов веществ, поступивших из материнского растения. В первый год опыта все биометрические показатели в варианте Л-1 были максимальные, на второй год высота растений и размер цветка уменьшились. В ходе опыта высота растения и размеры цветка несколько уменьшились по сравнению с исходными. Например, у сорта Beauty of Apeldoorn (Дарвиновы гибриды) в варианте Л-1 в 2010г средняя высота цветущих растений составляла 55,2см высота цветка - 8,1см; в 2011г. - высота побега 45,5см, цветка - 7,1см, а 2012г. высота цветоноса - 44см. цветка - 7,5см. В варианте опыта Д-1 в 2012г, подросшие до цветущей луковицы детки этого же сорта Beauty of Apeldoorn, имели близкие параметры: среднюю высоту побега 42,8см, высота цветка 7,7см. Средняя высота цветущих тюльпанов сорта Princeps (тюльпаны Фостера), варианте Л-1 в 2010г - 32,2см, высота цветка - 9,5 см; в 2011г. высота - 27,9см, цветок - 7,8см, в 2012г цветонос - 24см, цветок - 6,9см. Биометрические показатели цветущих растений по 2012г. сорта Princeps из разных вариантов близки. В варианте Л-2 высота составляла 25,2см, цветок - 7,6см, в варианте Д-1 высота побега - 25,9см, цветок - 7,6см. Для *T. eichleri* и Little Princess отмечены незначительные изменения в размерах цветка и высоте растений. Для остальных видов и сортов было выявлено снижение высоты цветущих растений их неоднородность по этому признаку и закладка более мелких цветков (рис. 3). Детальный анализ количества цветущих и ювенильных растений по вариантам для каждого сорта и биометрические характеристики сортообразцов были опубликованы ранее [9].

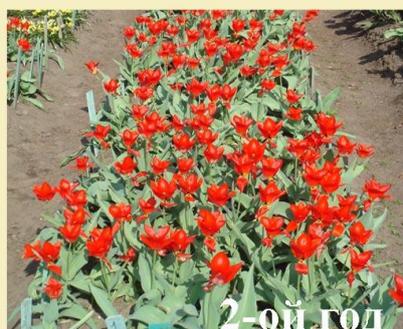
Beauty of Apeldoorn. Л-1



Yellow Dover. Л-1



T. eichleri. Л-1



T. tarda. Л-1



Рис. 3 – Цветение разных видов и сортов тюльпана в первый, второй и третий годы эксперимента

Количество цветущих растений *T. eichleri* по годам вегетации сокращалось (98,8% - в 2010г., 71% - в 2011г. и 57% в 2012г), при этом формировались крупные луковицы с большим запасом пластических веществ. Вероятно, температурный режим в период закладки цветка у растений этого вида в условиях открытого грунта г. Москвы (май-июль) был неблагоприятным. В условиях многолетней культуры ежегодно стабильно цвели представители класса Miscellaneous, их разновидности и гибриды: Little Princess, тюльпан поздний *T. tarda* Stapf, тюльпан Введенского *T. vvedenskyi* Z Botsch.

Выращивание тюльпанов на одном месте в течение нескольких лет способствует привлечению и накоплению в почве и в луковицах специфичной патогенной микрофлоры, а также вредителей, прежде всего мышей. Появление

мышевидных грызунов приводит к ежегодному увеличению повреждений и даже полному уничтожению луковиц. В рамках многолетнего опыта отмечали поражение тюльпанов грибными болезнями (серой гнилью и фузариозом). Сорты имели различную устойчивость, так сорт из группы Дарвиновы гибриды Yellow Dover сильно поражался грибной инфекцией, а сорт из той же группы Beauty of Oxford был более устойчив. Значительной устойчивостью характеризовались также межвидовой гибриды Little Princess, тюльпан поздний и тюльпан Эйхлера [7], [10].

Культивирование тюльпанов несколько лет на одном месте без выкопки приводит к ухудшению физических свойств почвы в зоне залегания корней (воздушный, водный, температурный режимы становятся неблагоприятными для роста тюльпанов). Для снижения негативных последствий выращивания без выкопки, была проведена работа по испытанию доступного мульчирующего материала и его влияние на декоративные качества тюльпанов [11]. В качестве мульчирующего материала использовали подстилочный перепревший навоз (смесь опилок и конского навоза).

Содержание подвижных форм фосфора и калия в почве при использовании мульчи в течение опыта возросло в 1,6 и 2,9 раза соответственно, что свидетельствует об обогащении почвы питательными веществами из укрывного материала. Температура почвы в течение осенне-зимнего периода отличалась между вариантами незначительно, в период таяния снега и весеннего оттаивания под мульчей температура почвы была ниже на 3-4°C, снег под перегноем таял медленнее, наступление фаз вегетации затягивалось. Однако, отмечено более сильное развитие грибной инфекции по сравнению с контролем, чему способствовала, по всей вероятности, повышенная влажность под мульчирующим материалом. В то же время, в контрольном варианте после таяния снега гряды без укрытия осели, земля покрылась трещинами и потребовалось дополнительное рыхление почвы. В период летнего покоя температура почвы под мульчей была ниже, чем в контроле на 2,0-2,5°C, в условиях исключительно жаркого лета (июль 2010г), когда почва в контроле прогрелась до 32°C, что могло привести к перегреву луковицам, а при использовании перегноя температура почвы на глубине залегания луковиц составляла 28°C. Мульча препятствовала прорастанию сорняков из верхнего почвенного слоя, однако было отмечено появление на грядах мари белой (*Chenopodium album* L.), семена которой содержались в самой мульче. Корневая система этого сорного растения располагалась в рыхлом слое мульчи, и сорняк легко удалялся на ранней стадии развития при однократной прополке, тогда как на грядах без укрытия требовались дополнительные прополки. При использовании мульчирующего материала растения были выше по сравнению с контролем, а параметры цветка и ширина листа изменились незначительно. Коэффициент биологического размножения также был выше у растений при использовании мульчи, при этом выход луковиц самой мелкой фракции уменьшился, а крупных - несколько увеличился, вероятно, благодаря лучшей обеспеченности растений фосфором и калием, а также влагой в период формирования луковиц. Таким образом, мульчирование позволило сократить затраты ручного труда на прополку и рыхления почвы, а также способствовало сохранению влаги, оптимизации температурного режима почвы и условий минерального питания, и как результат, увеличению выхода полноценных луковиц тюльпана, но в то же время способствовало распространению грибной инфекции и засорению посадок марью белой.

С весны 2010г. до выкопки фиксировали причины гибели и выбраковки луковиц. Отмечено выпадение растений в связи с поражением грибной инфекцией в отдельных вариантах опыта, это составляло от 0,2% до 22,6% в зависимости от исходного количества посаженных луковиц и подверженности сортообразца грибным заболеваниям. Выбраковывали также вирусные растения (всего 8 шт. по опыту). Большую опасность для луковиц тюльпанов в опыте представляли мышевидные грызуны, из-за близкого расположения экспериментального участка к коллекциям декоративных многолетников и лесополосы. Во всех вариантах опыта отмечены повреждения луковиц мышами осенью, зимой и ранней весной во все годы эксперимента. Больше всего пострадали образцы природных видов, в меньшей степени луковицы сортов класса Дарвиновы гибриды. Мышами было уничтожено 428 луковиц - *T. tarda*, 78 луковиц - *T. eichleri*, 61 - *T. vvedenskyi*, 135 - Beauty of Oxford. Применение специальных препаратов для борьбы с грызунами (протравленное зерно и приманки, разрешенные для садовых участков) не приносило ощутимого эффекта. Глубокие ходы грызунов под грядами невозможно было нарушить агротехническими приемами. Поддержание чистоты от сорной растительности экспериментального участка, освобождение соседних участков от растений и их перепашка, скашивание травяных дорожек и обочин уменьшило число повреждений от мышей. Очевидно, при большой численности мышевидных грызунов в парковых зонах не стоит включать в состав многолетних цветников тюльпаны, их могут заменить гиацинты, нарциссы и декоративные луки.



Рис. 4 – Цветение тюльпанов в многолетнем цветнике экспозиции отдела декоративных растений ГБС РАН

С использованием результатов исследований был заложен в 2013г многолетний цветник из тюльпанов на экспозиции отдела декоративных растений ГБС РАН (рис. 4), в котором использованы сорта из разных садовых групп и принадлежащие к различным видам. Также, положительные выводы о возможности выращивания луковиц тюльпанов без ежегодной выкопки подтвердились практическими результатами анализа урожая луковиц в 2016г. Вся коллекция тюльпанов выращивалась без выкопки с 2013г по 2016г всё сортовое и видовое разнообразие сохранено, а в 2013 году на коллекционном участке посажено 10088 штук луковиц и 1948 штук детки, а в 2016 году выкопано 18027 штук луковиц и 20265 детки.

Выводы и заключение

Подводя итоги данной работы, считаем возможным включение тюльпанов в сборные цветники из декоративных многолетников и переход на технологию без ежегодной выкопки коллекционных луковиц. Для успешного содержания и сохранения коллекции тюльпанов, по новой технологии при трехлетнем выращивании без выкопки, необходимо соблюдать следующие агротехнические приёмы:

1. Подбирать для посадки всех сортов коллекции некрупные (физиологически молодые) луковицы и хорошо сформированную детку. Цветущие крупные луковицы (физиологически старые) использовать для создания экспозиций, цветников или реализации.

2. Необходимо осуществлять посадку луковиц на грядах для отвода избытка воды (талые воды и обильные осадки) и сохранения рыхлости почвы во время ухода (прополка, удаление примесей и выбраковка больных растений).

3. После посадки тюльпанов и ежегодно под зиму укрывать перегноем (испытанным мульчирующим материалом) для поддержания оптимальных физических свойств и минерального состава почвы.

4. Желательно выбирать участки под коллекцию на открытом солнечном месте, вдали от лесных массивов, заросших и запущенных полей. Периметр участка, травяные дорожки и обочины необходимо по мере зарастания окашивать, не допуская создания укрытий для грызунов.

5. В период цветения, после проверки сорта и выбраковки вирусных растений необходимо удалять цветок, выламывая вместе с цветоножкой над верхним листом, без использования режущего инструмента.

6. Нельзя допускать зарастания коллекционного участка сорными растениями, в период вегетации проводить ручную прополку, после отмирания надземной части возможна обработка гербицидами сплошного действия (Торнадо, Раундап).

7. По окончании третьего года вегетации коллекцию необходимо выкапывать, для оздоровления (выбраковки больных), реабилитации в оптимальных температурных условиях сухого покоя и подготовки нового участка под посадку тюльпанов (вспашка на глубину 30-35 см, внесение крупного речного песка из расчета 10 кг на 1 кв.м).

Для включения тюльпанов в состав сборных многолетних цветников необходимо обращать внимание на сортовые и видовые особенности. Предпочтение должны иметь сорта менее чувствительные к условиям сухого покоя (влажность и температура в период закладки цветка), устойчивые к болезням, со средним коэффициентом биологического размножения и с хорошей энергией роста ювенильных луковиц. Для равномерности цветения в каждый год вегетации необходимо кроме крупных цветущих луковиц использовать при посадке средние и мелкие луковицы (или счетную детку). Из сортообразцов, испытанных в данной работе рекомендуется использовать, тюльпан поздний - *T. tarda* Stapf; тюльпан Введенского - *T. vvedenskyi* Z Botsch., гибрид Little Princess и сорт Beauty of Oxford. При большой численности мышевидных грызунов не стоит включать тюльпаны в состав сборных многолетних цветников, их можно заменить гиацинтами, нарциссами и декоративными луками.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Былов В. Н., Зайцева Е. Н. Выгонка цветочных луковичных растений: биологические основы / В. Н. Былов, Е. Н. Зайцева. - М.: Наука, 1990. - 240 с.
2. Воронин В. В. Тюльпаны степей и гор / В. В. Воронин. Алма-Ата, 1987. 224с.
3. Грошева Е. В. Грибные заболевания луковиц тюльпана в условиях Тамбовской области / Е. В. Грошева; М. К. Скрипникова // Субтропическое и декоративное садоводство. Том. 46. № 1. 2012. С. 199-206.
4. Грошева Е. В. Особенности размножения и продуктивности цветения тюльпана в Центрально-чернозёмном регионе / Е. В. Грошева, М. К. Скрипникова // Вестн. Мичур. гос. аграр. ун-та. 2012. N 2. - С. 55-59.
5. Данилина Н. Н. Особенности формирования цветущих луковиц тюльпанов в зависимости от сорта и разбора посадочного материала в условиях выращивания без ежегодной выкопки / Н. Н. Данилина, М. В. Семёнова // Материалы VII Международной научной конференции «Цветоводство: история, теория, практика». Минск, 2016. ISBN: 978-985-6777-82-3. С.98-101.
6. Декоративные травянистые растения для открытого грунта. Том 2. 1977. Изд-во «Наука», Ленингр. отд. 458 с.
7. Кондратьева В. В. Морфологические и гормональные аспекты выращивания тюльпанов без ежегодной выгонки / В. В. Кондратьева, М. В. Семёнова, Л. С. Олехнович ит др. // Материалы Международной конференции, посвященной 70-летию Центрального сибирского ботанического сада «Сохранение разнообразия растительного мира в ботанических садах: традиции, современность, перспективы», Новосибирск, 2016. ISSN: 1995-2449. С. 154-155.
8. Лях В. М. О причинах накопления луковиц мелких фракций при коммерческом выращивании тюльпанов // Субтропическое и декоративное садоводство / В. М. Лях. Том 2. 2013. С. 122-137.
9. Семенова М. В. Особенности цветения тюльпанов в многолетней культуре без выкопки. Материалы / М. В. Семенова, Н. Н. Данилина // Международной научно-практической конференции «Интеграция ботанических исследований и образования: традиции и перспективы». Томск, 2013. ISBN: 978-5-7511-2214-0. С. 202-206.
10. Семенова М. В. Фенольные соединения в листьях тюльпанов в связи с устойчивостью к грибным заболеваниям при выращивании без ежегодной выкопки / М. В. Семенова, В. В. Кондратьева, Л. С. Олехнович, Н. Н. Данилина // Материалы Международной научной конференции Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского «Перспективы интродукции декоративных растений в ботанических садах и дендропарках». Симферополь, 2014. С.184-186.
11. Семенова М. В. Влияние зимнего укрытия на развитие растений двух видов тюльпана и условия их роста / М. В. Семенова, О. В. Шелепова, Н. Н. Данилина // Материалы юбилейной Международной научной конференции «Проблемы охраны флоры и растительности на Кавказе». Сухум, 2011. С. 365-369.
12. Brych A. Overwintering of tulips (*Tulipa* L.) grown in the conditions of the Olsztyn / A/ Brych, J. Wazbinska J, E. Januszewicz // Postep w produkcji roslin ozdobnych, 2005; cz.2. - P. 557-566 .
13. Wazbinska J. Phenological, morphological and yielding evaluation of tulip varieties cultivated with two methods under natural conditions of the city of Olsztyn. Pt 1. The course and duration of tulip (*Tulipa* L.) phenophases / J. Wazbinska, A. Brych, E. Januszewicz, B. Ploszaj // Kwaciastwo w Polskiej nauce i gospodarce / Pol. akad. nauk., 2006; cz.2. - P. 673-683.
14. Wazbinska J. Phenological, morphological and yielding evaluation of tulip varieties cultivated with two methods

under natural conditions of the city of Olsztyn. Pt 2. Selected morphological traits of tulips (*Tulipa L.*) / J. Wazbinska, A. Brych, E. Januszewicz, B. Ploszaj // *Kwiaciarnictwo w Polskiej nauce i gospodarce* / Pol. akad. nauk., 2006; cz.2. - P. 685-690.

15. Wazbinska J. Phenological, morphological and yielding evaluation of tulip varieties cultivated with two methods under natural conditions of the city of Olsztyn. Pt 3. Commercial yield of tulips / J. Wazbinska, A. Brych, B. Ploszaj // *Kwiaciarnictwo w Polskiej nauce i gospodarce* / Pol. akad. nauk., 2006; cz.1. - P. 79-86.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bylov V. N. Vygonka tsvetochnykh lukovichnykh rasteniy biologicheskie osnovy [Forcing flower bulbs: the biological basis] / V. N. Bylov, E. N. Zaytseva - M. Nauka, 1990 – 240 p.

2. Voronin V. V. Tyulpany stepey i gor [Tulips of steppes and mountains] / V. V. Voronin. Alma-Ata. 1987, 224 p.

3. Grosheva E. V. Gribnye zabolevaniya lukovits tyulpana v usloviyakh Tambovskoy oblasti [Fungal diseases of Tulip bulbs in the conditions of the Tambov region] / E. V. Grosheva, M. K. Skripnikova // *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo*. Tom 46. № 1. 2012. P. 199-206.

4. Grosheva E. V. Osobennosti razmnozheniya i produktivnosti tsveteniya tyulpana v Tsentralno-chernozemnom regione [Features of reproduction and productivity of flowering tulips in the Central Black Earth region] / E. V. Grosheva, M. K. Skripnikova // *Vestn. Michur. gos. agrar. un-ta*. 2012. N 2. – P. 55-59.

5. Danilina N. N. Osobennosti formirovaniya tsvetushhikh lukovits tyulpanov v zavisimosti ot sorta i razbora posadochnogo materiala v usloviyakh vyrashhivaniya bez ezhegodnoy vykopki [Features of formation of the flowering Tulip bulbs, depending on variety and planting material analysis in conditions of annual growing without digging] / N. N. Danilina, M. V. Semenova // *Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: "TSvetovodstvo istoriya teoriya praktika"*. Minsk, 2016. ISBN: 978-985-6777-82-3. P. 98-101

6. Dekorativnye travyanistyie rasteniya dlya otkrytogo grunta [Ornamental herbaceous plants for open ground]. Tom 2. 1977. Izd-vo Nauka, Leningr otd. 458 p.

7. Kondrateva V. V. Morfologicheskie i gormonalnye aspekty vyrashhivaniya tyulpanov bez ezhegodnoy vygonki [Morphological and hormonal aspects of growing tulips without annual forcing] / V. V. Kondrateva, M. V. Semenova, L. S. Olekhovich, N. N. Danilina // *Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii posvyashhennoy 70-letiyu Tsentralnogo sibirskogo botanicheskogo sada "Sokhranenie raznoobraziya rastitelnogo mira v botanicheskikh sadakh: traditsii, sovremennost', perspektivy"*. Novosibirsk, 2016. ISSN: 1995-2449. P. 154-155.

8. Lyakh V. M. O prichinakh nakopleniya lukovits melkikh fraktsiy pri kommercheskom vyrashhivanii tyulpanov [On the causes of the accumulation of bulbs of small fractions in the commercial cultivation of tulips] / V. M. Lyakh // *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo*. Tom 2. 2013. P. 122-137.

9. Semenova M. V. Osobennosti tsveteniya tyulpanov v mnogoletney kulture bez vykopki [Features blooming tulips in perennial crops without digging] / M. V. Semenova, N. N. Danilina // *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Integratsiya botanicheskikh issledovaniy i obrazovaniya: traditsii i perspektivy"*. Tomsk, 2013. ISBN: 978-5-7511-2214-0. P. 202-206.

10. Semenova M. V. Fenolnye soedineniya v listyakh tyulpanov v svyazi s ustoychivostyu k gribnym zabolevaniyam pri vyrashhivanii bez ezhegodnoy vykopki [Phenolic compounds in the leaves of tulips in connection with resistance to fungal diseases when grown without annual digging] / M. V. Semenova, V. V. Kondrateva, L. S. Olekhovich and others // *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii Krymskogo federalnogo universiteta imeni V I Vernadskogo "Perspektivy introduktsii dekorativnykh rasteniy v botanicheskikh sadakh i dendroparkakh"*. Simferopol, 2014. P. 184-186.

11. Semenova M. V. Vliyanie zimnego ukrytiya na razvitie rasteniy dvukh vidov tyulpana i usloviya ikh rosta [The effect of the winter shelter on the development of plants of two species of tulip and the conditions for their growth] / M. V. Semenov, O. V. Shelepova, N. N. Danilina // *Materialy yubileynoy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Problemy okhrany flory i rastitelnosti na Kavkaze"*. Sukhum, 2011. P. 365-369.

12. Brych A. Overwintering of tulips (*Tulipa L.*) grown in the conditions of the Olsztyn / A. Brych, J. Wazbinska J, E. Januszewicz // *Postep w produkcji roslin ozdobnych*, 2005; cz.2. - P. 557-566 .

13. Wazbinska J. Phenological, morphological and yielding evaluation of tulip varieties cultivated with two methods under natural conditions of the city of Olsztyn. Pt 1. The course and duration of tulip (*Tulipa L.*) phenophases / J. Wazbinska, A. Brych, E. Januszewicz and others // *Kwiaciarnictwo w Polskiej nauce i gospodarce* / Pol. akad. nauk., 2006; cz.2. - P. 673-683.

14. Wazbinska J Phenological, morphological and yielding evaluation of tulip varieties cultivated with two methods under natural conditions of the city of Olsztyn. Pt 2. Selected morphological traits of tulips (*Tulipa L.*) / J. Wazbinska, A. Brych, E. Januszewicz and others // *Kwiaciarnictwo w Polskiej nauce i gospodarce* / Pol. akad. nauk., 2006; cz.2. - P. 685-690.

15. Wazbinska J. Phenological, morphological and yielding evaluation of tulip varieties cultivated with two methods under natural conditions of the city of Olsztyn. Pt 3. Commercial yield of tulips / J. Wazbinska, A. Brych, B. Ploszaj // *Kwiaciarnictwo w Polskiej nauce i gospodarce* / Pol. akad. nauk., 2006; cz.1. - P. 79-86.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.022>

БИОХИМИЧЕСКИЙ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РОДА *ABRAMIS* (CYPRINIFORMES, CYPRINIDAE)
Научная статья

Карнаухов Г.И. *

ORCID: 0000-0003-4038-1699

Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Краснодар, Россия

* Корреспондирующий автор (gik23[at]mail.ru)

Аннотация

Приведены сведения о фракционных составах гемоглобина и кариотипах представителей рода *Abramis*. Установлена электрофоретическая видоспецифичность гемоглобина. Приведены кариотипы исследованных видов. Сопоставление результатов биохимического и цитогенетического анализов позволило оценить степень генетической дифференцировки рода *Abramis*. Наиболее обособленное положение в роде занимает белоглазка. По ряду показателей она должна быть признана наиболее эволюционно молодым видом.

Ключевые слова: лещ, синец, белоглазка, фракционный состав гемоглобина, кариотипы, хромосомные наборы.

BIOCHEMICAL AND CYTOLOGICAL ANALYSIS OF *ABRAMIS* (CYPRINIFORMES, CYPRINIDAE) GENUS
Research article

Karnaukhov G.I. *

ORCID: 0000-0003-4038-1699

Azov Research Institute for Fisheries, Krasnodar, Russia

* Corresponding author (gik23[at]mail.ru)

Abstract

The article contains information on the fractional composition of hemoglobin and karyotypes of the representatives of the *Abramis* genus. Electrophoretic species-specific hemoglobin is identified. The karyotypes of the studied species are given. Comparison of the results of biochemical and cytogenetic analyzes allowed estimating the degree of genetic differentiation of the *Abramis* genus. White-eyed bream is the most isolated position in the genus. For a number of indicators, it should be recognized as the most evolutionarily young species.

Keywords: bream, blue bream, white eyed bream, fractional composition of hemoglobin, karyotypes, chromosome sets.

В ихтиологических исследованиях широко используются генетические методы при решении многих сложных проблем теоретического и прикладного направлений. Особая ценность этих методов состоит в том, что они используются для решения тех вопросов, которые трудно или вообще невозможно решить с помощью традиционных для ихтиологии приемов исследования. Они позволяют дифференцировать различные группировки (виды, подвиды, популяции и т.д.), между которыми порою трудно уловить морфологические различия.

Изучение биохимической изменчивости рыб позволяет выявить стабильные показатели, которые могут быть использованы для решения вопросов надвидовой и внутривидовой систематики рыб. Использование электрофоретического и кариологического методов способствуют решению разнообразных вопросов систематики и филогении, выявлению отчетливых межвидовых различий и определению путей эволюционного развития того или иного таксона.

Объектом исследования был широко распространенный в Европейской части России род карповых рыб *Abramis*, который представлен тремя видами - лещом *A. brama* (L.), синцом *A. ballerus* (L.), белоглазкой *A. sapa* (Pallas). Род *Abramis* объединяет морфологически близкие (хотя и неплохо различающиеся) симпатрические виды и представляет собой хороший объект для применения комплексного биохимико-цитологического анализа.

Всего для электрофоретического анализа было обработано по 50 экз. каждого вида. Электрофоретический анализ гемоглобина выполняли методом электрофореза в 5%-ном полиакриламидном геле по методу С. Раймонда [1, С. 455]. Для кариологических исследований было использовано 3 самца и 2 самки леща, 2 самца и 5 самок синца и 4 самца и 2 самки белоглазки. От каждой рыбы было проанализировано по 20 метафазных пластинок. Для получения хромосомных препаратов использовали традиционный метод прижизненных колхициновых инъекций [2, С. 767] с некоторыми модификациями [3, С. 267].

Хромосомные наборы изученных видов представлены диплоидным числом $2n=50$. Были отмечены единичные гипо- и гиперпloidные клетки (всего около 8%), которые могут являться как результатом методических погрешностей, так и реальной анеупloidией. Изучение вопросов спонтанной изменчивости кариотипов рыб не являлось целью данного исследования.

В кариотипе леща было выделено 16 мета-, 14 субмета-, 12 субтело- и 8 акроцентрических хромосом. У белоглазки – 10 мета-, 22 субмета-, 10 субтело- и 8 акроцентриков. У синца было выделено 16 мета-, 20 субмета-, 6 субтело- и 8 акроцентрических элементов. Ни у одного из видов межполовых различий по структуре кариотипа установлено не было.

В кариотипах исследованных видов была выделена маркерная для представителей подсемейства *Abraminiinae* пара одноплечных хромосом. У белоглазки она отчетливо субтелоцентрическая, у леща и синца – акроцентрическая.

Морфологические классы хромосом у изученных видов, связаны плавными переходами. Число хромосомных плеч записывалось с учетом точности идентификации морфологии хромосом: лещ – $NF=80\pm 2$; белоглазка $NF=82\pm 2$; синец

NF = 86±2. Если принять во внимание показатель (NF), т.е. число хромосомных плеч с учетом субтелоцентриков, то он полностью совпадает у всех изученных видов и составляет - 82.

Как правило, гемоглобин у рыб имеет гетерогенную природу, у 80% видов внутривидовая изменчивость отсутствует [4, С. 1115]. В то же время фракционный состав гемоглобина в большинстве случаев видоспецифичен и может служить хорошим таксономическим признаком [5, С. 392], [6, С. 145].

Гемоглобин изученных видов оказался полиморфным. Полиморфизм фракционного состава гемоглобина заключался в наличии двух популяционно стабильных типов. Первый тип гемоглобина Hb-I был представлен в целом мажорными компонентами с низкой электрофоретической подвижностью по сравнению со вторым типом Hb-II. Можно предположить, что экспрессия Hb-II у каждого из трех видов свойственна полупроходным особям, а Hb-I – жилым. Это предположение основано на точке зрения о том, что у рыб в морской воде функционируют компоненты с более высокой электрофоретической подвижностью, а в пресной – с более низкой [7, С. 719]. Межвидовые различия электрофореграмм оказались значительными: общим следует признать лишь наличие двух типов гемоглобина – Hb-I и Hb-II. По числу компонентов белоглазка (5 компонентов) отличается от леща и синца (по 4 компонента). Существенно различаются исследованные виды по подвижности основного, наиболее мощного компонента: у леща – 0,20 (Hb-I) или 0,38 (Hb-II); у синца – 0,34 (Hb-I) и 0,39 (Hb-II); белоглазки – 0,29 (Hb-I) и 0,33 (Hb-II). Различия между фенотипами Hb-I и Hb-II наиболее резко выражены были у леща, если в первом типе фракционного состава гемоглобина основное количество белка (65%) приходилось на компонент с подвижностью 0,20, то во втором типе самый мощный компонент (78,9%) имел подвижность 0,38. Также для исследованных видов характерен и ряд мелких отличий, которые заключались в различном относительном содержании белка в компонентах.

Представители рода *Abramis*, как и большинство карповых рыб – кариотипически тесная группа. Достоверных меж- и внутривидовых различий по структуре кариотипа у исследованных видов выявлено не было. Единственное, но весьма отчетливое различие, которое можно отметить – субтелоцентрическую маркерную пару хромосом у белоглазки. Происхождение короткого плеча может быть связано с дупликациями прицентромерного гетерохроматина. Выявленное отличие может свидетельствовать о большой «продвинутой» кариотипа белоглазки и, следовательно, более молодом ее возрасте как вида. На этом вопросе мы остановимся ниже.

Сопоставление биохимических и кариологических данных по роду *Abramis* свидетельствует о том, что эволюция в этой группе, как, видимо, и во всем семействе *Cyprinidae*, не была связана со значительными хромосомными преобразованиями и протекала при значительных изменениях на субхромосомном и геномном уровнях.

Хромосомные наборы многих карповых рыб имеют диплоидное число $2n=50$ (за исключением небольших по числу видов тетраплоидных групп с $2n=100$ и групп с $2n=42-48$) при однотипной морфологической структуре кариотипов [8, С. 301]. Достоверные межвидовые и межродовые различия, как правило, у них отсутствуют. Попытки использовать для разграничения отдельных таксонов отличия в числе хромосомных плеч часто представляются сомнительными ввиду невозможности проведения отчетливых границ между различными морфологическими типами хромосом.

Все вышеизложенное об эффективности генетико-биохимического тестирования карповых рыб можно отнести и к роду *Abramis*. Несмотря на значительное количество исследований, структура рода *Abramis* вызывает ряд вопросов. В свое время еще А.Я. Щербуха [9, С. 225] считал, что лещ должен быть отнесен к подроду *Abramis*, а синец и белоглазка – к подроду *Ballerus*. Некоторые исследователи считают, что лещ, синец и белоглазка обладают равнозначной родовой самостоятельностью [10, С. 3].

При проведении исследований не ставилась задача проведения таксономической ревизии рода *Abramis*. На основании проведенного генетического анализа необходимо заметить следующее. Наиболее обособленное положение в роде занимает белоглазка. По ряду показателей она должна быть признана наиболее эволюционно молодым видом. В кариотипе белоглазки типичная для многих карповых рыб пара крупных акроцентрических хромосом «превратилась» в субтелоцентрическую. В фракционном составе гемоглобина появился пятый относительно быстрый компонент. Полученные материалы согласуются с остеологическими данными об особенностях строения грудного пояса белоглазки [11, С. 31], которые свидетельствуют об эволюционной «молодости» белоглазки.

Сопоставление результатов биохимического и цитогенетического анализов позволило оценить степень генетической дифференцировки рода *Abramis*, установить генетическую обособленность белоглазки, связанную с ее меньшим филогенетическим возрастом.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Raymond S. A convenient apparatus for vertical gel electrophoresis / S. Raymond // Clin. Chem. - 1962. - № 8. - P. 455-461.
2. McPhail J. D. A simple technique for obtaining chromosomes from teleost fishes / J. D. McPhail, R. L. Jones // J. Fish. Res. Bd. Can. - 1966. - V. 23. - № 5. - P. 767-769.
3. Rivlin K. A simple method for the preparation of fish chromosomes applicable to field work, teaching and banding / K. Rivlin, J. W. Rachlin, G. Dale // J. Fish Biol. - 1985. - V. 26. - № 3. - P. 267-272.
4. Алтухов Ю. П. О соотношении моно- и полиморфизма гемоглобинов в микроэволюции рыб / Ю. П. Алтухов // Докл. АН СССР. - 1969. - Т. 189. - № 5. - С. 1115-1117.
5. Лукьяненко В. И. Гетерогенность и полиморфизм гемоглобина рыб / В. И. Лукьяненко, А. С. Васильев, В. В. Лукьяненко // СПб.: Наука. - 1991. - 392 с.
6. Карнаухов Г. И. Гетерогенность гемоглобина и ее связь с экологическими особенностями рыб / Г. И. Карнаухов // Краснодар, Потенциал. - 2002. - 145 с.

7. Hashimoto K. Comparative studies on two hemoglobin of salmon / K. Hashimoto, F. Matsuura // Bull. Jap. Soc. Sci., Fish. - 1959. - V. 24. - № 9. - P. 719-723.
8. Васильев В. П. Эволюционная кариология рыб / В. П. Васильев // М.: Наука. - 1985. - 301 с.
9. Щербуха А. Я. Применение таксономического анализа для выяснения родственных связей между представителями рода *Abramis* и *Blicca* (*Pisces*, *Cyprinidae*) / А. Я. Щербуха // Зоол. ж. - 1973. - Т. 52. - № 2. - С. 225-228.
10. Wierzbicka J. An attempt to explain affinities between *Blicca bjoerkna* (L.), *Abramis brama* (L.) and *A. ballerus* (L.) on the grounds of their parasitic fauna / J. Wierzbicka // Acta ichthyol. piscator. - 1977. - V. 7. - № 1. - P. 3-13.
11. Howes G. Anatomy and phylogeny of the Chinese major carps *Ctenopharyngodon* Steind., 1866 and *Hypophthalmichthys* Blkr., 1860 / G. Howes // Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.), Zool. Ser. - 1981. - V. 41. - № 1. - P. 1-52.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Raymond S. A convenient apparatus for vertical gel electrophoresis / S. Raymond // Clin. Chem. - 1962. - No.8. - P. 455-461.
2. McPhail J. D. A simple technique for obtaining chromosomes from teleost fishes / J. D. McPhail, R.L. Jones // J. Fish. Res. Bd. Can. - 1966. - V. 23. - No. 5. - P. 767-769.
3. Rivlin K. A simple method for the preparation of fish chromosomes applicable to field work, teaching and banding / K. Rivlin, J. W. Rachlin, G. Dale // J. Fish Biol. - 1985. - V. 26. - No. 3. - P. 267-272.
4. Altukhov Yu. P. O sootnoshenii mono- i polimorfizma gemoglobinov v mikroevoliutsii ryb [On the Ratio of Mono- and Polymorphism of Hemoglobins in the Microevolution of Fish] / Yu. P. Altukhov // Report of Academy of Sciences of the USSR. - 1969. - V. 189. - No.5. - P. 1115-1117. [In Russian]
5. Lukyanenko V. I. Geterogennost i polimorfizm gemoglobina ryb [Fish Heterogeneity and Polymorphism] / V. I. Lukyanenko, A. S. Vasilyev, V. V. Lukyanenko // SPb.: Nauka. - 1991. - 392 p. [In Russian]
6. Karnaukhov G. I. Geterogennost gemoglobina i ee svyaz s ekologicheskimi osobennostyami ryb [Hemoglobin Heterogeneity and its Relationship with the Ecological Characteristics of Fish] / G. I. Karnaukhov // Krasnodar, Potential. - 2002. - 145 p. [In Russian]
7. Hashimoto K., Matsuura F. Comparative studies on two hemoglobin of salmon / K. Hashimoto, F. Matsuura // Bull. Jap. Soc. Sci., Fish. - 1959. - V. 24. - № 9. - P. 719-723.
8. Vasiliev V. P. Evoliutsionnaya kariologiya ryb [Evolutionary Karyology of Fish] / V. P. Vasiliev // M.: Nauka. - 1985. - 301 p. [In Russian]
9. Shcherbukha A. Ya. Primenenie taksonomicheskogo analiza dlia vyyasneniya rodstvennykh svyazei mezhdru predstaviteliami roda *Abramis* i *Blicca* (*Pisces*, *Cyprinidae*) [Use of Taxonomic Analysis to Determine the Kinship between Members of the *Abramis* and *Blicca* (*Pisces*, *Cyprinidae*) Genus] / A. Ya. Shcherbukha // Zool. Mag. - 1973. - V. 52. - No. 2. - P. 225-228. [In Russian]
10. Wierzbicka J. An attempt to explain affinities between *Blicca bjoerkna* (L.), *Abramis brama* (L.) and *A. ballerus* (L.) on the grounds of their parasitic fauna / J. Wierzbicka // Acta ichthyol. piscator. - 1977. - V. 7. - № 1. - P. 3-13.
11. Howes G. Anatomy and phylogeny of the Chinese major carps *Ctenopharyngodon* Steind., 1866 and *Hypophthalmichthys* Blkr., 1860 / G. Howes // Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.), Zool. Ser. - 1981. - V. 41. - No. 1. - P. 1-52.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.023>

СОСНОВЫЕ ЛЕСА НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЧИКОЙ» В БАССЕЙНЕ РЕКИ АЦА

Научная статья

Макаров В.П.¹, Пак Л.Н.^{2*}, Малых О.Ф.³

² ORCID: 0000-0002-3635-8675;

³ ORCID: 0000-0002-0752-9391;

^{1,2,3} Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

* Корреспондирующий автор (pak_lar[at]bk.ru)

Аннотация

Проведены исследования лесных сообществ в бассейне р. Аца на территории природного округа Хэнтэй-Чикойское нагорье. Бассейн р. Аца входит в водосборную площадь бассейна оз. Байкал. Цель статьи заключалась в обобщении материалов инвентаризации флоры сосновых сообществ с выделением редких и охраняемых видов растений бассейна р. Аца. Описаны основные типы сосновых сообществ, которые в бассейне занимают ограниченные площади. Сосновые леса небольшими фрагментами расположены преимущественно на южных, юго-восточных и юго-западных склонах гор. Наибольшим числом видов сосудистых растений (около 90 видов) отличаются сосняки разнотравный и рододендроновый. С точки зрения произрастания редких видов, внесенных Красную книгу Забайкальского края, выделяется сосняк разнотравный (4 вида).

Ключевые слова: сосновые леса, Забайкальский край, Хэнтэ-Чикойское нагорье, бассейн, река Аца.

PINE FORESTS OF THE NATIONAL PARK “CHIKOY” IN THE ATSA RIVER BASIN

Research article

Makarov V.P.¹, Pak L.N.^{2*}, Malykh O.F.³

² ORCID: 0000-0002-3635-8675;

³ ORCID: 0000-0002-0752-9391;

^{1,2,3} Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the RAS

* Corresponding author(pak_lar[at]bk.ru)

Abstract

The article studies forest communities in the river basin of the Atsa River on the territory of the natural district of Khentei-Chikoy highlands. The basin of the Atsa River enters the catchment area of the Baikal Lake. The purpose of the article was to summarize the materials of the inventory of flora of pine communities distinguishing rare and protected plant species of the river basin of Atsa. The main types of pine communities that occupy limited areas in the basin are described. Pine forests are located mainly on the southern, southeastern and southwestern slopes of the mountains in small fragments. Pine and rhododendron pine forests have the greatest number of species of vascular plants (about 90 species). Pine grass stands out (4 species) from the point of view of the growth of rare species listed in the Red Book of the Trans-Baikal.

Keywords: pine forests, Zabaykalsky Krai, Khentei-Chikoy highlands, basin, the Atsa River.

На основании постановления Правительства Российской Федерации № 158 от 28 февраля 2014 года в Красночикойском районе Забайкальского края организован Национальный парк «Чикой», образованный на землях лесного фонда общей площадью 666 467,73 га.

Национальный парк «Чикой» создан в целях сохранения уникальных природных комплексов в верховьях реки Чикой, которые являются эталонными экосистемами кедровых лесов и южно-сибирской тайги, с элементами горных степей и альпийских лугов [1], [2]. Территория Национального парка попадает в границы природоохранной территории бассейна оз. Байкал.

Бассейн р. Аца является левым притоком р. Чикой, которая, в свою очередь, представляет собой правый приток р. Селенга – крупнейшей реки, впадающей в оз. Байкал. Река Аца берёт начало на склонах Яблонового хребта, ее протяженность составляет 90 км. Площадь бассейна р. Аца насчитывает 2050 км².

Для правильной организации и использования территории парка в рекреационных и туристических целях, мониторинга изменения растительных сообществ необходимы знания о составе флоры и растительности. В связи с этим были проведены первые детальные геоботанические исследования бассейна р. Аца.

Цель данной статьи заключалась в обобщении материалов инвентаризации флоры сосновых сообществ с выделением местообитаний редких и охраняемых видов растений бассейна р. Аца.

Геоботаническое описание растительного покрова района исследований проводили в июле-августе 2015 года методом пробных площадей, размер которых составил 400–625 м² [3], [4]. В геоботанических описаниях указывали так же сведения о местообитании (характер рельефа, экспозиция и крутизна склонов, условия увлажнения, высота над уровнем моря, координаты пробных площадей по спутниковому навигатору) и о жизненном состоянии растительного покрова. Для характеристики лесных сообществ использовали таксационные материалы Красночикойского лесничества 1998 г. Оценку обилия видов растений выполняли по шкале проективного покрытия Браун-Бланке. Идентификацию растений проводили по Флоре Сибири [5], [6], [7], [8].

Сосновые леса в бассейне р. Аца расположены преимущественно на южных, юго-восточных и юго-западных склонах гор, крутизной от 5 до 35°, в нижнегорном и среднегорном высотных поясах [9], [10]. Это, как правило, смешанные, разновозрастные (до 200 лет), низкостелные (IV) и среднеполнотные (0,6) насаждения с запасом

древесины до 320 м³/га. В сосновых лесах бассейна р. Аца выделены 3 группы типов леса: разнотравная, рододендроновая и багульниковая.

Сосняки **разнотравные** – распространены на юго-западных, южных и юго-восточных склонах гор, крутизной до 65°. Пробные площади находились на высоте 972-1035 м над уровнем моря. Первый древесный ярус высотой 20-35 м образуют сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), лиственница Гмелина (*Larix gmelinii*). Во втором древесном ярусе обычно преобладает береза повислая (*Betula pendula*), сосна сибирская (*Pinus sibirica*) и ель сибирская (*Picea obovata*). Средний диаметр сосны обыкновенной варьирует в пределах 24-40 см, лиственницы 24-34 см. Средняя высота первого древесного полога составляет 17-30 м.

В подлеске обычно встречаются: шиповник иглистый (*Rosa acicularis*), таволга средняя (*Spiraea media*) и другие растения. Проективное покрытие кустарникового яруса до 30-40%, средняя высота 0,5-3,0 м.

Проективное покрытие травяно-кустарничкового покрова достигает 60%, средняя высота 30-60 см. Обычными видами в сообществе являются: большеголовник одноцветковый (*Rhaponticum uniflorum*), гвоздика разноцветная (*Dianthus versicolor*), горноколосник мягколистный (*Orostachis malacophylla*), горошек ложносочевниковый (*Vicia pseudorobus*), горошек однопарный (*Vicia unijuga*), дендрантема Завадского (*Dendranthemum zawadskii*), осока стоповидная (*Carex pediformis*), полынь пижмолистная (*Artemisia tanacetifolia*), тимьян даурский (*Thymus dahuricus*) и другие растения. Мохово-лишайниковый покров плохо развит.

Подрост образуют сосна обыкновенная и сибирская, лиственница Гмелина, береза повислая и осина (*Populus tremula*). В расчете на 1 га в разнотравном сосняке находится до 0,5 тыс. шт./га, подрост сосны сибирской – до 0,2-0,3 тыс. шт./га, лиственницы Гмелина - 0,1-0,2 тыс. шт./га, березы повислой – до 0,2-0,3 тыс. шт./га. Средняя высота подроста 0,3-4,5 м.

Сосняки **рододендроновые** – встречаются на восточных, юго-западных, юго-восточных склонах, крутизной до 45°, на высоте 923-1078 м над уровнем моря. Древесный ярус рододендронного сосняка образует преимущественно сосна обыкновенная, содоминантом в котором выступает лиственница Гмелина. Во втором древесном ярусе обычно преобладает береза повислая, реже осина. Средняя высота древесного яруса находится в пределах 15-30 м, сомкнутость крон – 50-80%. Средний диаметр стволов сосны обыкновенной составляет 20-54 см, лиственницы Гмелина - 16-26 см, березы повислой - 12 см.

Кустарниковый ярус обычно включает: рододендрон даурский (*Rhododendron dauricum*), таволгу среднюю, шиповник иглистый и другие растения. Развитие кустарникового яруса, как правило, слабое, проективное покрытие обычно менее 25%, хотя местами достигает 75%. Средняя высота кустарникового яруса находится в пределах 2,0 м.

В травяно-кустарничковом ярусе доминируют: астрагал перепончатый (*Astragalus membranaceus*), брусника обыкновенная (*Rhodococcum vitis-idaea*), герань забайкальская (*Geranium transbaicalicum*), горошек однопарный, дендрантема Завадского, земляника восточная (*Fragaria orientalis*), клевер люпиновый (*Lupinaster pentaphyllus*), полынь пижмолистная и другие растения. Проективное покрытие яруса 30-70%, средняя высота – 20-60 см.

Проективное покрытие мохово-лишайникового покрова варьирует в пределах 5-30%. Он включает преимущественно мхи рода сфагнум.

Подрост древесных пород включает сосну обыкновенную и сибирскую, пихту сибирскую (*Abies sibirica*), лиственницу Гмелина, березу повислую и осину. Численность подрост сосны обыкновенной – до 0,3-0,4; сосны сибирской – до 1,5-2,0; пихты сибирской – до 0,1-0,2; березы до 0,1-0,3 тыс. шт./га. Средняя высота подроста находится в пределах 1,0-3,0 м.

Сосняки **багульниковые** – отмечаются на восточных и юго-западных склонах гор, на высоте 906-1020 м над ур. моря. В первом древесном ярусе доминирует сосна сибирская, лиственница Гмелина и береза повислая. Второй древесный ярус образуют пихта сибирская, сосна сибирская, ель сибирская. Сомкнутость древостоя составляет 50-60%, средняя высота первого яруса 25 м, второго - 15-20 м; средний диаметр сосны сибирской варьирует в пределах 14-24 см, лиственницы Гмелина – 30 см, березы повислой - 20 см.

В кустарниковом ярусе чаще встречаются ольховник кустарниковый и шиповник иглистый. Проективное покрытие кустарникового яруса 30-60%, средняя высота яруса обычно 0,7-3,0 м.

В травяно-кустарничковом ярусе доминируют багульник болотный (*Ledum palustre*) и брусника обыкновенная. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса около 60%, средняя высота 40-50 см. Моховой покров хорошо развит, проективное покрытие 80-90%.

В подросте древесных пород находятся сосна сибирская, пихта сибирская и береза повислая. Количество подрост сосны сибирской находится в пределах 0,2-1,5, пихты сибирской 0,2-0,6 и березы повислой 0,2 тыс. шт./га. Средняя высота подрост сосны сибирской 1,0-1,5 м, пихты сибирской 0,3-1,0 м, березы 3,0 м.

Всего во флоре сосновых лесов выявлено 189 видов высших сосудистых растений (табл.). В целом, в исследуемом бассейне выявлено, что богатый видовой состав представлен в сосняке разнотравном (93 вида) и рододендроновом (71 вид). С точки зрения произрастания редких видов, внесенных Красную книгу Забайкальского края, выделяется сосняк разнотравный (4 вида).

Таблица 1 – Флористический состав основных сообществ

Растение	Сосняк		
	разнотравный	рододендроновый	багульниковый
Древесный ярус			
<i>Abies sibirica</i>			1
<i>Populus tremula</i>	1	1-2	1-3
<i>Larix gmelinii</i>	1-3	1	1-3
<i>Picea obovata</i>	1		1
<i>Pinus sylvestris</i>	2-4	4-5	4-5
<i>Pinus sibirica</i>	1		1
<i>Betula pendula</i>	1	1-2	2-4
Кустарниковый ярус			
<i>Lonicera pallasii</i>			1
<i>Salix bebbiana</i>			1
<i>Salix abscondita</i>		1	
<i>Salix taraiensis</i>		1	
<i>Juniperus sibirica</i>			1
<i>Duschekia fruticosa</i>			1
<i>Pentaphylloides fruticosa</i>	1		1
<i>Rhododendron dauricum</i>		1, 3-4	
<i>Ribes spicatum</i>		1	
<i>Spiraea aquilegifolia</i>	1	1	
<i>Spiraea salicifolia</i>	1	1	
<i>Spiraea media</i>	1	1-2	
<i>Rosa acicularis</i>	1	1	1
<i>Malus baccata</i>	1		
Травяно-кустарничковый ярус			
<i>Anemonastrum crinitum</i>		1	
<i>Anemonidium dichotomum</i>			1
<i>Aster alpinus</i>	1	1	1
<i>Astragalus membranaceus</i>	1	1	1
<i>Ledum palustre</i>			3, 5
<i>Cypripedium guttatum*</i>	1	1	
<i>Rhaponticum uniflorum</i>	1	1	
<i>Aconitum barbatum</i>	1		
<i>Rhodococcum vitis-idaea</i>		1, 4	1-5
<i>Valeriana alternifolia</i>	1	1	
<i>Thalictrum baicalense</i>		1	
<i>Thalictrum minus</i>	1	1	
<i>Thalictrum simplex</i>	1		
<i>Calamagrostis epigeios</i>	1	1-2	
<i>Calamagrostis macilenta</i>	2		
<i>Veronica linariifolia</i>	1		
<i>Aquilegia leptoceras</i>	1	1	
<i>Bupleurum bicaule</i>	1	1	
<i>Bupleurum scorzonerifolium</i>	1		
<i>Bupleurum sibiricum</i>	1		

Продолжение табл. 1 – Флористический состав сосновых сообществ

Растение	Сосняк		
	разнотравный	рододендроновый	багульниковый
<i>Actaea erythrocarpa</i>		1	
<i>Actaea erythrocarpa</i>		1	
<i>Woodsia ilvensis</i>	1		
<i>Dianthus versicolor</i>	1	1	
<i>Geranium vlassovianum</i>	1		
<i>Geranium transbaicalicum</i>		1	
<i>Heteropappus altaicus</i>	1		
<i>Heteropappus biennis</i>	1		
<i>Orostachys spinosa</i>	1		
<i>Orostachys malacophylla</i>	1	1	
<i>Vicia baicalensis</i>	1	1	2
<i>Vicia pseudorobus</i>	1	1	2
<i>Vicia cracca</i>	1	1	
<i>Vicia unijuga</i>	1-2	1	1
<i>Vicia amoena</i>	1		
<i>Pyrola asarifolia</i>		2	1
<i>Pyrola rotundifolia</i>		1	
<i>Dendranthemum zawadskii</i>	1	1	
<i>Agropyron cristatum</i>	1		
<i>Fragaria orientalis</i>	1	1	1
<i>Chamaenerion angustifolium</i>	1		1
<i>Polygala tenuifolia</i>		1	
<i>Saxifraga aestivalis</i>		1	
<i>Lupinaster pentaphyllus</i>	1	1	
<i>Atragene sibirica</i>	1	1	
<i>Scorzonera austriaca</i>	1		
<i>Scorzonera radiata</i>		1	
<i>Campanula cephalotes</i>		1	
<i>Bromopsis inermis</i>		1	
<i>Rubus saxatilis</i>		1	1
<i>Rubus humulifolius</i>	1	1	
<i>Hemerocallis minor</i>	1	1	
<i>Senecio cannabifolius</i>		1	
<i>Sanguisorba officinalis</i>		1	
<i>Polygonatum odoratum</i>	1	1	
<i>Polygonatum humile</i>	1		
<i>Polygonatum sibiricum</i>	1	1	
<i>Filipendula palmate</i>			
<i>Potentilla acaulis</i>	1		
<i>Potentilla fragarioides</i>	1		
<i>Potentilla tanacetifolia</i>	1		
<i>Lespedeza juncea</i>	1		
<i>Lilium pumilum*</i>	1		
<i>Lilium pensylvanicum*</i>	1		

Продолжение табл. 1 – Флористический состав сосновых сообществ

Растение	Сосняк		
	разнотравный	рододендроновый	багульниковый
<i>Linnaea borealis</i>			1
<i>Allium splendens</i>	1		
<i>Allium senescens</i>	1		
<i>Maianthemum bifolium</i>		1	
<i>Erigeron acris</i>	1		
<i>Euphorbia dahurica</i>		1	
<i>Pedicularis rubens</i>		1	
<i>Mentha canadensis</i>	1		
<i>Poa botryoides</i>	1		
<i>Myosotis imitata</i>	1		
<i>Helictotrichon schellianum</i>		1	
<i>Festuca lenensis</i>	1		
<i>Carex pediformis</i>	1	1	1
<i>Carex duriuscula</i>	1		
<i>Sedum pallescens</i>	1		
<i>Sedum aizoon</i>	1	1	
<i>Sedum telephium</i>	1		
<i>Patrinia rupestris</i>	1	1	
<i>Galium verum</i>	1		
<i>Galium boreale</i>	1	1	
<i>Artemisia gmelinii</i>	1		
<i>Artemisia commutata</i>	1		
<i>Artemisia tanacetifolia</i>	1	1	
<i>Artemisia desertorum</i>	1		
<i>Artemisia frigida</i>	1		
<i>Pulsatilla flavescens</i>	1	1	
<i>Pulsatilla multifida</i>	1	1	
<i>Pulsatilla turczaninovii</i>		1	
<i>Cystopteris fragilis</i>	1		
<i>Elymus dahuricus</i>	1		
<i>Elymus sibiricus</i>		1	1
<i>Rhodiola rosea*</i>	1		
<i>Saposnikovia divaricata</i>	1		
<i>Trientalis europaea</i>		1	1
<i>Silene jensseensis</i>	1		
<i>Silene repens</i>	1		
<i>Saussurea elongata</i>	1	1	
<i>Saussurea umbrosa</i>	1	1	
<i>Aconogonon angustifolium</i>	1		
<i>Thymus dahuricus</i>	1-2		
<i>Viola gmeliniana</i>		1	
<i>Viola uniflora</i>			1
<i>Chamaerhodos erecta</i>	1		
<i>Equisetum sylvaticum</i>			2

Окончание табл. 1 – Флористический состав основных сообществ

Растение	Сосняк		
	разнотравный	рододендроновый	багульниковый
<i>Schizonepeta multifida</i>	1		
<i>Scutellaria scordiifolia</i>	1		
<i>Delphinium cheilanthum</i>	1		
<i>Delphinium grandiflorum</i>	1		
<i>Youngia tenuifolia</i>	1		
Мохово-лишайниковый покров			
Мох	1	1, 3	4-5

Примечание: *- растения, включенные в перечень объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Забайкальского края; 1-5 - баллы обилия растений по Браун-Бланке.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Геоботаническое районирование СССР / Е. М. Лавренко. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. – 152 с.
2. Типы местности и природное районирование Читинской области. – М.: Изд-во Академии наук, 1961. – 157 с.
3. Вальтер Г. Общая геоботаника / Г. Вальтер. – М.: Мир, 1982. – 264 с.
4. Сукачев, В. Н. Общие принципы и программа изучения типов леса / В. Н. Сукачев, С. В. Зонн. – М., 1961. – С. 9–75.
5. Перечень объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Забайкальского края, постановление правительства Забайкальского края от 16 февраля 2010 года, № 52.
6. Флора Сибири в 14 т. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1988. – 2003 с.
7. Ярошенко П. Д. Геоботаника / П. Д. Ярошенко. – М.: Просвещение, 1969. – 200 с.
8. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С.К. Черепанов. – СПб.: Мир и семья, 1995. — 992 с.
9. Бобринев В. П. Древесные растения Читинской области / В. П. Бобринев. – Чита: Читинская областная типография, 2000. – 194с.
10. Бобринев В. П. Древесная флора Забайкальского края / В.П. Бобринев, Л. Н. Пак, Е. А. Банщикова. – Чита: ЗабГУ, 2016. – 215 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Geobotanicheskoe rajonirovanie SSSR [Geobotanical regionalization of the USSR] / E.M. Lavrenko. – М.; Л.: Izd-vo AN SSSR, 1947. – 152 p. [in Russian]
2. Tipy mestnosti i prirodnoe rajonirovanie CHitinskoj oblasti [Types of terrain and natural zoning of Chita region]. – М.: Izd-vo Akademii nauk, 1961. – 157 p. [in Russian]
3. Val'ter G. Obshchaya geobotanika [General geobotany] / G. Val'ter. – М.: Mir, 1982.– 264 p. [in Russian]
4. Sukachev V. N. Obshchie principy i programma izucheniya tipov lesa [General principles and program of forest types study] / V. N. Sukachev, S. V. Zonn. – М., 1961. – P. 9–75. [in Russian]
5. Perechen' ob"ektov rastitel'nogo mira, zanesennyh v Krasnuyu knigu Zabajkal'skogo kraja [The list of objects of flora listed in the red book of the TRANS-Baikal territory], postanovlenie pravitel'stva Zabajkal'skogo kraja ot 16 fevralya 2010 goda, № 52. [in Russian]
6. Flora Sibiri [Flora of Siberia] v 14 t. – Novosibirsk: Nauka, Sibirskaya izdatel'skaya firma RAN, 1988. – 2003 p. [in Russian]
7. Yaroshenko P.D. Geobotanika [Geobotany] / P.D. Yaroshenko. – М.: Prosveshchenie, 1969. – 200 p. [in Russian]
8. Cherepanov S.K. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nyh gosudarstv (v predelah byvshego SSSR) [Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the former USSR)] / S.K. Cherepanov. – SPb.: Mir i sem'ya, 1995. — 992 p. [in Russian]
9. Bobrinev V.P. Drevesnye rasteniya CHitinskoj oblasti [Woody plants of the Chita region] / V.P. Bobrinev. – CHita: CHitinskaya oblastnaya tipografiya, 2000. – 194 p. [in Russian]
10. Bobrinev V.P., Pak L.N., Bانشchikova E.A. Drevesnaya flora Zabajkal'skogo kraja [Woody flora of the TRANS-Baikal region] / V.P. Bobrinev. – CHita: ZabGU, 2016. – 215 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.024>

СВОЙСТВА ПОЧВ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ТЕХНОГЕННЫХ КАТЕН ПРИМОРСКОГО КРАЯ (НА ПРИМЕРЕ ОТВАЛОВ УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА «ПАВЛОВСКИЙ»)

Научная статья

Полохин О.В. *

ORCID: 0000-0002-5519-5808,

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия

* Корреспондирующий автор (o.polokhin[at]mail.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные проблемы определения специфики формирования почвенного покрова на самозарастающих отвалах. Для этого решались задачи по определению морфологических и иных свойств почв. Установлено, что основные педогенные преобразования происходят в корнеобитаемом слое. Переходные горизонты трудно определяемы при морфологическом исследовании. Это объясняется, с одной стороны, слабым развитием процессов, а с другой – высоким содержанием углистых частиц в породах, слагающих отвалы. Кривая распределения общего органического углерода по профилю имеет вогнутый характер с резким падением с глубиной (аккумулятивный тип распределения). В результате лессиважа минимальное содержание фракции физической глины перемещается в более глубокие слои в почвах подчиненных элементах ландшафта. Содержание же фракции ила при этом увеличивается, что может свидетельствовать о процессах не только физической, но и педогенной дезинтеграции пород, слагающих отвал.

Ключевые слова: нарушенные земли, рекультивация, почва, почвообразование.

PROPERTIES OF SOILS IN DEVELOPING TECHNOGENIC CATENAS OF PRIMORSKY KRAI (ON THE EXAMPLE OF PAVLOVSKY COAL DEPOSIT WASTES)

Research article

Plokhin O.V.

ORCID: 0000-0002-5519-5808

Federal Scientific Center for Biodiversity of Terrestrial Biota of East Asia of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

* Corresponding author (o.polokhin[at]mail.ru)

Abstract

The article discusses current problems of determining the main features of soil formation on self-expanding tank wastes. For this purpose, tasks were performed to determine morphological and other properties of the soil. It is established that the main pedogenic transformations occur in the root zone. Transition horizons are difficult to determine during morphological study. This is explained, on the one hand, by the weak development of the processes, and on the other, by the high content of carbonaceous particles in the rocks that form the wastes. The distribution curve of the total organic carbon along the profile is of concave character with a sharp drop with depth (accumulative distribution type). As a result of the illimerization, the minimum content of the fraction of physical clay moves to deeper layers in soils of the subordinate elements of the landscape. At the same time, the content of the sludge fraction increases, which may indicate processes of not only physical, but also of pedogenic disintegration of the rocks composing the waste.

Keywords: disturbed soils, reclamation, soil, soil formation.

Поверхность техногенных ландшафтов, возникающих в результате работы горнодобывающей промышленности, представляет собой территорию с глубокими выемками (карьерями) и возвышенностями (внешними отвалами). При этом участки, занятые отвалами занимают большую площадь (до 60% территории разрезов) [2], [3]. Пространственное сочетание склоновых поверхностей данных техногенных образований можно рассматривать и изучать как катены [5, 6]. Они построены из элементарных ландшафтов на автономных возвышенностях (элювиальные ландшафты) до ландшафтов зон конечной аккумуляции (аккумулятивные ландшафты). Значительная часть отвалов (в Приморском крае в ряде случаев до 98%) не рекультивируется и остается под самозрастание. Понимание процессов, происходящих при естественном возобновлении почвообразования, является не только актуальной фундаментальной задачей почвоведения, но и позволяет прогнозировать последствия применяемых технологий и способов рекультивации, что необходимо при создании безопасных для человека и окружающей среды зон [4], [9]. Цель исследований состояла в определении специфики формирования почвенного покрова на самозарастающих отвалах. Для этого решались задачи по определению химических, физических, физико-химических свойств почв, на элементарных ландшафтах развивающихся техногенных катен.

В ходе исследований изучались почвы, сформированные на внешнем 30-35 летнем отвале участка «Северный», разработанного в 1985-1994 г.г. угольного разреза «Павловский» (разрезоуправление «Новошахтинское» ООО «Приморскуголь» АО «СУЭК»). На разрезе добывается бурый уголь открытым способом. Отвалы находятся в 600 м на юго-восток от дороги ведущей в п. Новошахтинский (Приморский край, Михайловский район). Данный отвал формировался железнодорожным и автомобильным способами, был частично спланирован. Высота отвала 12-13 метров. Для выполнения поставленных задач был заложен катенарный профиль с выделением элементарных ландшафтов. Почвенные разрезы были заложены на типичных участках элементарного элювиального ландшафта, трансаккумулятивного и аккумулятивного элементарных ландшафтов.

Описание почвенного профиля по морфологическим признакам производили в ходе полевых почвенных исследований. Определение гранулометрического состава выполнялось по методу Н.А. Качинского [7].

Определение общего органического углерода было произведено по методу Тюрина в модификации ЦИАО (ГОСТ 26213-91) [1], определение pH почвенной водной суспензии произведено потенциометрически, плотность сложения почвы – объемно-весовым методом [7]. В работе использовали субстантивную профильно-генетическую классификацию почв техногенных ландшафтов [2], [3].

Климат в районе исследования континентальный с муссонными чертами. Безморозный период длится 150-160 дней. По влагообеспеченности район является влажным. Гидротермический коэффициент 1,6-2. Годовое количество осадков 500-700 мм, из которых 9-17% выпадает в зимний период [10].

При добыче бурого угля открытым способом производится транспортировка вскрышных и вмещающих пород в породные отвалы. При этом отвалообразование осуществляется не селективным способом. Это приводит к смешению пород различных по петрографическому и минералогическому составам. Субстрат, слагающий отвалы, в дальнейшем выступает в роли почвообразующих пород. Изучаемый отвал с западной стороны граничит с обводным каналом, заполненным водой, который является здесь зоной конечной аккумуляции. С трех других сторон находятся отвалы вскрышных и вмещающих пород с карьерными выемками. Вскрышные породы представлены разнозернистыми слабосцементированными песчаниками, аллювиальными песчано-галечниковыми отложениями суйфунской свиты, четвертичными глинами, аргиллитами, алевролитами, и пластами угля усть-давыдовской свиты. Актуальная кислотность пород от кислой до слабокислой. Степень насыщенности пород основаниями 61-84%. Гранулометрический состав пород от среднесуглинистого до среднеглинистого. Эти породы медленно преобразуются в условиях гипергенеза и малоподатливы к внутрипрофильной дифференциации.

Разрез Л 11–14. Заложен на юго-западном склоне (угол уклона 1–3°) участка элювиального ландшафта. Мезорельеф с мелкими буграми, рытвинами, неглубокими оврагами. Микрорельеф просадочно-насаженный с блюдцами и западинами. Древесная растительность представлена осиной дрожащей. Кроме нее в подросте присутствует боярышник Максимовича. Среди травянистой растительности доминирует хвощ полевой с отдельными экземплярами осок, клевера лугового, синюхи рыхлоцветковой, мышиным горошком и полынками. Общее проективное покрытие трав составляет 20-50%. Формула профиля почвы О (0-1 см) – Ао (1-2,5 см) – С1 (2,5-8 см) – С2 (8-20 см) – С3 (20-60 см). Грубогумусовый горизонт порошистый, представляет собой смесь органических остатков со слабо прокрашенной минеральной частью. Переходный горизонт не выделяется. Нижележащие слои выделяются по количеству корней и плотности. Почва определена как эмбриозем органо-аккумулятивный иллювиально-гумусовый. Анализ гранулометрического состава мелкозема показал, что грубогумусовый горизонт среднесуглинистый мелкопылевато-среднепесчаный. В нижерасположенных слоях происходит увеличение фракции средней пыли и крупного песка. Плотность сложения почвы изменяется от 0,85 г/см³ в грубогумусовом горизонте до 1,18-1,25 г/см³ в нижележащих слоях (табл.). Величина pH опада – 5,91. Верхний горизонт слабокислый (pH_{водн.} – 6,22). В нижних слоях значения pH снижаются до 5,87. В грубогумусовом горизонте количество общего органического углерода составляет 2,34%. В нижележащих слоях его содержание резко уменьшается до значений 0,26-0,62%. Характер распределения соответствует аккумулятивному типу. Тип гумуса гуматно-фульватный.

Таблица 1 – Свойства почв техногенной катены

Горизонт, глубина, см	pH _{водн.}	dv, г/см ³	C _{орг} , %	Фракция <0,01мм, %	Фракция <0,001 мм, %
Л 11–14. Элювиальный ландшафт					
Ао 1-2,5	6,22	0,85	2,34	30,1	11,2
С1 2,5-8	6,34	1,25	0,61	64,4	17,5
С2 8-20	6,14	1,18	0,52	61,5	20,5
С3 20-60	5,87	1,26	0,26	65,0	15,7
Л 12–14. Трансаккумулятивный ландшафт					
Ао 1-4	5,74	0,57	3,84	47,5	18,2
АВ 4-9	5,92	1,24	1,07	54,1	29,1
С1 9-21	5,86	1,26	0,65	59,0	33,1
С2g 21-60	5,74	1,28	0,52	64,7	50,3
Л 13–14. Аккумулятивный ландшафт					
Ао 0,5-2	5,55	1,19	1,1	29,0	11,3
С1g 2-16	5,85	1,26	0,82	40,1	26,5
С2g 16-60	5,68	1,47	0,33	66,2	38,6

Разрез Л 12–14. Заложен на площадке в средней части катены (трансаккумулятивный элементарный ландшафт), представляющей собой северо-западный склон крутизной 3-5°. В древесной растительности преобладает осина дрожащая с березой плосколистной. Кустарники представлены жимолостью Рупрехта. В травянистом ярусе доминирует хвощ полевой с единичными растениями осоки низенькой, репешка клейкого, девясила японского, мятлика Скворцова. Общее проективное покрытие трав до 50%. Профиль почвы имеет следующее строение О (0-1 см) – Ао(1-4 см) – АВ (4-9 см) – С1 (9-21 см) – С2g (21-60 см). Грубогумусовый горизонт по структуре мелкозернисто-пылеватый. В нем отмечается много корней, микоризы. Переходный горизонт пылевато-бесструктурный. Вниз по профилю наблюдаются явления оглеенности. Тип почвы определяется как эмбриозем органо-аккумулятивный (кустарничково-корневой) иллювиально-гумусовый глееватый. В верхней части профиля горизонты тяжелосуглинистые. Нижележащие слои средне глинистые. Это свидетельствует о том, что в результате лессиважа

минимальное содержание фракции физической глины перемещается в более глубокие слои (табл.). Содержание же фракций илистых частиц при этом увеличивается, что может свидетельствовать о процессах не только физической, но и педогенной дезинтеграции пород, слагающих отвал. Коэффициент степени дифференциации почвенного профиля, определяемый как отношение содержания илистых частиц в горизонте вымывания к содержанию ила в горизонте А₀, составляет 3,06 [8]. Это говорит о резко дифференцированном профиле. По плотности сложения верхний горизонт вспушенный (0,57 г/см³). Нижележащие горизонты уплотнены. Плотность сложения в них резко возрастает до 1,28 г/см³. Опад по величине актуальной кислотности и почвенные горизонты слабокислые, дифференциации не наблюдается. Содержание органического вещества в верхнем 0–2 см горизонте составляет 3,84% с резким уменьшением вниз по профилю. Гумус гуматно-фульватный.

Разрез Л 13–14. Заложен в нижней части отвала (аккумулятивный элементарный ландшафт). Древесный ярус представлен осинной и 4-мя видами ив. Древостой пройден низовыми пожарами. Из кустарников отмечены крушина даурская, рябинник рябинолистный, бересклет малоцветковый. В травяном ярусе доминирует хвощ полевой (85%). Проективное покрытие – 30%. Профиль почвы имеет следующее строение: О (0–0,5 см) – А₀ (0,5–2 см) – С₁g (2–16 см) – С₂g (16–60 см) (табл.). Верхний горизонт по гранулометрическому составу тяжелосуглинистый, порошистой структуры. Нижерасположенные слои бесструктурные, влажные, более плотные. В нижней части профиля отмечены сизые пятна. По гранулометрическому составу они определяются как средне глинистые. Тип почвы – эмбриозем органо-аккумулятивный иллювиально-гумусовый глееватый. Плотность сложения в слое 0–10 см составляет 1,17–1,19 г/см³, ниже происходит резкое увеличение до значений 1,42–1,47 г/см³. По величине рН_{водн.} – кислые, с увеличением кислотности вниз по профилю. Содержание С_{орг} изменяется от 1,1% до 0,5% вниз по профилю. Кривая распределения общего органического углерода по профилю имеет вогнутый характер с резким падением с глубиной (аккумулятивный тип распределения). В групповом составе гумусовых кислот преобладают фульвокислоты, содержание которых увеличивается вниз по профилю. Тип гумуса гуматно-фульватный.

В развивающихся техногенных катенах на элементарных ландшафтах дифференциация по физическим, физико-химическим и химическим свойствам выявлена в корнеобитаемом (0–20 см) слое. Переходные горизонты трудноопределяемые при морфологическом исследовании. Это объясняется с одной стороны слабым развитием процессов, а с другой – высоким содержанием углистых частиц в породах, слагающих отвалы. Кривая распределения общего органического углерода по профилю имеет вогнутый характер с резким падением с глубиной (аккумулятивный тип распределения). В результате исследований установлено, что наиболее заметные педогенные преобразования исходной толщи пород наблюдаются в почвах, развивающихся на элементарных трансаккумулятивных ландшафтах.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Изд-во Наука, 1975. – 656 с.
2. Андроханов В. А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка / В. А. Андроханов, В. М. Курачев // Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 224 с.
3. Двуреченский В. Г. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов Новокузнецкого промышленного комплекса / В. Г. Двуреченский, В. А. Андроханов // «Живые и биокосные системы». – 2017. – № 20; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-20/article-3>
4. Двуреченский В. Г. Сравнительная характеристика фракционного и группового состава гумуса в эмбриоземах техногенных ландшафтов горно-таежного пояса Кузбасса / В. Г. Двуреченский, В. П. Середина // Сибирский экологический журнал. – 2015. – Т. 22. – № 6. – С. 952–965.
5. Полохин О. В. Сингенетичность почв и растительности техногенных ландшафтов юга Приморья / О. В. Полохин, Л. Н. Пуртова, Л. А. Сибирина и др. // Естественные и технические науки. – 2010. – №5. – С. 164–166.
6. Полохин О. В. Специфика преобразования минеральных форм фосфатов при почвообразовании в техногенных ландшафтах / О. В. Полохин // Сибирский экологический журнал. – 2007. – № 5. – С. 843–847.
7. Практикум по почвоведению / Под ред. И.С. Кауричева. – М.: Колос, 1980. – 272 с.
8. Розанов Б. Г. Генетическая морфология почв / Б. Г. Розанов. – М., Изд-во МГУ, 1975. – 284 с.
9. Соколов Д. А. Морфогенетическая диагностика процессов почвообразования на отвалах каменноугольных разрезов Сибири / Д. А. Соколов, В. А. Андроханов, С. П. Кулижский и др. // Почвоведение. – 2015. – № 1. – С. 106–117.
10. Polokhin O. V. Trace elements in the soils of the man-made landscapes in Primorsky Territory / O. V. Polokhin // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 2-3 (44). – С. 36–38.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Agrochemical methods of soil research. – M.: Publishing House Science, 1975. – 656 p. [in Russian]
2. Androkhonov V. A. Soil-ecological state of technogenic landscapes: dynamics and assessment / V. A. Androkhonov, V. M. Kurachev // Ros. Acad. Sciences, Sib. Department, Institute of Soil Science and Agrochemistry. Novosibirsk: Publishing House of the SB RAS, 2010. – 224 p. [in Russian]
3. Dvurechensky V. G. The soil-ecological state of technogenic landscapes of the Novokuznetsk industrial complex / V. G. Dvurechensky, V. A. Androkhonov // “Live and bio-kosy systems.” – 2017. – № 20; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-20/article-3> [in Russian]
4. Dvurechensky V. G. Comparative characteristics of the fractional and group composition of humus in the embryozem of technogenic landscapes of the mountain taiga belt of the Kuzbass / V. G. Dvurechensky, V. P. Mid // Siberian Journal of

Ecology. – 2015. – V. 22. – № 6. – P. 952-965. [in Russian]

5. Polokhin O. V Syngenetic character of soils and vegetation of technogenic landscapes in the south of Primorye / O. V. Polokhin, L. N. Purtova, L. A. Sibirin and others // Natural and technical sciences. – 2010. – №5. – P. 164-166. [in Russian]

6. Polokhin O. V Specificity of the conversion of mineral forms of phosphates during soil formation in technogenic landscapes / O. V. Polokhin // Siberian Journal of Ecology. – 2007. – № 5. – P. 843-847. [in Russian]

7. Practical work on soil science / Ed. I. S. Kauricheva. - M.: Kolos, 1980. - 272 p.

8. Rozanov B. G. Genetic soil morphology / B. G. Rozanov. – Moscow, Moscow State University Publishing House, 1975. – 284 p. [in Russian]

9. Sokolov D. A. Morphogenetic diagnosis of soil formation processes in dumps of coal mines in Siberia / D. A. Sokolov, V.A. Androkhonov, S.P. Kulzhsky, E.A. Domozhakova, S.V. Loiko S. // Soil science. – 2015. – № 1. – P. 106-117. [in Russian]

10. Polokhin O. V. Trace elements in the soils of man-made landscapes in Primorsky Territory / O. V. Polokhin // International Research Journal. – 2016. – № 2-3 (44). – P. 36-38.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.025>

ПСИХРОТОЛЕРАНТНЫЕ БАКТЕРИИ ПОЧВ МОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Научная статья

Сидоренко М.Л.^{1,*}, Бойко А.Н.², Слепцова Н.А.³, Сидоренко В.А.⁴

¹ ORCID: 0000-0003-2008-3029;

² ORCID: 0000-0002-0584-8882,

^{1,2} ФНИЦ Биоразнообразия наземной биоты восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия;

³ ORCID: 0000-0002-4226-1984,

³ Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;

⁴ ORCID: 0000-0001-6483-1987,

⁴ Тихоокеанский государственный медицинский университет, Владивосток, Россия

* Корреспондирующий автор (sidorenko[at]biosoil.ru)

Аннотация

Из почв морского побережья Приморского края выделено 89 изолятов. 19 изолятов были психротолерантными и могли расти в диапазоне 4- 30⁰С или 4-37⁰С. Идентификация показала, что пять штаммов принадлежали к роду *Kocuria*, шесть штаммов – к роду *Staphylococcus*, по два штамма – к родам *Bacillus* и *Pseudomonas*, и по одному штамму принадлежали к родам *Carnobacterium*, *Escherichia*, *Serratia*, *Agrococcus*. Исследовали их ферментативную активность при разных температурах и выяснили, что наибольшим спектром при 4⁰С обладают штаммы *Pseudomonas* и *Serratia*.

Ключевые слова: психротолерантные микроорганизмы, ферментативная активность, почвы морского побережья, Приморский край.

PSYCHROTOLERANT BACTERIA OF COASTAL SOILS OF PRIMORSKY KRAI

Research article

Sidorenko M.L.^{1,*}, Boyko A.N.², Sleptsova N.A.³, Sidorenko V.A.⁴

¹ ORCID: 0000-0003-2008-3029;

² ORCID: 0000-0002-0584-8882,

^{1,2} Federal Science and Biological Center for Bioenergy of the Terrestrial Biota of Eastern Asia, Vladivostok, Russia

³ ORCID: 0000-0002-4226-1984,

³ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;

⁴ ORCID: 0000-0001-6483-1987,

⁴ Pacific State Medical University, Vladivostok, Russia

* Corresponding author (sidorenko[at]biosoil.ru)

Abstract

89 isolates were singled out from the coastal soils of Primorsky Krai. 19 isolates were psychrotolerant and could grow in the range of 4–30 °C or 4–37 °C. Identification showed that five strains belonged to *Kocuria* genus, six strains – to *Staphylococcus* genus, two strains – to *Bacillus* and *Pseudomonas* genera, and one strain belonged to *Carnobacterium*, *Escherichia*, *Serratia*, *Agrococcus* genera. Their enzymatic activity at different temperatures was studied and it was established that the strains of *Pseudomonas* and *Serratia* have the highest spectrum at the temperature of 40 °C.

Keywords: psychrotolerant microorganisms, enzymatic activity, coastal soils, Primorsky Krai.

Исследования микроорганизмов в современном мире ведутся весьма активно, накоплено большое количество сведений о биоразнообразии, экологии и эволюции микроорганизмов. Только около 2% микроорганизмов используются на благо человека и приносят коммерческую выгоду, инвестиции в изучение микроорганизмов относительно малы [8]. Идентификация микроорганизмов, их изменчивость, различия в составе белков и липидов, их физиологический потенциал, химические характеристики могут иметь большое значение в будущем [20].

Микроорганизмы являются ценными источниками биологически активных веществ, которые могут быть использованы в различных областях промышленности, медицины, фармацевтики, науки и других. Психрофильные микроорганизмы обладают большим спектром ферментов, которые могут быть активны в достаточно широком диапазоне температур и поэтому очень ценны для биотехнологии [3], [4], [5], [6], [7]. Кроме этого, психрофилы являются источником генов, которые расширяют возможности генной инженерии [4, 19]. Микроорганизмы, присутствующие в районах с постоянно низкими температурами, являются богатыми источниками ферментов [12], фармацевтических препаратов [9, 10], биотоплива, антимикробных соединений [15] и т.д.

Географическое положение российского Дальнего Востока, уникальные геологические особенности обеспечивают богатые источники разнообразия психрофильных микроорганизмов.

Цель исследования - выделение и изучение психротолерантных микроорганизмов из почв Приморского края.

В качестве объектов исследования служили образцы почв, отобранные на морском побережье юга Приморского края. Район работ включал побережье бухт Троицы (Хасанский район), Находка (г. Находка), Золотой Рог (г. Владивосток), Круглая (о. Русский).

Образцы почвы, каждый весом около 30г (без содержания льда) отбирались в течение марта 2018г. До отбора образца 1-2 см поверхности почвы удаляли стерильным шпателем, затем использовали другой стерильный шпатель, с помощью которого почву собирали, переносили в стерильные полипропиленовые пакеты. Пакеты транспортировали в лабораторию в стерильных сумках-холодильниках и хранили до исследования при -16°C не более 2-х суток.

Для выделения культивируемых бактерий проводили посев почвы на пептонный агар (ПА) (1% пептона ("Микроген" ФГУП НПО МЗ РФ), 0,5% NaCl на дистиллированной воде с 2%-ным агаром, pH 7,4) и растительный агар (РА) [1]. Примерно 1 г образца почвы суспендировали в 0,9% NaCl и встряхивали в течение 2 ч при 15°C . Для изоляции бактерий, 100 мкл образца почвенной суспензии высевали на поверхность плотной питательной среды (ПА и РА) и инкубировали при 4°C в течение 15 дней [18]. Регистрировали количество колоний и разные морфотипы очищали и поддерживали на агаровой среде ПА и РА

Рост при разных температурах (4, 18, 30, 37°C) Проверяли с использованием питательного бульона (ПБ) (1% пептона ("Микроген" ФГУП НПО МЗ РФ), 0,5% NaCl на дистиллированной воде, pH 7,4)

Внеклеточные ферментативные активности, такие как амилазу [16], липазу [5], протеазу [16] проверяли путем инкубации на агаровых пластинах АВМ, дополненных либо 0,2% растворимыми крахмал, 1% Твин-60 вместе с 0,01% CaCl₂, 0,3% казеина, соответственно, и инкубировали при 4 и 18°C в течение 5-10 дней.

Морфологические и физиолого-биохимические свойства выделенных бактерий устанавливали в соответствии с классическими методами микробиологии [2]. Идентификацию проводили с помощью определителя Берджи [6] и также были использованы наборы для идентификации API (BioMerieux, Франция).

В ходе исследования было выделено 89 изолятов бактерий из почв морского побережья: 30 – побережье Золотого Рога, 19 – побережье бухты Троица, 24 – побережье бухты Находка и 16 – побережье бухты Круглая. Для дальнейших исследований все изоляты были сгруппированы в 19 морфотипов на основе морфологии их колонии

Для определения таксономической принадлежности полученных микроорганизмов проводилось изучение их культуральных и физиолого-биохимических свойств с помощью классических микробиологических методов.

Таксономический анализ всех 19 штаммов различного морфотипа, выделенных из образцов почвы, показал, что 4 штамма были грамотрицательными и 15 были грамположительными. Результаты биохимических исследований и API-тестов показали, что пять штаммов принадлежали к роду *Kocuria*, шесть штаммов – к роду *Staphylococcus*, по два штамма – к родам *Pseudomonas* и *Bacillus*, и по одному штамму принадлежали к родам *Carnobacterium*, *Escherichia*, *Serratia*, *Agrococcus* (таблица 1).

По результатам таксономического исследования обнаружено присутствие бактерий рода *Staphylococcus* в почвах прибрежных территорий трех бухт (Троицы, Золотой рог, Находка). Бактерии рода *Kocuria* также обнаружены в почвах прибрежных территорий трех бухт (Троицы, Находка и Круглая).

Таблица 1 – Характеристики и ферментативная активность бактериальных штаммов, выделенных из образцов почвы морского побережья Приморского края

Район выделения	Номер штамма	Родовая принадлежность	Принадлежность по Граму	Диапазон ростовых температур, $^{\circ}\text{C}$	Ферментативная активность					
					амилаза		протеаза		липаза	
					4°C	20°C	4°C	20°C	4°C	20°C
Бухта Троицы	sT14	<i>Carnobacterium</i>	+	4-30	+	+	-	-	+	-
	sT16	<i>Kocuria</i> ,	+	4-30	+	+	-	-	+	-
	sT12	<i>Staphylococcus</i>	+	4-37	-	-	-	+	+	+
	sT13	<i>Staphylococcus</i>	+	4-37	-	-	-	+	+	+
	sT24	<i>Staphylococcus</i>	+	4-37	-	-	-	+	+	+
Бухта Круглая	sK13	<i>Kocuria</i>	+	4-30	+	+	-	-	+	-
	sK16	<i>Kocuria</i>	+	4-30	+	+	-	-	+	-
	sK18	<i>Pseudomonas</i>	-	4-30	+	+	+	+	+	+
	sK17	<i>Kocuria</i>	+	4-30	+	+	-	-	+	-
	sK15	<i>Bacillus</i>	+	4-30	-	-	-	+	+	+
	sK26	<i>Bacillus</i>	+	4-30	-	-	-	+	+	+

Окончание табл. 1 – Характеристики и ферментативная активность бактериальных штаммов, выделенных из образцов почвы морского побережья Приморского края

Район выделения	Номер штамма	Родовая принадлежность	Принадлежность по Граму	Диапазон ростовых температур, °С	Ферментативная активность					
					амилаза		протеаза		липаза	
					4°С	20°С	4°С	20°С	4°С	20°С
Бухта Золотой рог	sGB18	<i>Escherichia</i>	-	4-37	-	+	-	-	+	-
	sGB19	<i>Pseudomonas</i>	-	4-30	+	+	-	+	+	-
	sGB11	<i>Serratia</i>	-	4-30	+	+	+	-	+	-
	sGB16	<i>Staphylococcus</i>	+	4-37	-	-	-	+	+	+
Бухта Находка	sN13	<i>Staphylococcus</i>	+	4-37	-	-	-	+	+	+
	sN24	<i>Staphylococcus</i>	+	4-37	-	-	-	+	+	+
	sN25	<i>Agrococcus</i>	+	4-30	+	+	-	+	+	-
	sN11	<i>Kocuria</i>	+	4-30	+	+	-	+	+	-

Отобранные 19 изолятов были исследованы на психрофильность. В результате установлена психротолерантность всех 19 изолятов, все они могли расти в диапазоне 4- 30°С или 4-37°С (таблица 1).

Активность амилазы была обнаружена у большинства штаммов (11 из 19), при этом она не зависела от температурного режима (таблица 1). Активность липазы обнаруживалась у всех штаммов при 4°С, а при 20°С таким свойством обладали только 9 из 19 штаммов. Протеазная активность при 4°С обнаруживалась только у двух штаммов (sK18 *Pseudomonas* и sGB11 *Serratia*), при этом при 20°С протеазную активность показали 12 штаммов.

В результате исследований выделяются два штамма, обладающие наилучшей ферментативной активностью. Штамм sGB11 *Serratia*, выделенный из прибрежных почв бухты Золотой рог, обладает амилазной, протеазной и липазной активностью при 4°С, при 20°С показывает только амилазную активность. Штамм sK18 *Pseudomonas* выделенный из прибрежных почв бухты Круглая обладает полным набором исследованных активностей не зависимо от температуры.

Бактерии рода *Pseudomonas*, по литературным данным, выделяется из активного ила на муниципальных очистных сооружениях в Японии, с возможностью использования алкилфенола с прямой цепью от 1 до 9 атомов углерода [17]. В питательном бульоне штамм может расти на 30 и 37°С, но не могут расти при температуре 4°С или 42°С. Другая исследовательская группа опубликовала результаты своих исследований штамма *P. japonica*, выделенного из активного ила и способного вырабатывать сигнальные молекулы и образовывать биопленку в мембранном реакторе [14]. В нашем предварительном исследовании штамм sK18 *Pseudomonas*, выделенный из почвы морского побережья, обладает способностью продуцировать ферменты, разрушающие крахмал, Твин-60 и казеин, а активность не зависит от температуры культивирования. Насколько нам известно, это первый случай выделения штамма с ферментативной активностью при низкой температуре с потенциалом для разработки новых холодных активных ферментов, поэтому мы планируем дальнейшую работу с этим штаммом.

Бактерии рода *Serratia* являются факультативными анаэробами, которые могут быть обнаружены в окружающей среде и способны колонизировать в почве, воде и пищеварительных трактах грызунов, насекомых, рыб, людей и на растениях [13]. Было доказано, что эта бактерия обладает противогрибковыми свойствами в ризосфере растений [11]. Мы выделили штамм sGB11 *Serratia*, который показывает активность широкого спектра гидролитических ферментов в диапазоне 4°С.

Таким образом, из почв морского побережья выделено 19 психротолерантных штаммов. Холодоактивные ферменты психротолерантных бактериальных штаммов sGB11 *Serratia* и sK18 *Pseudomonas*, выделенных из почв морского побережья Приморского края могут дать новые возможности для биотехнологического использования.

Финансирование

Статья подготовлена по результатам работы, выполненной при финансовой поддержке Президиума ДВО РАН (проект 18-МНТ-010).

Funding

The article was prepared based on the results of the work carried out with the financial support of the Presidium of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (project 18-MNT-010).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Бузолева Л.С. Адаптация патогенных бактерий к абиотическим факторам окружающей среды: дисс. ... докт. биол. наук: 03.00.07: защищена 22.09.01: утв. 15.12.01 / Бузолева Любовь Степановна. – Владивосток, 2001. – 316 с.
- Винникова О.И., Самойлов А.М., Попова Ю.В. Выделение и идентификация бактерий: методические рекомендации для студентов биологического факультета специализации "Микробиология и вирусология" / О.И. Винникова, А.М. Самойлов, Ю.В. Попова – Харьков: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2011. – 60 с.
- Нетрусов А.И., Бонч-Осмоловская Е.А., Горленко В.М. Экология микроорганизмов / А.И. Нетрусов, Е.А. Бонч-Осмоловская, В.М. Горленко. – М.: Академия, 2004. — 272 с.
- Bell N. Methyl iodide: Atmospheric budget and use as a tracer of marine convection in global models / N. Bell, L. Hsu, D.J. Jacob and others // J. Geophys. Res. – 2002. – Vol. 107. - № 17. – P. 4340. doi:10.1029/2001JD001151.

5. Methods in microbiology / edited by C. Booth. – New York: Academic Press, 1971. – 794 p.
6. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology / edited by G.M. Garrity. – Berlin: Springer, 2004. — 1136 p.
7. Feller G., Gerday C. Psychrophilic enzymes: hot topics in cold adaptation / G. Feller, C. Gerday // Nat. Rev. Microbiol. – 2003. – № 1. – P. 200–208.
8. Gomes J., Steiner W. The Biocatalytic Potential of Extremophiles and Extremozymes / J. GOMES, W. STEINER // Food Technol. Biotechnol. – 2004. – Vol. 42. – № 4. – P. 223–235.
9. Guider T.A.M., Moore B.S. Chasing the treasures of the sea bacterial marine natural products / T.A.M. Guider, B.S. Moore // Curr. Opin. Microbiol. – 2009. – № 12. – P. 252–260.
10. Haygood M.G., Schmidt E.W., Davidson S.K. and others. Microbial symbionts of marine invertebrates: opportunities for microbial biotechnology / M.G. Haygood, E.W. Schmidt, S.K. Davidson and others // J Molec Microbiol Biotechnol. – 1999. – Vol. 1. – № 1. – P. 33–43.
11. Kalbe C., Marten P., Berg G. Strains of the genus *Serratia* as beneficial rhizobacteria of oilseed rape with antifungal properties / C. Kalbe, P. Marten, G. Berg // Microbiol Res. – 1996. – Vol. 151. – P. 433–439.
12. Kennedy J., Marchesi J.R., Dobson A.D.W. Marine metagenomics: strategies for the discovery of novel enzymes with biotechnological applications from marine environments / J. Kennedy, J.R. Marchesi, A.D.W. Dobson // Microb Cell Factories. – 2008. – № 7. – P. 27.
13. Labbate M.I., Queck S.Y., Koh K.S. and others. Quorum sensing-controlled biofilm development in *Serratia liquefaciens* MG1/ M.I. Labbate, S.Y. Queck, K.S. Koh and others // Journal of Bacteriology. – 2004. – Vol. 186. – №3. – P. 692–698.
14. Lade H., Paul D., Kweon J.H. Isolation and molecular characterization of biofouling bacteria and profiling of quorum sensing signal molecules from membrane bioreactor activated sludge / H. Lade, D. Paul, J.H. Kweon // Int J Mol Sci. – 2014. – № 15. – P. 2255–2273.
15. Newman D.J., Hill R.T. New drugs from marine microbes: the tide is turning / D.J. Newman, R.T. Hill // J Ind Microbiol Biotechnol. – 2006. – Vol. 33. – P. 539–544.
16. Priest F.G. Extracellular enzyme synthesis in the genus *Bacillus* / F.G. Priest // Bacteriol Rev. – 1977. – Vol. 41. – P. 711–753.
17. Pungrasmi W., Lee H.S., Yokota A. and others. *Pseudomonas japonica* sp. nov., a novel species that assimilates straight chain alkylphenols / W. Pungrasmi, H.S. Lee, A. Yokota and others // J Gen Appl Microbiol. – 2008. – Vol. 54. – P. 61–69.
18. Reddy G.S.N., Prabakaran S.R., Shivaji S. *Leifsonia pindariensis* sp. nov., isolated from the Pindari glacier of the Indian Himalayas, and emended description of the genus *Leifsonia* / Reddy G.S.N., Prabakaran S.R., Shivaji S. // Int J Syst Evol Microbiol. – 2008. – Vol. 58. – P. 2229–2234.
19. Robertson D.E., Steer B. A. Recent progress in biocatalyst discovery and optimization / D.E. Robertson, B. A. Steer // Current Opinion in Chemical Biology. – 2004. – № 8. – P. 141–149.
20. Russell N.J. Molecular adaptations in psychrophilic bacteria: potential for biotechnological applications / N.J. Russell // In Biotechnology of Extremophiles. – Berlin: Springer, 1998. – P. 1–21.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Buzoleva L. S. Adaptacija patogenih bakterij k abiotičeskim faktorom okružajushhej sredy [Adaptation of pathogenic bacteria to abiotic environmental factors]: dis. ... of PhD in Biology: 03.00.07: defense of the thesis 22.09.01: approved 15.12.01 / Buzoleva Ljubov' Stepanovna. – Vladivostok, 2001. – 316 p. [in Russian]
2. Vinnikova O. I. Vydelenie i identifikacija bakterij: metodicheskie rekomendacii dlja studentov biologičeskogo fakul'teta specializacii "Mikrobiologija i virusologija" [Isolation and identification of bacteria: guidelines for students of the biological faculty of specialization "Microbiology and Virology"] / O. I. Vinnikova, A. M. Samojlov, Ju. V. Popova – Har'kov: HNU imeni V. N. Karazina, 2011. – 60 p. [in Russian]
3. Netrusov A. I. Jekologija mikroorganizmov [Ecology of microorganisms] / A. I. Netrusov, E. A. Bonch-Osmolovskaja, V. M. Gorlenko. – M.: Akademija, 2004. — 272 p. [in Russian]
4. Bell N. Methyl iodide: Atmospheric budget and use as a tracer of marine convection in global models / N. Bell, L. Hsu, D.J. Jacob and others // J. Geophys. Res. – 2002. – Vol. 107. – № 17. – P. 4340. doi:10.1029/2001JD001151.
5. Methods in microbiology / edited by C. Booth. – New York: Academic Press, 1971. – 794 p.
6. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology / edited by G.M. Garrity. – Berlin: Springer, 2004. — 1136 p.
7. Feller G., Psychrophilic enzymes: hot topics in cold adaptation / G. Feller, C. Gerday // Nat. Rev. Microbiol. – 2003. – № 1. – P. 200–208.
8. Gomes J. The Biocatalytic Potential of Extremophiles and Extremozymes / J. Gomes, W. Stein // Food Technol. Biotechnol. – 2004. – Vol. 42. – № 4. – P. 223–235.
9. Guider T. A. M. Chasing the treasures of the sea bacterial marine natural products / T. A. M. Guider, B. S. Moore // Curr. Opin. Microbiol. – 2009. – № 12. – P. 252–260.
10. Haygood M. G. Microbial symbionts of marine invertebrates: opportunities for microbial biotechnology / M. G. Haygood, E. W. Schmidt, S. K. Davidson and others // J Molec Microbiol Biotechnol. – 1999. – Vol. 1. – № 1. – P. 33–43.
11. Kalbe C. Strains of the genus *Serratia* as beneficial rhizobacteria of oilseed rape with antifungal properties / C. Kalbe, P. Marten, G. Berg // Microbiol Res. – 1996. – Vol. 151. – P. 433–439.
12. Kennedy J. Marine metagenomics: strategies for the discovery of novel enzymes with biotechnological applications from marine environments / J. Kennedy, J. R. Marchesi, A. D. W. Dobson // Microb Cell Factories. – 2008. – № 7. – P. 27.
13. Labbate M.I. Quorum sensing-controlled biofilm development in *Serratia liquefaciens* MG1/ M.I. Labbate, S. Y. Queck, K. S. Koh and others // Journal of Bacteriology. – 2004. – Vol. 186. – №3. – P. 692–698.
14. Lade H. Isolation and molecular characterization of biofouling bacteria and profiling of quorum sensing signal

molecules from membrane bioreactor activated sludge / H. Lade, D. Paul, J. H. Kweon // Int J Mol Sci. – 2014. – № 15. – P. 2255–2273.

15. Newman D. J. New drugs from marine microbes: the tide is turning / D. J. Newman, R. T. Hill // J Ind Microbiol Biotechnol. – 2006. – Vol. 33. – P. 539-544.

16. Priest F. G. Extracellular enzyme synthesis in the genus *Bacillus* / F. G. Priest // Bacteriol Rev. – 1977. – Vol. 41. – P. 711–753.

17. Pungrasmi W. *Pseudomonas japonica* sp. nov., a novel species that assimilates straight chain alkylphenols / W. Pungrasmi, H. S. Lee, A. Yokota and others // J Gen Appl Microbiol. – 2008. – Vol. 54. – P. 61-69.

18. Reddy G. S. N. *Leifsonia pindariensis* sp. nov., isolated from the Pindari glacier of the Indian Himalayas, and emended description of the genus *Leifsonia* / Reddy G. S. N., Prabakaran S. R., Shivaji S. // Int J Syst Evol Microbiol. – 2008. – Vol. 58. – P. 2229–2234.

19. Robertson D. E. Recent progress in biocatalyst discovery and optimization / D. E. Robertson, B. A. Steer // Current Opinion in Chemical Biology. – 2004. – № 8. – P. 141–149.

20. Russell N. J. Molecular adaptations in psychrophilic bacteria: potential for biotechnological applications / N. J. Russell // In Biotechnology of Extremophiles. – Berlin: Springer, 1998. – P. 1-21.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.026>

ПОЛУЧЕНИЕ ДЕЛЕЦИОННЫХ МУТАНТОВ *BACILLUS PUMILUS* ПО ГЕНАМ ПРОТЕИНАЗ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ CRISPR-CAS9

Научная статья

Тойменцева А.А.^{1,*}, Альтенбухнер Дж.²

¹ ORCID: 0000-0002-7397-9585, кандидат биологических наук,
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия;

² Штутгартский университет, Штутгарт, Германия

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

Аннотация

Впервые, с применением технологии CRISPR-Cas9 редактирования геномов, получен делеционный мутант бактерий *Bacillus pumilus* с инактивированным геном субтилизиноподобной протеиназы (*aprBp*). В ходе работы разработан вектор (pToy1.4) для инактивации гена *aprBp*. Показано, что эффективность трансформации полученной плазмиды в клетки *B. pumilus* очень низкая, что может быть связано с наличием фагов в геноме этой бактерии, отсутствием генов компетентности, а также большой молекулярной массой разработанного вектора. Штамм с инактивированным геном *aprBp* интересен для изучения фундаментальной роли этого фермента в клетках *B. pumilus*, а также для получения гомо- и гетерологичных белков.

Ключевые слова:

Bacillus pumilus, протеиназы, редактирование генома, CRISPR-Cas9, плаزمида.

OBTAINING *BACILLUS PUMILUS* DELETION MUTANTS FOR PROTEINASE GENES BASED ON CRISPR-CAS9 TECHNOLOGY

Research article

Toimentseva A.A.^{1,*}, Altenbuchner Dzh.²

¹ ORCID: 0000-0002-7397-9585,

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia;

² University of Stuttgart, Stuttgart, Germany

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

Abstract

Deletion mutant of *Bacillus pumilus* bacteria with inactivated subtilisin-like proteinase (*aprBp*) gene was obtained with the help of CRISPR-Cas9 genome editing technology for the first time. In the course of the work, vector (pToy1.4) was developed for the inactivation of the *aprBp* gene. It is shown that the efficiency of transformation of the obtained plasmid into *B. pumilus* cells is very low, which may be due to the presence of phages in the genome of this bacterium, the lack of competence genes, as well as large molecular weight of the developed vector. The strain with the inactivated *aprBp* gene is of interest for further study because of the fundamental role of this enzyme in *B. pumilus* cells, as well as in the production of homo- and heterologous proteins.

Keywords: *Bacillus pumilus*, proteinase, genome editing, CRISPR-Cas9, plasmid.

CRISPR-Cas9 (clustered regularly interspaced short palindromic repeats, CRISPR associated protein 9) технология редактирования генома представляет собой современный метод внесения изменений в геном бактерий, растений, различных клеточных линий, отдельных клеток и тканей. С 2012 года была разработана базовая CRISPR-Cas9 технология на основе бактерий *Streptococcus pyogenes*, которая получила широкое распространение [1], [2]. Система состоит из Cas9 белка, обладающего нуклеазной активностью и двух некодирующих РНК (CRISPR-RNA/crRNA и транскрибирующей CRISPR-RNA/tracrRNA) которые обеспечивают направленную активность Cas9 белка по отношению к определенному участку ДНК. Для удобства работы обе РНК молекулы объединяют в общую молекулу

(synthetic single-guide RNA/sgRNA). Таким образом, комплекс Cas9-sgRNA, содержащий 17-30 п.н. гомологичный участок способен узнавать специфический участок в геноме и вносить двухцепочечный разрыв в ДНК. Другим важным компонентом CRISPR-Cas9 системы редактирования является наличие короткой консервативной последовательности, называемой PAM (**protospacer adjacent motif**), которая расположена рядом с целевым фрагментом генома. Для Cas9-нуклеазы *S. pyogenes* PAM последовательность представляет собой NNG. Преимуществом использования CRISPR-Cas9 технологии является возможность использования нескольких sgRNA молекул, которые направляют Cas9-нуклеазу сразу к нескольким участкам генома.

Двухцепочечные разрывы в ДНК, образованные CRISPR-Cas9 могут быть восстановлены с помощью двух механизмов – негомологичного восстановления концов ДНК (**non-homologous end joining**, NHEJ) и гомологичной репарации (**homologous recombination**, HR). Негомологичное восстановление часто приводит к образованию делеций или инсерций (**insertion or deletion/Indels**) в целевом участке ДНК. Гомологичная рекомбинация напротив, приводит к точному восстановлению ДНК относительно гомологичной последовательности.

Cas9-нуклеаза *S. pyogenes* имеет в своем составе два нуклеазных домена, NHN и RuvC-подобный, каждый из которых способен вносить одноцепочечный разрыв в целевую ДНК, при условии, что Cas9-нуклеаза связана с sgRNA. Если один из доменов нуклеазы несет в себе мутацию, Cas9-sgRNA функционирует как никаза (надрезающая эндонуклеаза, которая режет лишь одну цепь двухцепочечной ДНК в определенных последовательностях нуклеотидов). Когда мутации содержат оба нуклеазных домена, Cas9-нуклеаза не обладает никакой активностью, но способна функционировать как программируемый ДНК-связывающий белок (dead Cas9/dCas9). На основе описанных модификаций созданы наборы плазмид, позволяющие добиваться различных модификаций в геноме.

В настоящей работе CRISPR-Cas9 технология была использована для редактирования генома бактерий *Bacillus pumilus*. Бактерии *B. pumilus* известны своей способностью к продукции (секреции) гидролитических ферментов [3], [4]. Протеазы широко применяются в различных отраслях – фармацевтике и медицине, сельском хозяйстве, пищевой и текстильной индустриях [5]. Для направленного получения целевого фермента часто применяют штаммы бактерий с делетированными генами протеиназ [6], [7], [8], т.е. добиваются условий, когда экспрессия генов протеиназ не влияет на продукцию целевых ферментов. Кроме того, получение таких делеционных мутантов позволяет понять фундаментальную роль отдельных протеиназ для бактериальной клетки.

Материалы и методы

В работе использовали штаммы *B. pumilus* 3-19 (устойчивый к стрептомицину), *Escherichia coli* JM109 и плазмиду pJOE9282.1. Генотип штаммов использованных и полученных в работе представлен в таблице 1.

В качестве питательных сред использовали LB-агар, LB-бульон, минимальную питательную среду (MC) Spizizen (при необходимости с добавлением 2% агара) [9]. Антибиотики добавляли в среду в концентрациях 10 мкг/мл (канамицин), 100 мкг/мл (ампициллин), 500 мкг/мл (стрептомицин). Ксилозу добавляли в LB-агар к концентрации 0,2 %.

Выделение плазмидной ДНК из клеток *E. coli* проводили щелочным методом [10]. Рестрикцию, лигирование ДНК и ПЦР осуществляли в соответствии с рекомендациями фирм-изготовителей ферментов (Fermentas, New England BioLab). Гибридизацию праймеров (s12122/12123) проводили в объёме 10 мкл по программе: 1 мин - 95°C; 10 мин - 65°C; остывание при комнатной температуре. Концентрация праймеров для гибридизации составляла 100 пМоль/мкл. ПЦР для получения фланкирующих последовательностей гена *aprBp* с геномной ДНК штамма *B. pumilus* 3-19 проводили с использованием Phusion полимеразы (Phusion High-Fidelity DNA Polymerase, New England Biolabs, #M0530S). Электрофорез ДНК проводили в 1% агарозном геле в трис-ацетатном буфере. В качестве маркеров использовали 1 Кб набор фирмы Fermentas (кат. номер #0333). Трансформацию рекомбинантных ДНК в клетки *E. coli* проводили с использованием CaCl₂ [10]. Определение нуклеотидной последовательности ДНК проводили по методу Сэнгера в компании GATC Biotech (Германия). Для обработки результатов секвенирования использовали программу Clone Manager 9.

Таблица 1 – Используемые в работе штаммы бактерий

Название штамма	Генотип	Цель использования	Источник
<i>B. pumilus</i> 3-19	str ^R	Делеция генов протеиназ, штамм-реципиент	Коллекция лаборатории (кафедра микробиологии ИФМиБ, НИЛ биосинтеза и биоинженерии ферментов, КФУ)
<i>E. coli</i> JM109	endA1, glnV44, thi-1, relA1, gyrA96, recA1, mcrB+, Δ(lac-proAB), e14-[F' traD36 proAB+ lacIq lacZΔM15], hsdR17(rK-mK+)	Получение рекомбинантных плазмид	Коллекция лаборатории (кафедра микробиологии ИФМиБ, НИЛ биосинтеза и биоинженерии ферментов, КФУ)
<i>B. pumilus</i> 023	str ^R , ΔaprBp	Штамм с инактивированным геном субтилизиноподобной протеиназы	Получен в работе

Результаты и обсуждение

Нами использован шаттл-вектор рJOE9282.1 на основе системы CRISPR-Cas9 II типа *S. pyogenes* [11]. В состав рJOE9282.1 плазмиды входят температура-чувствительный ориджин репликации рE194^{ts} для клеток бацилл, ориджин репликации рUC для бактерий *E. coli*, ген устойчивости к канамицину экспрессирующийся как в клетках *E. coli* так и в клетках бацилл, *cas9* ген под контролем ксилроза-индуцируемого промотора (P_{xyl}) и некодирующая РНК (sgRNA). Карта рJOE9282.1 плазмиды представлена на рисунке 1.

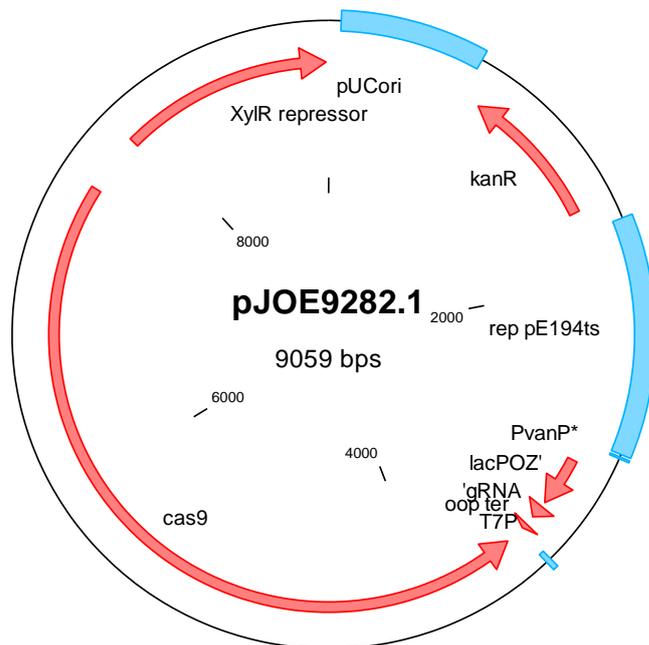


Рис. 1 – Генетическая карта плазмиды рJOE9282.1

Для редактирования генома *B. pumilus* ген сериновой протеиназы *aprBp* был выбран в качестве мишени для инактивации. Сериновая протеиназа AprBp является «мажорным» секретируемым ферментом протеолитического пула клеток *B. pumilus*. До 70% протеолитической активности в клетках *B. pumilus* приходится на AprBp фермент [12]. Однако, функция данного фермента в клетках бацилл остается до конца не изученной, поэтому получение штамма с инактивированным *aprBp* геном является важной фундаментальной задачей. Для делеции *aprBp* гена в составе хромосомы бактерий *B. pumilus* проводили следующие процедуры. Плазмида рJOE9282.1 для инактивации гена *aprBp* была предоставлена доктором Дж. Альтенбухнером, эта плазмида является производной от плазмиды рJOE8999 [11]. Плазмиду рJOE9282.1 расщепляли по сайту рестрикции BsaI и проводили интеграцию спейсерного фрагмента, полученного путём гибридизации праймеров s12122/12123. Далее, два ПЦР фрагмента (*aprBp*-L (765 п.о.) и *aprBp*-R (533 п.о.)), полученных с геномной ДНК *B. pumilus*, клонировали по сайту SfiI. Используемые праймеры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Олигонуклеотиды использованные в работе

Название	Последовательность 5'→3'*
спейсерный фрагмент**	
s12122	tacgTTCGGACATCTTTACTTGTG
s12123	aaacCACAAGTAAAGATGTCCGAA
<i>aprBp</i> -L***	
s12124	aaGGCCaacgaGGCCAACAAGTCCTGATCGTGGCA
s12125	aaGGCCatgttGGCCGCCATTTTGAGTGACGGCTT
<i>aprBp</i> -R***	
s12126	aaGGCCaacatGGCCATAACCGCGGAGTCGTTGTT
s12127	aaGGCCttattGGCCTTCCGCTATGGACACCCAAC
cas9	
s12092	CGCGTGGCAATAGTCGTTTT
s12093	ATGCCGCCCATTTACTTTGA
yvhJ	
s11949	GGAGGCTAGCAGATGAATTAGG
s11950	CGAAACAACAAGCGGGC

Примечание: *Сайты рестрикции указаны в последовательностях строчными буквами. **BsaI ***SfiI

В результате клонирования получили плазмиду рТоу1.4. Генетическая карта рТоу1.4 плазмиды представлена на рисунке 2.

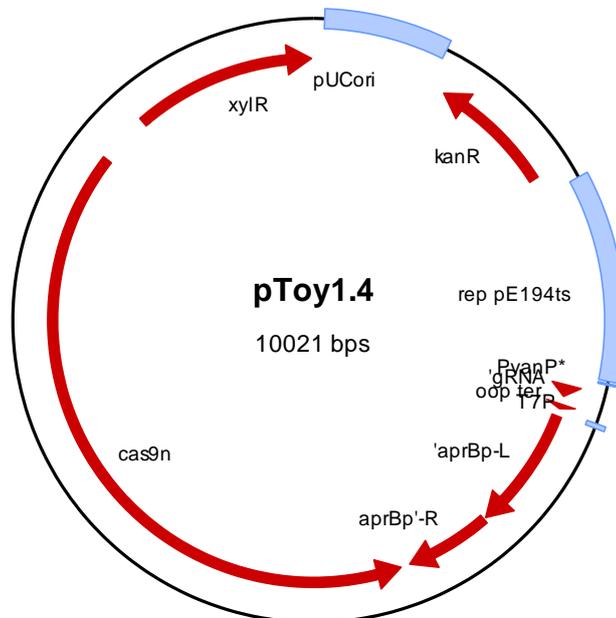


Рис. 2 – Генетическая карта плазмиды pToy1.4

Проводили секвенирование pToy1.4 плазмиды. В результате секвенирования были подтверждены спейсерная нуклеотидная последовательность и последовательности *aprBp-L* и *aprBp-R* фрагментов в составе плазмиды pToy1.4. Таким образом, нами сконструирована плазида для инактивации гена *aprBp* протеиназы в геноме *B. pumilus*.

Интеграцию плазмиды pToy1.4 (в концентрации 1 мкг) в клетки бацилл выполняли методом трансформации с использованием минимальных сред. Клетки *B. pumilus* после трансформации инкубировали на питательной среде со стрептомицином и канамицином при температуре +30°C в течение двух дней. Эффективность трансформации pToy1.4 плазмиды в клетки *B. pumilus* была низкой – все 8 колоний были отобраны для дальнейшего анализа.

Подтверждение трансформации pToy1.4 плазмиды проводили с помощью ПЦР с колоний с использованием пар праймеров s12092/s12093 к гену *cas9*, а также пар праймеров s11949/s11950 к гену *yrhJ* (кодирующему редуктазу/NADPH-hemoprotein reductase) с хромосомной ДНК *B. pumilus*. Результаты ПЦР представлены на рисунке 7 и 8.

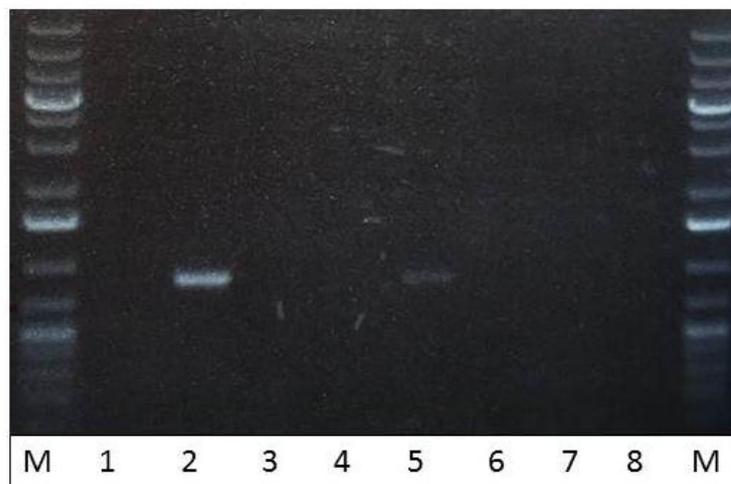


Рис. 3 – ПЦР с использованием пар праймеров s12092/s12093 к гену *cas9*: молекулярная масса ПЦР продукта с применением этих праймеров – 896 п.о. 1-8: колонии *B. pumilus*, полученные после трансформации pToy1.4 плазмиды; M – маркер молекулярного веса #0333 (Fermentas)

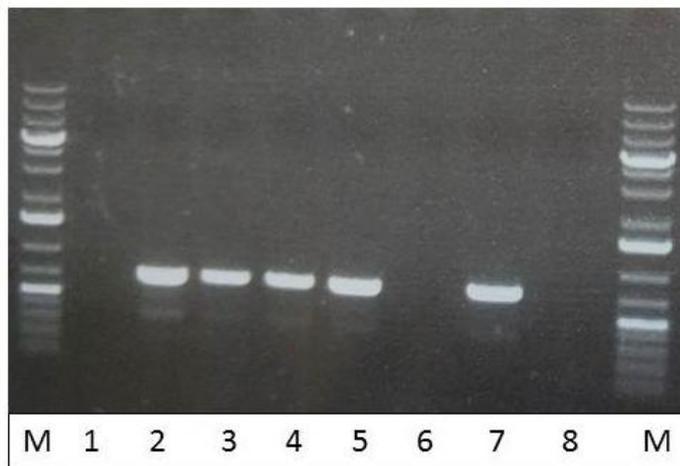


Рис. 4 – ПЦР с использованием пар праймеров s11949/s11950 к *yrhJ* гену *B. pumilus*: молекулярная масса ПЦР продукта с применением этих праймеров – 726 п.о. 1-8: колонии *B. pumilus*, полученные после трансформации рТоу1.4 плазмиды; М – маркер молекулярного веса #0333 (Fermentas)

Как видно из рисунка 3 – только две колонии (№2 и №5) содержали в себе плазмиду рТоу1.4. Результаты ПЦР с использованием праймеров s11949/s11950 показали, что пять колоний являются представителями *B. pumilus*. Таким образом, нами получены 2 колонии *B. pumilus* (№2 и №5), которые содержат в своем составе плазмиду рТоу1.4 для инактивации гена *aprBp* и являются представителями вида *B. pumilus*.

Далее нами проведены процедуры для инактивации гена *aprBp*. Т.к. ген *cas9* нуклеазы находится под контролем ксилоза-индуцируемого промотора, отобранные колонии (№2 и №5) культивировали в течение ночи на питательной среде LB-агар при +30°C, содержащей ксилозу. Клетки пересеивали на LB-агар до получения отдельных колоний и выращивали при +42°C для удаления плазмиды (т.к. плазмиды рТоу1.4 имеет температура-чувствительный ориджин репликации рE194^{ts} - повышение температуры должно приводить к потере плазмиды). С полученных колоний проводили ПЦР с использованием праймеров s12124/s12127. Результаты ПЦР представлены на рисунках 5 и 6.

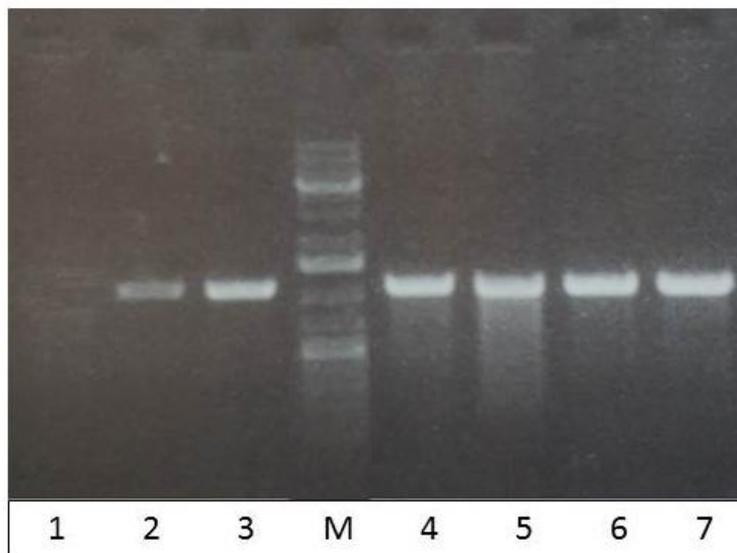


Рис. 5 – ПЦР с колоний *B. pumilus* (исходная колония №2 после трансформации, активации гена *cas9* и удаления рТоу1.4. плазмиды) с использованием пар праймеров s12124/s12127: 1 – отрицательный контроль (H₂O); 2 – положительный контроль с плазмиды рТоу1.4; 3-7 – ПЦР с колоний; М – маркер молекулярного веса #0333 (Fermentas)

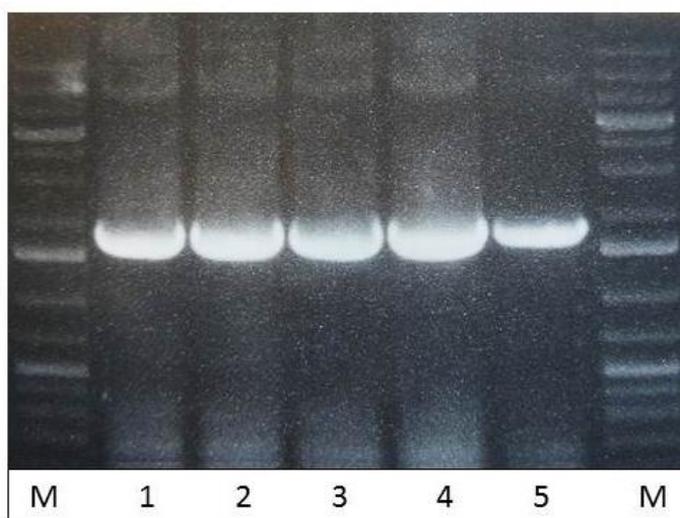


Рис. 6 – ПЦР с колоний *B. pumilus* (исходная колония №5 после трансформации, активации гена *cas9* и удаления рТоу1.4. плазмиды) с использованием пар праймеров s12124/s12127:
1-5 – ПЦР с колоний; М – маркер молекулярного веса #0333 (Fermentas)

Эти результаты свидетельствуют о том, что из двух полученных трансформантов только одна колония (№2) содержала плазмиду рТоу1.4 и привела к успешному удалению гена субтилизиноподобной протеиназы в геноме штамма *B. pumilus* 3-19. Разработанному в ходе работы штамму (с генотипом *str^R*, *ΔaprBp*) присвоен номер *B. pumilus* 023.

Таким образом, впервые, с помощью применения технологии CRISPR-Cas9, нам удалось редактировать геном бактерий вида *B. pumilus*. Необходимо отметить, что эффективность трансформации плазмиды содержащей ген *cas9* *S. pyogenes* была очень низкой. Известно, что многие штаммы вида *B. pumilus* обладают низкой природной компетентностью (способностью принимать чужеродную ДНК). Одной из причин этого может являться наличие в геноме фагов, например *phi105* фага [13] [14]. Трудности с трансформацией ДНК могут быть связаны также с большим молекулярным весом плазмиды (для плазмиды рТоу1.4 молекулярная масса составляет больше 10 Кб), отсутствием генов компетентности (например, оперона *comKcomS*). Полученный в ходе работы штамм *B. pumilus* 023 будет использован для описания морфологических и физиологических особенностей, а также будет выполнен анализ протеомного профиля данного делеционного мутанта.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственной программы повышения конкурентоспособности Казанского (Приволжского) федерального университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-34-60198 мол_а_дк.

Funding

The work was performed as part of the state program to improve the competitiveness of the Kazan (Volga Region) Federal University among the world's leading research and education centers and with financial support from the Russian Foundation for Basic Research within the framework of research project No.16-34-60198 mol_a_dk.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Deltcheva E. CRISPR RNA maturation by trans-encoded small RNA and host factor RNase III / E. Deltcheva, K. Chylinski, C. M. Sharma and others // *Nature*. – 2011. - Vol. 471(7340). - P. 602-7. doi: 10.1038/nature09886
2. Jinek M. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity / M. Jinek, K. Chylinski, I. Fonfara and others // *Science*. – 2012. – Vol. 337(6096). – P. 816-21. doi: 10.1126/science.1225829
3. Sharipova M. R. The expression of *Bacillus intermedius* glutamyl endopeptidase gene in *Bacillus subtilis* recombinant strains / M. R. Sharipova, E. I. Shagimardanova, I. B. Chastukhina и др. // *Mol Biol Rep*. – 2007. – Vol. 34(2). – P. 79-87.
4. Sharipova M. The expression of the serine proteinase gene of *B. intermedius* in *B. subtilis* / M. Sharipova, N. Balaban, A. Kayumov // *Microbiological Research*. – 2008. – Vol. 163(1). – P. 39-50.
5. Contesini F. J. An overview of *Bacillus* proteases: from production to application / F. J. Contesini, R. R. Melo, H. H. Sato // *Critical Reviews in Biotechnology*. – 2018. – Vol. 38(3). – P. 321-334. doi: 10.1080/07388551.2017.1354354
6. Wu X. C. Engineering a *Bacillus subtilis* expression-secretion system with a strain deficient in six extracellular proteases / X. C. Wu, W. Lee, L. Tran and others // *J. Bacteriol*. – 1991. – Vol. 173(16). – P. 4952–4958.
7. Westers L. *Bacillus subtilis* as cell factory for pharmaceutical proteins: a biotechnological approach to optimize the host organism / L. Westers, H. Westers, W. J. Quax // *Biochim. Biophys. Acta*. – 2004. – Vol. 1694(1-3). – P. 299-310. doi: 10.1016/j.bbamcr.2004.02.011.

8. Li Y. Characterization of genome-reduced *Bacillus subtilis* strains and their application for the production of guanosine and thymidine / Y. Li, X. Zhu, X. Zhang and others // *Microbial Cell Factories*. – 2016. – Vol. 15(94). doi.org/10.1186/s12934-016-0494-7
9. Harwood C. R. *Molecular biological methods for Bacillus* / C. R. Harwood, S. M. Cutting // Chichester. New York: Wiley. – 1990. – P. XXXV, 581.
10. Das S. *Microbial biotechnology - a laboratory manual for bacterial systems* / S. Das, H. R. Dash. – Switzerland: Springer, 2015. – P. 239. doi: 10.1007/978-81-322-2095-4_2.
11. Altenbuchner J. Editing of the *Bacillus subtilis* Genome by the CRISPR-Cas9 System / J. Altenbuchner // *Appl. Environ. Microbiol.* - 2016. –V. 82(17). –P. 5421-5427. doi: 10.1128/AEM.01453-16
12. Кириллова Ю. М. Особенности биосинтеза субтилизиноподобной протеиназы *Bacillus intermedius* рекомбинантным штаммом *B. subtilis* / Ю. М. Кириллова, Е. О. Михайлова, Н. П. Балабан и др. // *Микробиология*. - 2006. -Т. 75(2) - С. 179-185.
13. Garro A. J. Relationship between lysogeny, spontaneous induction, and transformation efficiencies in *Bacillus subtilis* / A. J. Garro, M. F. Law // *J. Bacteriol.* – 1974. – Vol. 120. – P. 1256-1259.
14. Bose B. A conserved anti-repressor controls horizontal gene transfer by proteolysis / B. Bose, J. M. Auchtung, C. A. Lee and others // *Mol. Microbiol.* – 2008. – Vol. 70. – P. 570-582. doi: 10.1111/j.1365-2958.2008.06414.x.

Список литературы на английском языке / References in English

15. Deltcheva E. CRISPR RNA maturation by trans-encoded small RNA and host factor RNase III / E. Deltcheva, K. Chylinski, C. M. Sharma and others // *Nature*. – 2011. - Vol. 471(7340). - P. 602-7. doi: 10.1038/nature09886
16. Jinek M. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity / M. Jinek, K. Chylinski, I. Fonfara and others // *Science*. – 2012. – Vol. 337(6096). – P. 816-21. doi: 10.1126/science.1225829
17. Sharipova M. R. The expression of *Bacillus intermedius* glutamyl endopeptidase gene in *Bacillus subtilis* recombinant strains / M. R. Sharipova, E. I. Shagimardanova, I. B. Chastukhina и др. // *Mol Biol Rep.* – 2007. – Vol. 34(2). – P. 79-87.
18. Sharipova M. The expression of the serine proteinase gene of *B. intermedius* in *B. subtilis* / M. Sharipova, N. Balaban, A. Kayumov // *Microbiological Research*. – 2008. – Vol. 163(1). – P. 39-50.
19. Contesini F. J. An overview of *Bacillus* proteases: from production to application / F. J. Contesini, R. R. Melo, H. H. Sato // *Critical Reviews in Biotechnology*. – 2018. – Vol. 38(3). – P. 321-334. doi: 10.1080/07388551.2017.1354354
20. Wu X. C. Engineering a *Bacillus subtilis* expression-secretion system with a strain deficient in six extracellular proteases / X. C. Wu, W. Lee, L. Tran and others // *J. Bacteriol.* – 1991. – Vol. 173(16). – P. 4952–4958.
21. Westers L. *Bacillus subtilis* as cell factory for pharmaceutical proteins: a biotechnological approach to optimize the host organism / L. Westers, H. Westers, W. J. Quax // *Biochim. Biophys. Acta*. – 2004. – Vol. 1694(1-3). – P. 299-310. doi: 10.1016/j.bbamcr.2004.02.011.
22. Li Y. Characterization of genome-reduced *Bacillus subtilis* strains and their application for the production of guanosine and thymidine / Y. Li, X. Zhu, X. Zhang and others // *Microbial Cell Factories*. – 2016. – Vol. 15(94). doi.org/10.1186/s12934-016-0494-7
23. Harwood C. R. *Molecular biological methods for Bacillus* / C. R. Harwood, S. M. Cutting // Chichester. New York: Wiley. – 1990. – P. XXXV, 581.
24. Das S. *Microbial biotechnology - a laboratory manual for bacterial systems* / S. Das, H. R. Dash. – Switzerland: Springer, 2015. – P. 239. doi: 10.1007/978-81-322-2095-4_2.
25. Altenbuchner J. Editing of the *Bacillus subtilis* Genome by the CRISPR-Cas9 System / J. Altenbuchner // *Appl. Environ. Microbiol.* - 2016. –V. 82(17). –P. 5421-5427. doi: 10.1128/AEM.01453-16
26. Kirillova YU. M. Osobennosti biosinteza subtilizinopodobnoj proteinyzy *Bacillus intermedius* reкомбинантнym shtammom *B. subtilis* [Biosynthesis of the *Bacillus intermedius* subtilisin-like serine proteinase by the recombinant *Bacillus subtilis* strain *B. subtilis*] / YU. M. Kirillova, E. O. Mihajlova, N. P. Balaban i dr. // *Mikrobiologiya* [Microbiology]. - 2006. - Vol. 75(2) - P. 179-185. Garro A. J. Relationship between lysogeny, spontaneous induction, and transformation efficiencies in *Bacillus subtilis* / A. J. Garro, M. F. Law // *J. Bacteriol.* – 1974. – Vol. 120. – P. 1256-1259. [in Russian]
27. Bose B. A conserved anti-repressor controls horizontal gene transfer by proteolysis / B. Bose, J. M. Auchtung, C. A. Lee and others // *Mol. Microbiol.* – 2008. – Vol. 70. – P. 570-582. doi: 10.1111/j.1365-2958.2008.06414.x.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.027>**ВЛИЯНИЕ ГЕТЕРОАУКСИНА И ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ ПОСЛЕ ИХ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ**

Научная статья

Сафина Г.Ф.¹, Филипенко Г.И.²*¹ ORCID: 0000-0002-8566-0192;² ORCID: 0000-0001-8419-1518;^{1,2} Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (galina-filipenko[at]yandex.ru)

Аннотация

В генетических банках растений существует проблема восстановления всхожести уникальных образцов, жизнеспособность которых снизилась в процессе длительного хранения настолько, что они не могут быть высеяны непосредственно в поле. В работе исследовано влияние гетероауксина (ИУК) и янтарной кислоты на прорастание семян пяти образцов пшеницы из коллекции ВИР, всхожесть которых после 49-50-летнего хранения снизилась до 3,8-47,1%. На двух образцах мягкой озимой пшеницы было показано, что ИУК стимулирует прорастание семян. Особенно эффективной оказалась концентрация $2,5 \times 10^{-7}$ М, повышавшая всхожесть семян пшеницы на 7,1-8,5%. На этих же образцах было обнаружено, что янтарная кислота в концентрации 5×10^{-4} - 10^{-3} М также повышает всхожесть семян на 2,3-5,0%. Обработка ИУК или янтарной кислотой в разных концентрациях двух других образцов мягкой озимой пшеницы и образца твердой пшеницы или не давала эффекта, или давала отрицательный, а иногда лишь небольшой положительный эффект. Неоднозначность полученной картины не позволяет рекомендовать гетероауксин и янтарную кислоту для восстановления всхожести образцов семян после длительного хранения.

Ключевые слова: генетические ресурсы растений, коллекции семян, низкотемпературное хранение, регуляторы роста растений.

EFFECT OF HETEROAUXIN AND AMBER ACID ON GERMINATING ABILITY OF WHEAT SEEDS AFTER THEIR DURABLE STORAGE

Research article

Safina G.F.¹, Filipenko G.I.²*¹ ORCID: 0000-0002-8566-0192;² ORCID: 0000-0001-8419-1518;^{1,2} Federal Research Center – N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

* Corresponding author (galina-filipenko[at]yandex.ru)

Abstract

There exists the problem of restoring the germination of unique samples, the viability of which has decreased during durable storage in the genetic banks of plants so that they cannot be sown directly in the field. In this work, the effect of heteroauxin (IAA) and amber acid on seed germination of five wheat samples from the VIR collection are investigated, the germination rate of them after 49–50-year storage has decreased to 3.8–47.1%. It is shown that IAA stimulates seed germination on two samples of soft winter wheat. The concentration of 2.5×10^{-7} M is particularly effective; it increases the germination of wheat seeds by 7.1-8.5%. It is also found that amber acid at a concentration of 5×10^{-4} – 10^{-3} M increases seed germination by 2.3–5.0% on the same samples. IAA or amber acid treatment in different concentrations of the other two samples of soft winter wheat and a sample of durum wheat either do not give an effect or give a negative and sometimes only a small positive effect. The ambiguity of the obtained result does not allow recommending heteroauxin and amber acid to restore the germination of seed samples after prolonged storage.

Keywords: plant genetic resources, seed collections, low-temperature storage, plant growth regulators.

Основная задача генных банков – сохранение генетического разнообразия растений, обеспечивающее высокий уровень жизнеспособности хранящегося материала. Современные стандарты для генбанков ФАО предусматривают закладку на хранение образцов семян исходная всхожесть которых должна быть не менее 85 % для большинства видов сельскохозяйственных культур [1, С. 30], и пересев, когда жизнеспособность падает ниже 85 % от первоначальной жизнеспособности [1, С. 36].

Но у многих дикорастущих и лесных видов всхожесть обычно не достигает столь высоких значений. К тому же при хранении происходит старение семян, показатели их жизнеспособности неизбежно снижаются. Даже в воздушно-сухих семенах могут происходить неферментативные реакции, такие как реакции Амадори и Майяра, которые способствуют старению семян посредством повреждения белков, нарушая работу метаболических систем и уменьшая их способность восстанавливать повреждения, связанные с функционированием генетического аппарата во время прорастания [2, С. 1223-1225].

В связи с трудностью воспроизведения отдельных ценных образцов, а также в связи с проблемами старения семян при длительном хранении в генбанках должна существовать система восстановления образцов. В крайних случаях возможно использование методов биотехнологии. Однако, поскольку в ряде исследований показана эффективность применения биологически активных веществ различной химической природы для повышения всхожести семян в полевых условиях. [3, С. 326], целесообразно выяснить возможность повышения всхожести коллекционных образцов путем обработок подобными веществами, в частности, регуляторами роста растений.

Целью настоящей работы было исследовать влияние гетероауксина (ИУК) и янтарной кислоты на всхожесть семян пшеницы после длительного хранения в генбанке.

ИУК является одним из основных гормонов высших растений и вызывает самые разнообразные физиологические эффекты. Гетероауксин присутствует практически во всех тканях растительного организма. В наибольших количествах этот фитогормон содержится в молодых почках и листьях, цветках, камбии, проводящей системе, семенах. На ювенильных этапах развития основным источником ИУК являются эндосперм и семядоли, которые обеспечивают гормонами формирующуюся корневую систему и надземную часть растений [4, С. 274]. Ауксинам подходит роль критического фактора прорастания, так как они действуют на растяжение клеток и их структурные компоненты [3, С. 40]. Однако вопрос о роли ауксинов в выходе из покоя и прорастании в настоящее время нельзя считать решенным, поскольку, с одной стороны, современная схема регуляции выхода из покоя и начала прорастания не включает ауксины в комплекс гормонов, регулирующих прорастание семян [3, С. 37]. С другой стороны, известно, что содержание ауксинов в семенах меняется у некоторых видов при переходе к прорастанию [5, С. 87-88], и ряд авторов все-таки рассматривают их в числе фитогормонов, участвующих в этом процессе [6, С. 252]. В связи с этим изучение воздействия ИУК на семена, всхожесть которых снизилась в процессе естественного старения, представляет особый интерес.

Одним из перспективных и относительно дешевых регуляторов роста для предпосевной обработки семян и вегетирующих растений является янтарная кислота и ее соли. В комплексе с хитозаном и L-глутаминовой кислотой янтарная кислота применяется для предпосевной обработки семян риса, пшеницы, ячменя, подсолнечника, огурцов с целью увеличения зеленой массы, урожайности и повышения устойчивости к заболеваниям [7, С. 60]. ГОСТ 12038-84 предусматривает перед определением всхожести предварительное замачивание находящихся в состоянии покоя семян табака (*Nicotiana tabacum* L.) в 0,01%-ной янтарной кислоте (т.е. 10^{-2} М) на 1 сутки при комнатной температуре [8, С. 56]. В концентрациях 10^{-5} - 10^{-4} М янтарная оказывает защитное влияние на растения, подвергнутые действию различных стрессоров [9, С. 118]. Одно из объяснений эффекта – активация дыхания в связи с тем, что сукцинат является метаболитом цикла трикарбоновых кислот. Однако, из-за низкой эффективной концентрации экзогенной янтарной кислоты и длительного ее последствия на растения такое объяснение выглядит не полным. На четырехдневных проростках гороха было показано, что янтарная кислота является природным миметиком салициловой кислоты, приводя в действие те же, что и салициловая кислота, механизмы индукции локальной и системной устойчивости растений к патогенам [10, С. 20].

В представленной работе были использованы гетероауксин – ИУК (индолил-3-уксусная кислота) фирмы Диаэм (номер каталога U87514) и янтарная кислота ACS фирмы Диаэм (номер каталога D110156).

Материалом исследования служили семена четырех сортов мягкой озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и семена одного сорта твердой озимой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) (таблица 1).

Таблица 1 – Образцы пшеницы из коллекции ВИР, использованные в опытах по восстановлению всхожести семян после хранения

№ каталога ВИР	Название образца	Год репродукции	Место репродукции	Всхожесть, %	
				2004 г.	2018 г.
<i>Triticum durum</i> Desf.					
32453	Дербентская черноколосая	1969	Дербент	53,1 ± 1,1	47,1 ± 1,7
<i>Triticum aestivum</i> L.					
35726	Псевдомеридионале 122	1968	Узбекистан	28,0 ± 2,0	5,0 ± 0,6
36594	Боровичская	1969	Пушкин	46,2 ± 1,2	14,8 ± 1,4
38054	Даньковская гранятка	1969	-	42,4 ± 2,4	3,8 ± 1,1
42790	Безостая 1	1968	Узбекистан	48,0 ± 1,0	33,0 ± 4,8

Семена были выращены в 1968-1969 гг. и использованы в многолетних опытах лаборатории семеноведения ВИР, в которых изучали влияние различной упаковки, разной исходной влажности и всхожести, сроков уборки семян, фаз созревания и других факторов на изменение всхожести семян при хранении. В 1981 г. на основании проведенных исследований были написаны методические указания по длительному хранению семян. Оставшиеся после опытов семена до 2000 г. находились в хранилище, в котором поддерживалась температура 5-7°C. В 2000 г. старое хранилище было демонтировано, в ВИР были установлены новые низкотемпературные и холодильные камеры. Четыре года семена хранились в лабораторных условиях, а в 2004 г. были перезаложены в холодильное хранилище с температурой -10°C. Перед закладкой семена были подсушены в сушилке при температуре 20°C и 12%-ной относительной влажности воздуха и герметично упакованы в фольговые трехслойные ламинированные пакеты. Влажность всех образцов семян перед закладкой на хранение в 2004 г. составляла 6,9%.

За 14 лет хранения в морозильном хранилище всхожесть большинства образцов значительно снизилась (таблица 1). Не обладая полной информацией об исходных данных этих образцов, трудно предположить, чем именно вызваны разные темпы старения семян, имевших в 2004 г. примерно одинаковую всхожесть. Но для данного опыта важно, что материалом исследования служили образцы с разным уровнем всхожести: от 3,8 до 47,1%, состарившиеся естественным образом – без резких температурных воздействий или химических обработок.

Всхожесть и влажность семян определяли стандартными методами [8, С. 36-64], [11, С. 109-114].

На одном из исследуемых образцов мягкой озимой пшеницы (к-36594), имеющем всхожесть 14,8%, провели первые прикидочные опыты: проверили влияние времени экспозиции и концентрации препаратов гетероауксина и янтарной кислоты на прорастание семян. Было взято по две концентрации гетероауксина (10^{-3} М и 10^{-5} М) и янтарной

кислоты (10^{-2} М и 10^{-3} М), и по два варианта времени воздействия. При выборе концентрации основывались на литературных данных [12, С. 94], [13, С. 6].

Из таблицы 2 видно, что концентрация ИУК 10^{-3} М подавляет прорастание семян независимо от времени воздействия. Обработка семян пшеницы ИУК в концентрации 10^{-5} М в течение 17 часов вызывает повышение всхожести на 10,2%. Воздействие ИУК в концентрации 10^{-5} М в течение всего времени проращивания также несколько повышает всхожесть.

Таблица 2 – Влияние концентрации и времени воздействия гетероауксина на всхожесть семян мягкой озимой пшеницы (к-36594) после длительного хранения

Исходная всхожесть, %	Способ и время воздействия ИУК	Всхожесть, %	
		Концентрация ИУК, М	
		10^{-3}	10^{-5}
14,8 ± 0,5	Замачивание в течение 17 часов	4,0 ± 0	25,0 ± 3,0
	Проращивание в препарате в течение 7 суток	4,0 ± 0	17,0 ± 3,0

Аналогичная, но менее выраженная картина наблюдается в случае с янтарной кислотой (Таблица 3). Концентрация янтарной кислоты 10^{-2} М снижает всхожесть семян при обоих сроках воздействия, в то время как концентрация 10^{-3} М или не влияет на всхожесть – при проращивании в растворе янтарной кислоты, или в небольшой степени стимулирует – при замачивании семян в растворе янтарной кислоты в течение 24 часов. На основании этого в дальнейших опытах остановились на времени воздействия для гетероауксина 17 часов, а для янтарной кислоты 1 сутки.

Таблица 3 – Влияние концентрации и времени воздействия янтарной кислоты на всхожесть семян мягкой озимой пшеницы (к-36594) после длительного хранения

Исходная всхожесть, %	Способ и время воздействия янтарной кислотой	Всхожесть, %	
		Концентрация янтарной кислоты, М	
		10^{-2}	10^{-3}
14,8±0,5	Замачивание в течение 24 часов	11,0 ± 1,0	19,0 ± 2,9
	Проращивание в препарате в течение 7 суток	7,0 ± 5,0	15,0 ± 1,0

В дальнейших опытах был использован более широкий спектр значений концентраций регуляторов роста. В таблице 4 представлены данные по влиянию различных концентраций гетероауксина (от $2,5 \times 10^{-7}$ до 10^{-5} М) на всхожесть семян после длительного хранения. У образца твердой пшеницы к-32453, имевшего самую высокую исходную всхожесть – 48,0±2,3%, гетероауксин вызывал некоторое снижение жизнеспособности, наиболее заметное для концентраций 10^{-6} и 5×10^{-7} М. У образца мягкой озимой пшеницы к-38054, имевшего самую низкую – 3,8±1,1%, исходную всхожесть семян в изучаемом материале, в опыте не отмечено изменений всхожести. Всхожесть образца к-42790 с исходной всхожестью 32,4±4,8% при использовании ИУК в концентрациях 10^{-5} , 5×10^{-6} , 5×10^{-7} М не имела отличий от исходной всхожести, гетероауксин в концентрации 10^{-6} снижал всхожесть, а в концентрации $2,5 \times 10^{-7}$ М – повышал. И только у образцов к-35726 и к-36594, имевших исходную всхожесть 5,9±1,1 и 14,5±1,4%, соответственно, во всех вариантах наблюдалась стимуляция всхожести. Наиболее выраженным эффект стимуляции был при самой низкой концентрации гетероауксина – $2,5 \times 10^{-7}$ М. В образце к - 35726 всхожесть увеличилась на 7,1%, а в образце к-36594 – на 8,5%.

Таблица 4 – Влияние гетероауксина на всхожесть семян пшеницы после длительного хранения

№ каталога ВИР	Контроль (без обработки)	Всхожесть, %				
		После обработки ауксином в концентрации (М)				
		10^{-5}	5×10^{-6}	10^{-6}	5×10^{-7}	$2,5 \times 10^{-7}$
к-32453	48,0 ± 2,3	40,0 ± 6,0	42,0 ± 18,0	38,0 ± 2,0	36,0 ± 6,0	45,0 ± 3,0
к-35726	5,9 ± 1,1	12,0 ± 1,1	14,0 ± 1,1	8,3 ± 0,1	8,0 ± 0,9	13,0 ± 1,0
к-36594	14,5 ± 1,4	19,5 ± 2,3	18,0 ± 2,0	18,0 ± 1,1	18,7 ± 4,4	23,0 ± 1,0
к-38054	3,0 ± 1,0	-	2,0 ± 0	-	3,3 ± 0,7	5,0 ± 1,0
к-42790	32,4 ± 4,8	36,0 ± 10,0	25,0 ± 9,0	22,0 ± 4,4	37,0 ± 7,0	39,0 ± 0,9

В опытах с янтарной кислотой использовались концентрации от 5×10^{-4} до 10^{-2} М (Таблица 5). На образцах, имевших более высокую исходную всхожесть (к-32453 и к-42790), а также совсем низкую (к-42790), заметных изменений всхожести под воздействием янтарной кислоты не обнаружено. Всхожесть образца к-35726 с исходной всхожестью 6,0±1,0% после обработки янтарной кислотой в концентрациях от 5×10^{-4} до 10^{-2} М возрастала на 4-6%. У образца к-36594 в опыте наблюдалось увеличение всхожести на 9,3% после воздействия 10^{-3} М янтарной кислотой.

Таблица 5 – Влияние янтарной кислоты всхожесть семян пшеницы после длительного хранения

№ каталога ВИР	Всхожесть, %				
	Контроль (без обработки)	После обработки янтарной кислотой в концентрации (М)			
		10^{-2}	5×10^{-3}	10^{-3}	5×10^{-4}
к-32453	45,7 ± 1,2	44,0 ± 2,0	42,5 ± 3,9	40,0 ± 5,0	40,7 ± 5,9
к-35726	6,0 ± 1,0	12,0 ± 2,0	10,0 ± 2,6	-	11,0 ± 3,0
к-36594	14,7 ± 1,5	16,3 ± 3,9	14,7 ± 4,3	24,0 ± 2,9	17,0 ± 1,0
к-38054	4,2 ± 1,1	2,0 ± 2,0	4,0 ± 1,0	4,0 ± 2,0	-
к-42790	33,0 ± 4,8	28,0 ± 2,0	32,0 ± 2,0	30,7 ± 5,2	32,0 ± 4,0

Таким образом, использование гетероауксина в концентрациях от $2,5 \times 10^{-7}$ М до 10^{-5} М и янтарной кислоты в концентрациях от 5×10^{-4} М до 10^{-2} М с целью повышения всхожести семян пшеницы после длительного хранения, не во всех случаях дает положительный эффект. В основном стимулирующее действие проявилось на образцах к-35726 и к-36594. Трудно сказать, связано это с сортовыми особенностями этих образцов или значениями их исходной всхожести – низкими, но не минимальными для этого опыта. Разная реакция разных образцов пшеницы на обработку ИУК и янтарной кислотой не позволяет рекомендовать эти вещества для восстановления всхожести семян после длительного хранения в генетических банках. В дальнейшем предполагается провести испытания других природных и искусственных регуляторов роста растений, в случае успеха проконтролировать генетическую стабильность восстановленных образцов.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия № 0662-2018-0004 по теме «Совершенствование стратегии, теории, методов и технологий *ex situ* хранения генетических ресурсов растений без потери их жизнеспособности».

Funding

The work was performed as part of the state assignment of the Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia No. 0662-2018-0004 on the topic “Improving the strategy, theory, methods, and technologies of *ex situ* storage of plant genetic resources without losing their viability.”

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture. Rome: FAO, 2014. URL: <http://www.fao.org/3/a-i3704e.pdf> (дата обращения: 10.10.2018).
2. Murthy U. M. N. Protein modification by Amadori and Maillard reactions during seed storage: roles of sugar hydrolysis and lipid peroxidation / U. M. N. Murthy, W. Q. Sun // Journal of Experimental Botany. – 2000. – V. 51. – № 38. – P. 1221–1228.
3. Кан А. А. Физиология и биохимия покоя и прорастания семян / А. А. Кан. – М.: Колос, 1982. – 495 с.
4. Медведев С. С. Физиология растений: учебник / С. С. Медведев. – СПб: БХВ-Петербург, 2013. – 512 с.
5. Sanchez de Jimenez E. Long-term maize seed storage and loss of viability: polyamines and auxin contents during germination / E. Sanchez de Jimenez, G. Sepulveda, E. Reynoso and others // Seed Sci. & Technol. – 1991. – V. 19. – P. 83-92.
6. Данович К. Н. Физиология семян / К. Н. Данович, А. М. Соболев, Л. П. Жданова др. – М.: Наука, 1982. – 318 с.
7. Белопухов С. Л. Влияние янтарной кислоты на качество льна-долгунца / С. Л. Белопухов // Агрехимия. – 2005. – №3. – С.60-66.
8. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести // в сб.: Семена сельскохозяйственных культур. Методы анализа. – М., 2011. – 247 с.
9. Андрианова Ю. Е. Влияние янтарной кислоты на продуктивность сельскохозяйственных растений, урожай и его качество / Ю. Е. Андрианова, Н. И. Сафина, Н. Н. Максютлова // Агрехимия. – 1996. – № 8-9. – С. 118-123.
10. Tarchevsky I. A. Succinic acid is a mimetic of salicylic acid / I. A. Tarchevsky, N. N. Maksyutova, V. G. Yakovleva and others // Russian Journal of Plant Physiology. – 1999. – V. 46. – № 1. – С. 17-21.
11. ГОСТ 12041-82. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения влажности // в сб.: Семена сельскохозяйственных культур. Методы анализа. – М.: Стадартинформ, 2011. – 247 с.
12. Зауралов О. А. Об эффективности укороченных сроков предпосевной обработки семян зерновых культур регуляторами роста в полевых условиях / О. А. Зауралов, Т. С. Колмыкова // Сельскохозяйственная биология. – 2004. – №5. – С.94-98.
13. Попа Д. П. Применение регуляторов роста в растениеводстве / Д. П. Попа, М. З. Кример, К. И. Пучкова и др. – Кишинев: Штиинца, 1981. – 158 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Genebank standards for plant genetic resources for food and agriculture. Rome: FAO, 2014. URL: <http://www.fao.org/3/a-i3704e.pdf> (accessed 10.10.2018).
2. Murthy U. M. N. Protein modification by Amadori and Maillard reactions during seed storage: roles of sugar hydrolysis and lipid peroxidation / U. M. N. Murthy, W. Q. Sun // Journal of Experimental Botany. – 2000. – V. 51. – № 38. – P. 1221–1228.

3. Khan A. A. Fiziologiya i biokhimiya pokoya i prorstaniya semyan [The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination] / A. A. Khan. – M.: Kolos, 1982. – 495 p. [in Russian]
4. Medvedev S. S. Fiziologiya rasteniy: uchebnik [Plant Physiology: a textbook] / S. S. Medvedev. – SPb: BKHV-Peterburg, 2013. – 512 p. [in Russian]
5. Sanchez de Jimenez E. Long-term maize seed storage and loss of viability: polyamines and auxin contents during germination / E. Sanchez de Jimenez, G. Sepulveda, E. Reynoso and others // Seed Sci. & Technol. – 1991. – V.19. – P. 83-92.
6. Danovich K. N. Fiziologiya semyan [Seed physiology] / K. N. Danovich, A. M. Sobolev, L. P. Zhdanova and others. – M.: Nauka, 1982. – 318 p. [in Russian].
7. Belopukhov S. L. Vliyaniye yantarnoy kisloty na kachestvo l'na-dolguntsa [The influence of succinic acid on the quality of flax] / S. L. Belopukhov // Agrokhimiya [Agrochemistry]. – 2005. – №3. – P.60-66. [in Russian]
8. GOST 12038-84. Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti // v sb.: Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody analiza [Seeds of agricultural crops. Methods for determining germination // in Seeds of agricultural crops. Methods of analysis]. – M.: Stadartinform, 2011. – 247 p. [in Russian]
9. Andrianova Yu. E. Vliyaniye yantarnoy kisloty na produktivnost' sel'skokhozyaystvennykh rasteniy, urozhay i yego kachestvo [Influence of succinic acid on the productivity of agricultural plants, harvest and its quality] / Yu. E. Andrianova, N. I. Safina, N. N. Maksyutova and others // Agrokhimiya [Agrochemistry]. 1996. № 8-9. P. 118-123. [in Russian]
10. Tarchevsky I.A. Succinic acid is a mimetic of salicylic acid / I. A. Tarchevsky, N. N. Maksyutova, V. G. Yakovleva and others // Russian Journal of Plant Physiology. – 1999. – V. 46. – № 1. – P. 17-21.
11. GOST 12041-82. Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vlazhnosti. // v sb.: Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody analiza [Seeds of agricultural crops. Methods for determining moisture // in: Seeds of agricultural crops. Methods of analysis]. – M.: Stadartinform, 2011. – 247 p. [in Russian]
12. Zauralov O. A. Ob effektivnosti ukorochennykh srokov predposevnoy obrabotki semyan zernovykh kul'tur regul'yatorami rosta v polevykh usloviyakh [On the effectiveness of shortened terms of pre-sowing treatment of seeds of grain crops by growth regulators in field conditions] / O. A. Zauralov, T. S. Kolmykova // Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural Biology]. – 2004. – №5. – P.94-98. [in Russian]
13. D. P. Popa. Ispol'zovaniye regul'yatorov rosta v rasteniyevodstve [The use of growth regulators in crop production] / D.P. Popa, M.Z. Krimer, K.I. Puchkova at al. – Kishineu: Shtiyntsa, 1981. – 158 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.028>

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФЕНОЛОГИЮ ЖУКА КАЗАРКИ *RHYNCHITES BACCHUS* L. 1758 В УСЛОВИЯХ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

Научная статья

Хуламханов И.М.^{1,*}, Хуламханов С.М.²

¹ ORCID.ORG:0000-0003-4612-2014,

Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия;

² ORCID.ORG:0000-0002-6628-0864,

Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства, Нальчик, Россия

* Корреспондирующий автор (xulamxanow.islam2014[at]yandex.ru)

Аннотация

Данная статья показывает, что для более успешной защиты плодовых культур от насекомых вредителей, необходимо изучить фенологию каждого вредителя в отдельности. Из всего класса насекомых наиболее слабо изучены отряд жесткокрылых, потому что считалось что они не наносят большого вреда промышленному садоводству. Фенология насекомого плохо изучены, так как все процесса развития личинки протекают внутри плодов. Так же плохо изучены период отложение яиц и их рождение.

Цель исследования:

Опытным путём определить при каких условиях внешней среды проходят те или иные стадии развития вредителя в предгорной зоне пловодства Кабардино-Балкарии.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить фенологические особенности вредителя на исследуемой территории.
2. Определить влияют ли климатические факторы на фенология вредителя

Ключевые слова: казарка, фенология, стадии развития, климатические факторы.

INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON THE PHENOLOGY OF FRUIT-TREESNOUT BEETLE *RHYNCHITES BACCHUS* L. 1758 UNDER THE CONDITIONS OF KABARDINO-BALKARIA

Research article

Khulamkhanov I.M.^{1,*}, Khulamkhanov S.M.²

¹ ORCID.ORG:0000-0003-4612-2014,

Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, Russia;

² ORCID.ORG:0000-0002-6628-0864,

North-Caucasian Research Institute for Mountain and Foothill Agriculture, Nalchik, Russia

* Corresponding author (xulamxanow.islam2014[at]yandex.ru)

Abstract

The following article shows that it is necessary to study the phenology of each pest separately for a more successful protection of fruit crops from insect pests. The Coleoptera are the most poorly studied species of the entire class of insects, because it was considered that they did not cause much harm to industrial gardening. The phenology of the insect is poorly investigated, as all the developmental processes of the larvae take place inside the fruit. The period of egg laying and their birth are also poorly covered.

The purpose of the study is:

To experimentally determine under what conditions of the external environment one or another pest developmental stage takes place in the foothill zone of fruit growing in Kabardino-Balkaria.

To achieve the goal, the following tasks were set:

1. To determine the phenological characteristics of the pest in the study area.
2. To determine whether climatic factors affect the phenology of the pest.

Keywords: fruit-treesnout beetle, phenology, stages of development, climatic factors.

Введение:

Казарка *Rhynchites bacchus* L. 1758 (рис. 1) является одним из наиболее опасных и широко распространённых насекомых вредителей плодовых культур на Северном Кавказе и Юге России в целом. Повреждает сливу и яблоню, реже другие косточковые породы и очень редко грушу. Жуки небольшие 4,5 - 6,5 мм., пурпурно-красные с фиолетовым оттенком, иногда с золотисто зелёным отливом. Вершинная часть голова в виде трубки, основание усиков и лапки чёрные. Голова длинная, у самки более изогнута и короче, чем у самки, вся поверхность тела покрыта торчащими серыми и коричневыми волосками. У самки на первом, втором, третьем и четвертом сегментах брюшка посередине густые пучки рыжих волосков. Яйцо овальное, длиной 0,9 - 1,2 мм; шириной 0,6 - 0,8 мм; молочно-белые, с едва заметной желтизной.

Рис.1 – Плодовая казарка *Rhynchites bacchus* L. 1758

Личинки 3-9 мм; цвета слоновой кости, дугообразно изогнута, голова маленькая тёмно-коричневая. Куколка 4 - 9 мм; белая с очень слабой желтизной. На конце брюшка хитиновая вилка, слегка загнутая назад. Расстояние между шипами вилки у самки значительно шире, чем у самцов [1, С. 60], [2, С. 80], [4, С. 50].

Материал и методика

Материалом для данной работы послужили сборы и стационарные фенологические наблюдения сделанные автором на территории «Севера - Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства» (ФГБНУ СКНИИГПС).

Все опыты и исследования проводимые автором были сделаны по общепринятым методическим пособиям: "В.Ф. Палий методика изучения фауны и фенологии насекомых"[11, С. 23], К.К. Фасулати Полевое изучение наземных беспозвоночных [12, С. 18]. Имаго сбрасываются на разложенный тент или какую-нибудь ткань. Температурные данные и показания по относительной влажности воздуха были получены с сайта "Ну и погода в городах России" [10.]. Для определения лета использовались световые ловушки, стадия личинки определялась путём вскрытия поврежденных плодов. Стадия куколки определялась путём вскапыванием участка метр на метр.

Результаты исследования:

Ранней весной в конце марта или начале апреля при средней суточной температуре воздуха 7 -14 °С, когда почки слив начинают набухать, жуки выходят из мест зимней спячки и повреждают с начало почки и побеги, а потом бутоны, листья и завязь. Жуки казарки, так же как и яблонный цветоед [5, С. 34], появляются раньше других представителей отряда жесткокрылых. Из представленных нами данных видно что плодовая казарка развивается в одном поколении (таблица 1, таблица 2). Первое появление перезимовавших жуков отмечено третьего апреля при среднесуточной температуре воздуха 15°С и относительной влажности воздуха 75%.

После не продолжительного питания жуки приступают к спариванию, а потом к отложению яиц. Перед отложением яиц самка выгрызает в плоде яйцевую камеру, надкусывает плодоножку, наносит ряд ранений коже плода, а потом откладывает яйцо в камеру, которую сейчас же закупоривает пробкой из экскрементов. Продолжительность эмбрионального развития длится от 6 - 14 дней при температуре воздуха 25 - 31 °С и относительной влажности 60 %. В плодах личинка находится от полутора до одиннадцати месяцев. В большинстве случаев спустя полтора месяца личинка покидает опавши плод и переходит в почву на окукливание. В современных климатических условиях Кабардино-Балкарии личинка питается внутри плода около полутора месяца. Личинка переходит в почву в июне или первой декаде июля. Продолжительность стадии куколки длится от 12 - 18 дней при среднесуточной температуре 30 - 33°С июль - август. Рождение жуков нового поколения наблюдается в августе - сентябре. Основными фенологическими особенностями плодовой казарки является довольно ранние сроки появления жуков, позднее отложение яиц (имеет биологическую связь с образованием плодов), сильно растянутая стадия куколки, и позднее появление имаго в августе и сентябре. Кормовыми растениями из плодовых культур для казарки являются: яблоня, слива, черешня, вишня, тёрн, абрикос, персик и редко груша.

В 2017г. из-за очень жаркого и без дождливого лета сроки развития вредителя были сильно растянутыми. Стадия личинки длится 7 - 14 дней приблизительно к концу мая и началу июня при среднесуточной температурой воздуха 25 - 31 °С. Стадия куколки от 10 - 20 дней до полутора месяцев.

Основные фенологические особенности плодовой казарки от представителей своего семейства это:

11. Раннее появление имаго;
12. Поздняя отложение яиц;
13. Сильно растянутая стадия куколки около полутора месяца;
14. Поздний выход из почвы нового поколения имаго;

Таблица 1 – Фенология жука казарки *Rhynchites bacchus* L. 1758 за 2017г.

Фазы вредителя	Дата	Температурные показатели в ночное время T°C	Относительная влажность воздуха ф%
Выход имаго из зимней спячки	03.04.	15	75
Начало питания жуков	11.04.	18	59
Спаривание	17.04	20	74
Массовое спаривание	20.04.	19	80
Яйцекладка	27.04.	21	75
Массовая яйцекладка	30.04.	22	65
Рождение личинок	12.05.	25	60
Массовое рождениеличинок	17.05.	31	84
Оукливание	13.07.	35	77
Массовое оукливание	18.07.	34	79
Лёт имаго	29.08.	33	68
Массовый лёт имаго	07.09.	33	70

При неблагоприятных условиях внешней среды, жуки вылупившихся из куколки, ещё дней 25 - 30 остаются в колыбельке, пока их крылья не затвердеют и они не примут окончательную окраску и только после этого они выходят на поверхность почвы, далее на крону деревьев.

С наступление морозов жуки покидают крону и идут на зимнюю спячку в разные укромные места, где и впадают в спячку.

Таблица 2 – Фенологический календарь плодовой казарки *Rhynchites bacchus* L. 1758 за 2017г.

	март			апрель			май			июнь			июль			август		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Плодовая казарка			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+

Примечание: + - взрослое насекомое; яйцо; I куколка; # - массовый лёт, - личинка.

В результате проведенных опытов были сделаны следующие выводы:

15. Температура и относительная влажность воздуха удлиняют стадии развития (личинка и куколка) плодовой казарки на время от одного месяца до трех.

16. Из-за сухой и без дождливой погоды личинки не выходят из плодов и почек, а остаются в плодах или продолжают висеть на дереве.

Из-за изменения климата фенологические фазы основных вредителей плодовых культур сместились на месяц раньше. Когда как в прошлые годы цветение семечковых культур попадало на первую декаду мая. То сейчас попадает на конец апреля.

Вследствие чего насекомые вредители, тоже меняют свои биоритмы.

Самая продолжительная стадия плодовой казарки это стадия куколки длится от 15 - 20 дней до полутора месяцев. Первые куколки были замечены уже во второй декаде июля. Из-за мягких зим в Кабардино-Балкарии почти все имаго и куколки успешно переживают зиму.

Имаго плодовой казарки встречаются вплоть до конца сентября, до снижения температуры. Меры борьбы против плодовой казарки это: сбор падалицы для снижения количества личинок, использование ловчих поясов и клейких колец у основания штамба, а так же встряхивание имаго с крон деревьев, перекопка почвы и очистка штамба.

Для более успешной защиты от жуков казарки необходимо применять химические препараты в наиболее уязвимые стадии вредителя это: первое опрыскивание в период первого появления имаго и начало яйцекладки в третьей декаде апреля и повторно спустя 6 - 14 дней. Второе в период массовой яйцекладки. Это позволит значительно сократить количество зимующих особей.

Немаловажный факт жуки казарки спокойно переносят сильные морозы. В отчётах опытной станции защиты растений было описано что стадия жука казарки довольно хорошо переносит температуру - 36°C.

По литературным данным и отчетам отдела защиты растений Севера - Кавказского научно-исследовательского института горного и предгорного садоводства (ФГБНУ СКНИИГПС) - плодовая казарка в сравнении с яблонного цветоеда - вредит с периода распускания почек до созревания плодов вплоть до октября. Кроме плодовых насаждений, казарка повреждает плоды диких плодовых деревьев и кустарников чаще всего тёрна размножается в них. Основная опасность плодовой казарки заключается в том, что она повреждает почки урожая будущего года. В ранние годы плодовая казарка появляется раньше других жуков семейства долгоносиков дней на десять. В сравнении с ранними годами жуки начинают вредить с конца апреля, то сейчас они уже вредят с первой декады апреля. Жуки повреждают не только почки, но и плоды.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Абдурахманов Г. М. Состав и распределение жесткокрылых Восточной части Большого Кавказа / Г. М. Абдурахманов // Махачкала. -1981. - 269с.
2. Абдурахманов Г. М. Жесткокрылые насекомые вредители плодовых культур / Г. М. Абдурахманов // Махачкала. -1977. - 34с.
3. Алексеева С. А. Защита плодовых от вредителей и болезней / С. А. Алексеева // - Н.: "Эльбрус" -1985. - 85с.
4. Алиева С. М. Жуки, вредящие плодовым и ягодным культурам / С. М. Алиева, Г. М. Абдурахманов / Махачкала. -1977. - 135с.
5. Васильев В. П. Вредители плодовых культур / В. П. Васильев / - М.: Колос. -1984. - 395с.
6. Давидьян Г. Э. Обзор жуков-долгоносиков рода (Coleoptera, Curculionidae) фауны России и сопредельных стран / Г. Э. Давидьян, Ю. Г. Арзанов, // Махачкала. -2004. - 413с.
7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. / Б. А. Доспехов // - М.: "Колос". -1985.-351 с.
8. Коваленко О. В. Вредители и болезни садов Кабардино-Балкарии / О. В. Коваленко // - Н.; изд-во "Эльбрус". - 1958. - 72с.
9. Коваленко О. В. Отчёты отдела защиты плодовых культур "Северо-Кавказского научно-исследовательского института горного и предгорного садоводства" / О. В. Коваленко // - Н.: "Эльбрус". -1980. - 91 с.
10. Ну и погода в городах России, Ну и погода в Нальчике // [Электронный ресурс]; - 2009. URL:<https://nalchik.nuipogoda.ru/agreement>. (дата обращения: 14.01.2018).
11. Палий В. Ф. Методика изучения фауны и фенологии насекомых / В. Ф. Палий // - Воронеж: - 1970. - 189с.
12. Фасулати К. К. Полевое изучение наземных беспозвоночных / К. К. Фасулати, // - М.: - 1974. - 256с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Abdurahmanov G. M. Sostav i raspredelenie zhestkokrylyh Vostochnoj chasti Bol'shogo Kavkaza [Composition and distribution of Coleoptera in the Eastern part of The greater Caucasus] / G. M. Abdurahmanov Mahachkala//.-1981. - 269 p. [in Russian]
2. Abdurahmanov G. M. Zhestkokrylye nasekomye vrediteli plodovyh kul'tur [Coleoptera insects pests of fruit crops] / G.M. Abdurahmanov// Mahachkala.-1977. - 34p. [in Russian]
3. Alekseeva C. A. Zashchita plodovyh ot vreditel'ej i boleznej [Protecting fruit from pests and diseases] / C. A. Alekseeva // - N.: "Ehl'brus". -1985. - 85p. [in Russian]
4. Alieva S. M. Zhuki, vredyashchie plodovym i yagodnym kul'turam [Beetles injurious to fruit and berry crops] / S. M. Alieva, G. M. Abdurahmanov, Mahachkala //, 1977. - 135p. [in Russian]
5. Vasil'ev V. P. Vrediteli plodovyh kul'tur [Pests of fruit crops] / V. P.Vasil'ev // - М.: Kolos. -1984. - 395p. [in Russian]
6. David'yan G. Eh. Obzor zhukov-dolgonosikov roda (Coleoptera, Curculionidae) fauny Rossii i sopredel'nyh stran [Review of weevil beetles of the genus (Coleoptera, Curculionidae) of the fauna of Russia and neighboring countries] / G. Eh. David'yan //, Yu. G. Arzanov, Mahachkala. -2004. - 413p. [in Russian]
7. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta. [Methods of field experience.] / B. A. Dospekhov // - М.: "Kolos. -1985.- 351 p. [in Russian]
8. Kovalenko O. V. Vrediteli i bolezni sadov Kabardino-Balkarii [Pests and diseases of orchards in Kabardino-Balkaria] / O. V. Kovalenko // - N.; izd-vo "Ehl'brus" -1958. - 72p. [in Russian]
9. Kovalenko O. V. Otchyoty otdela zashchity plodovyh kul'tur "Severo-Kavkazskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gornogo i predgornogo sadovodstva"[The reports of the Department of protection of fruit crops "North-Caucasian research Institute of mountain and foothill gardening"] / O. V. Kovalenko // - N.: "Ehl'brus". -1980. - 91 p. [in Russian]
10. Nu i pogoda v Nal'chike [Well, the weather in Nalchik] [Electronic resource]; - 2009. URL:<https://nalchik.nuipogoda.ru/agreement>. (data obrashcheniya: 13.10.2014). [in Russian]
11. Palij V. F. Metodika izucheniya fauny i fenologii nasekomyh [The methodology of studying the fauna and phenology of insects] / V. F. Palij // - Voronezh:.. -1970. - 189p. [in Russian]
12. Fasulati K. K. Polevoe izuchenie nazemnyh bespozvonochnyh [Field study of terrestrial invertebrates] / K. K. Fasulati //, - М.: -1974. - 256p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.029>

ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СМОРОДИННОЙ ЛИСТОВЕРТКИ *PANDEMIS CERASANA (RIBEANA) HBN. 1786* В КЛИМАТИЧЕСКИХ УЛОВИЯХ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

Научная статья

Хуламханов И.М.^{1,*}, Хуламханов С.М.²

¹ ORCID.ORG:0000-0003-4612-2014,

Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М., Нальчик, Россия;

² ORCID.ORG: 0000-0002-6628-0864,

Севера-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства, Нальчик, Россия

* Корреспондирующий автор (xulamxanow.islam2014[at]yandex.ru)

Аннотация

Данная статья описывает фенологию ранее не изученного вида семейства листовертки для Кабардино-Балкарии. При каких условиях внешней среды, протекают те или иные стадии вредителя. Определить самую уязвимую стадию листовертки. Полностью расписанная фенология вредителя, позволит более успешно бороться с листовертками. В основном основной вред наносят гусеницы второго поколения, так как на много агрессивнее и продолжительнее. Если успеть обработать химическими препаратами первое поколение можно теоретически предотвратить второе.

Ключевые слова: смородиновая листовертка, климатические факторы, фенология, световые ловушки, сезонная динамика лета.

PHENOLOGICAL FEATURES OF PANDEMIS CERASANA (RIBEANA) HBN. 1786 IN CLIMATIC CONDITIONS OF KABARDINO-BALKARIA

Research article

Khulamkhanov I.M.^{1,*}, Khulamkhanov S.M.²

¹ ORCID.ORG:0000-0003-4612-2014,

Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, Kabardino-Balkaria;

² ORCID.ORG: 0000-0002-6628-0864,

North-Caucasian Research Institute for Mountain and Foothill Agriculture, Nalchik, Kabardino-Balkaria

* Corresponding author (xulamxanow.islam2014[at]yandex.ru)

Abstract

This article describes the phenology of a previously unexplored species of the family of pandemic cerasana in Kabardino-Balkaria. It is determined under which environmental conditions some of the stages of the pest formation take place. The most vulnerable stage of the pandemic cerasana is identified. A full phenology of the pest will allow dealing with pandemic cerasana more successfully. The main damage is mainly caused by the second generation of caterpillars, as they are much more aggressive and longer. If there is enough time to fight the first generation with chemicals, it is might be as well possible to prevent the emergence of the second one.

Keywords: pandemic cerasana, climatic factors, phenology, light traps, seasonal dynamics of flight.

Введение

Листовёртка смородиновая *Pandemis cerasana (ribeana) Hbn.1786* широко распространённый всеядный вредитель. Гусеницами листовертки повреждаются не только плодовые, но и лесные породы. Гусеницы питаются распускающимися личинками и бутонами, рыхло оплетая их паутиной, позже обнажают жилки листьев, складывая их пополам вдоль центральной жилки или стягивают в комки. Гусеницы летней генерации обнажают жилки листьев листьев и повреждают плоды, выгрызая под прикрытием личинки, прикрепленного к плоду паутиной, обширные участки ткани.

Бабочка – в размахе крыльев небольшие 15-24 мм (самки крупнее самцов). Передние крылья желтоватые или светло-коричневые, прикорневое поле, расположенная по направлению к внутреннему краю крыла косая срединная перевязь и полукруглое или треугольное предвершинное пятно несколько темнее основного тона, буроватые, отчетливы. Задние крылья темно-серые, передний край желтый.

Яйца желтовато-зеленые, уплощённые, эллиптические, 1,5×1,2 мм; расположены в кладке черепицеобразно по 20-100 штук преимущественно на верхней стороне листьев в виде желто-зеленых круглых бляшек до 10 мм в поперечнике. Одна самка откладывает до 200 яиц, делая 2-4 кладки.

Гусеницы младших возрастов серые или темно-зеленые с черной головой и первым сегментом грудного щитка. Щитки у оснований чешуек [3] темнее основного тона тела. Гусеницы последнего возраста 16-20 мм, от желтого и серо-зеленого до бурого цвета (с боков и снизу светлее) с большими светлыми щитками чешуек. Голова желтоватая с темными глазными и щечными пятнами. Передний грудной щит желто-зеленый, с боков и сзади со сплошной черной полосой, которая может распадаться на отдельные пятна. Анальный щит цвета тела с более темным рисунком в виде пятен. Брюшные ноги с трехъярусным венцом из 49-60 коготков, анальные с 47 коготками в медиальной подкове. Дыхальца груди и восьмого брюшного сегмента эллиптические, крупнее остальных.

Куколка 9-14 мм, светло-коричневая с более темной спиной.

Выросты концевой сегмента в виде неширокой оттянутой лопасти с 8 крючковидными щетинками [12. С. 45].

В ранние годы она вредила незначительно и не наносила большого урона промышленному садоводству. Но в связи с климатическими изменениями количество генерации возросла почти до трех.

Сморозинная листовёртка широко распространённый опасный вредитель, развивается почти до трёх генерации. Гусеницы повреждают не только листья и плоды, но и генеративные и вегетативные почки.

Кроме того борьба с гусеницами усложняется из-за того, что они не питаются открыто, находятся под надёжным прикрытием свернутых паутинкой листьев или плотно прикрепленным к плоду листом. Для более эффективного применения химических препаратов необходимо более тщательно изучить фенологию вредителя.

Для реализации этих целей были поставлены следующие задачи:

17. Опытным путём определить фенологию вредителя, при каких условиях внешней среды, протекают те или иные стадии вредителя.

18. Полученные данные представить в виде таблиц и графиков, сделать соответствующие выводы.

Материал и методика

Материалом для данной работы послужили сборы и стационарные фенологические наблюдения сделанные автором на территории «Севера -Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства» (ФГБНУ СКНИИГПС).

Все опыты и исследования проводимые автором были сделаны по общепринятым методическим пособиям: "В.Ф. Палий методика изучения фауны и фенологии насекомых" [10, С. 23], К.К. Фасулати "Полевое изучение наземных беспозвоночных" [11, С. 18]. Температурные данные были получены с сайта "Ну и погода в городах России" [9], В.В. Яхонтов "Экология насекомых"[14, С. 21]. Для определения фенологических фаз были использованы методы наблюдения в стационарных садках, визуальные наблюдения, а для определения массовых вспышек лёта использовались световые ловушки. С начало отлавливались спаривающиеся бабочки и помещались в изолированные садок с побегам и плодами яблони, для отложения яиц. Далее велись наблюдения за развитием яиц и гусениц с помощью лупы и микроскопа Для определения имаго использовались следующие определители: Медведев Г.С. "Определитель насекомых Европейской части СССР Чешуекрылые" Т. 1-3 [8. С. 380].

Результаты исследования

Зимует сморозинная листовёртка в фазе гусениц третьего возраста в плотном шелковистом коконе под отстающей корой, засохшими чешуйками почек и т.д. Выход гусениц из зимней спячки происходит при наступлении среднесуточной температуры 12 °С. В условиях Кабардино-Балкарии это соответствует середине и концу апреля. Выход гусениц из диапаузы начинается в период распускания почек, а в массе к третьей декаде апреля и приурочен к фазе обособление бутонов - "розовый бутон".

Перезимовавшие гусеницы питаются молодыми распускающимися листочками, а также бутонами и цветками, рыхло оплетая их шелком.

С появлением листьев они обнажают жилки листьев, складывая пополам вдоль главной жилки или стягивая в комки шелковиной. Массовый выход перезимовавших гусениц отмечен в третьей декаде апреля.

Развитие куколки при среднесуточной температуре 15 - 25 °С от 5 до 10 дней. Первое появление бабочек первого поколения отмечена в конце мая при среднесуточной температуре 18 °С, массовый вылет со второй декады июня при среднесуточной температуре 17 °С. Продолжительность эмбрионального развития находится в прямой зависимости от температуры окружающей среды. Так при среднесуточной температуре 20 - 35 °С яйца развиваются 7 - 8 дней, а при среднесуточной температуре 17 - 28 °С 12 - 14 дней. Начало лёта второго поколения отмечено с середины и с конца июля при среднесуточной температуре 25 - 27 °С. Продолжительность лета второго поколения сильно растянута почти на полутора месяцев. В начале и середине августа проходит массовый лёт и спаривания бабочек при температуре 17 - 18 °С. Отложение яиц бабочками второго поколения началась с третьей декады августа при тех же условиях. Эмбриональное развитие длится 10 - 12 дней. Гусеницы второго (летнего) поколения обнажают жилки листьев и повреждают плоды, выгрызая в них отдельные ямки или сливающиеся углубления под прикрытием прикрепленного шелковинкой к плоду листа. Достигнув третьего возраста, большая часть гусениц уходит на зимовку, а остальные продолжают питаться и окукливаются. Гусеницы этого поколения уходят на зимовку в конце сентября при температуре 18 °С.

Для большей наглядности результаты опытов представлена в виде графика (Рис.1). На графиках ярко видно основные вспышки массового лёта имаго при температуре от 15- 20 °С в середине июня и июля.

Рождение гусениц (второго поколения) из яиц и выход имаго из куколок носит очень растянутый характер в 2017г. На (Рис. 1) линии графиков гусениц переплетается с графиком куколок на этих участках выявлены массовые вспышки появления имаго. На количественный спад гусениц наблюдается массовое появление куколок.

Она находится в сложенной пополам и по центральной жилке листе, в плотном паутинном коконе, ни какими химическими препаратами их не достать.

На и более уязвимая стадия для борьбы с этим вредителем - это стадия первое появления гусениц апрель - май. По нашим наблюдениям основные вспышки массового лёта вредителя наблюдается после осадков.

Таблица 1 – Фенология смородинной листовёртки *Pandemis cerasana* (rubeana) Hbn. 1786 за 2017г.

Фазы вредителя	Дата	Температурные показатели в ночное время Т°С
Выход гусениц из зимней спячки (диапауза)	18.04.	15
Массовый выход гусениц из диапаузы и активное питание	24.04.	13
окукливание	15.05.	18
Массовое окукливание	25.05.	15
Начало лёта I поколения	27.05.	18
Массовый лёт	16.06.	17
Начало рождения гусениц	27.06.	15
Массовое рождение гусениц	30.06.	18
Значительное питание	09.07.	21
окукливание	13.07.	20
Начало лёта II поколения	10 - 14. 07	25
Массовый лёт (продолжительный)	19 - 31. 07.	27
Рождение гусениц	12 -19. 08.	24
Уход на зимнюю спячку (диапауза)	23.09.	18

Смородинная листовёртка часто встречается в садах, которые находятся вблизи лесов, где растут дикие ягоды.

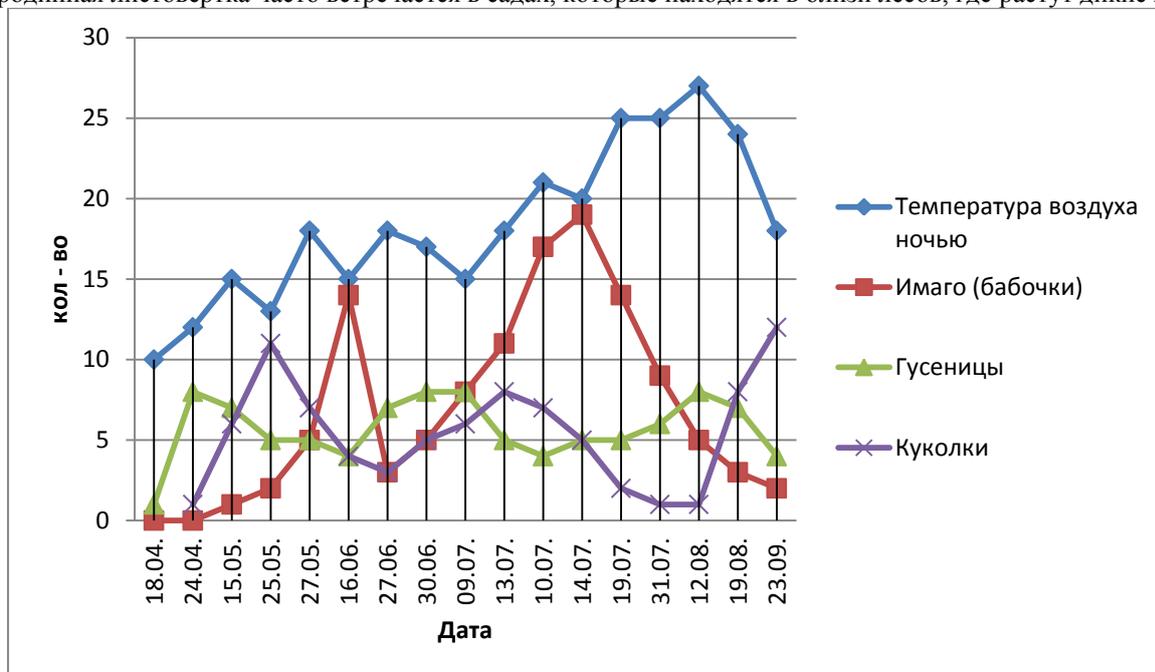


Рис. 1 – Графики влияния температуры на фенологию смородинной листовёртки *Pandemis cerasana* (rubeana) Hbn. 1786 Кабардино-Балкарии за 2017г.

По многолетним наблюдениям отдела защиты растений Севера - Кавказского научно-исследовательского института горного и предгорного садоводства (ФГБНУ СКНИИГПС), в прежние годы смородинная листовёртка появлялась только после начала распускания почек (вегетативных) то есть на две недели позже. В ранние годы лёт второго поколения начинался с конца июля и продолжался от полутора до двух месяцев до октября. В 2017 уже с конца сентября начинается активное окукливание вредителя. Первые живые куколки отмечены с двенадцатого августа 2017г; а массовое окукливание двадцать третьего октября того же года. В связи потеплением окружающей среды произошли сдвиги фенологических фаз не только вредителей, но и изменения фаз плодовых деревьев. Например в Кабардино-Балкарии цветение яблони попадало на 8 - 10 мая, а теперь 1 - 4 мая. Цветение косточковых в конце марта и начале апреля.

Массовый лёт второго покое был более продолжительный и опасный для промышленного садоводства, так как продолжается в плоть до октября. На плодах гусеницы выгрызают ямки или сливающиеся углубления, прикрытые притянутыми паутиной вначале зелеными, потом засыхающими и бурными листьями. Плоды как правила, загнивают, что снижает товарное качества. К концу сентября идет постепенный спад имаго и наращивания куколок в коконе. Гусеницы второго поколения встречаются в плоть до конца сентября и начала октября. Гусеницы после третьей линьки, большая часть которых уходят на зимовку, а некоторая часть остаются питаться и окукливаются на ветках. В отличие от других видов этого, у смородинной листовёртки куколки зимуют не только в щелях коры, но и на ветках в пополам сложенных листьях закреплённых паутиной. Так же основными из лимитирующих факторов влияющих на вредителей, кроме описанных выше (абиотическими), являются - леса где встречаются дикие формы плодовые и

ягодные культуры. Весенне-летний период 2017г. был жарким и мало дождливым, основные массовые вспышки смородинной листовертки, в сравнении с прошлыми годами были смещены на месяц. Тёплые ночи и отсутствие дождей способствовали быстрому развитию вредителей, но массовые вспышки лёта вредителей были отмечены после небольших дождей или при повышении влажности воздуха (туман), это более наглядно видно на графике (Рис. 1). Эмбриональное развитие и развитие гусениц второго поколения протекало в два раза быстрее чем первого. Второе поколения смородинной листовертки стало на много продолжительней и агрессивнее чем первое. Повреждая почки вредитель повреждает урожай будущего года, этим она опаснее других представителей своего семейства - листовертки (*Tortricidae*). У гусениц этого вида есть индивидуальная особенность, при окукливании на ветках у гусеницы складывают лист вдоль жилки с помощью паутинки пополам. Сильнее всего повреждаются плоды яблони: Мельба, Макинтош, Пепин Лондонский и др.

Из выше изложенного можно сделать следующие выводы:

19. В современных климатических условиях Кабардино-Балкарии смородинная листовертка развивается до двух поколений.

Выход гусениц из зимней спячки при температуре 15°C. Стадия куколки (первого поколения) длится 10- 14 дней при температуре 18°C. Имаго живут от 7 -9 дней. Эмбриональное развитие длится 10 - 12 дней при температуре от 15 - 18°C, от 4 до 9 при температуре 25 - 35°C. Стадия гусеницы от 6 до 12 дней в зависимости поколения (генерации). Второе поколение смородинной листовертки на много агрессивнее первого и длится от полутора до двух месяцев. Начало лёта второго поколения отмечено во второй декаде июля при температуре 25°C. Массовый лёт через неделю при температуре 27°C. Рождение гусениц во второй декаде августа 24°C. Уход на диапаузу с конца октября при 18°C.

20. Из графика видно, что смородинная листовертка даёт почти три поколения. Отмечены два пика массового лёта вредителя при температуре 15 - 20°C. Три пика рождения гусениц при температуре 5 - 10°C. При чём второе поколение сильно растянутое с середины июня и до конца августа. В первом поколении, когда количество гусениц и куколок идёт на спад, то количество бабочек (имаго) возрастает. Во втором поколении при спаде количества гусениц отмечено вспышка лёта бабочек и небольшой подъём и спад количества куколок. К концу августа и к началу сентября постепенный спад имаго, не большой подъём гусениц и постепенный подъём количества куколок с постепенным снижением температуры.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Алексеева С. А. Защита семечковых и ягодных культур / С. А. Алексеева // - Н.: изд-во "Эльбрус" - 1990. - 111с.
2. Алексеева С. А. Защита плодовых от вредителей и болезней / С. А. Алексеева // - Н.: "Эльбрус" - 1985. - 85с.
3. Бичина Т. И. Садовые листовертки / Т. И. Бичина // - М.: сельхозгиз -1958. - 55с.
4. Васильев В. П. Вредители плодовых культур / В. П. Васильев // - М.: Колос. - 1984. - 395с
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. / Б. А. Доспехов // - М.: "Колос" -1985.-351 с.
6. Коваленко О. В. Вредители и болезни садов Кабардино-Балкарии / О. В. Коваленко // - Н.; изд-во "Эльбрус". - 1958. - 72с.
7. Коваленко О. В. Отчёты отдела защиты плодовых культур "Северо-Кавказского научно-исследовательского института горного и предгорного садоводства" / О. В. Коваленко // - Н.: "Эльбрус". - 1980. - 91 с.
8. Медведев Г. С. *Определитель насекомых Европейской части СССР* / Г. С. Медведев // Т: 1- 3 *Чешуекрылые* - Ленинград, "Наука". - 1981. - 877с.
9. Ну и погода в городах России, Ну и погода в Нальчике // [Электронный ресурс]; - 2009. URL:<https://nalchik.nuipogoda.ru/agreement>. (дата обращения: 21.01.2018).
10. Палий В. Ф. Методика изучения фауны и фенологии насекомых / В. Ф. Палий // - Воронеж.: - 1970. - 189с.
11. Фасулати К. К. Полевое изучение наземных беспозвоночных / К. К. Фасулати, // - М.: - 1974. - 256с.
12. Шевырёв И. Я. Листовертки Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона / И. Я. Шевырёв // : Т - 86 - СПб., - 1907. - 381с
13. Швецова А. Н. Главнейшие вредители плодово-ягодных культур / А. Н. Швецова // М.: - 1950. - 189 с.
14. Яхонтов В. В. Экология насекомых / В. В. Яхонтов // - М.: изд-во "Высшая школа". - 1964. - 201с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Alekseeva S. A. Zashchita semechkovyh i yagodnyh kul'tur [The protection of pome fruits and berry crops] / S. A. Alekseeva // -N.: izd-vo "Ehl'brus" .-1990. - 111p. [in Russian]
2. Alekseeva S. A. Zashchita plodovyh ot vreditel'j i boleznej [Protecting fruit from pests and diseases] / С. А. Alekseeva // - N.: "Ehl'brus". - 1985. - 85p. [in Russian]
3. Bichina T. I. Sadovye listovertki [Garden of the leaf] / T. I. Bichina // - M.: sel'hozgiz. - 1958. - 55p. [in Russian]
4. Vasil'ev V. P. Vrediteli plodovyh kul'tur [Pests of fruit crops] / V. P. Vasil'ev // - M.: Kolos. - 1984. - 395p. [in Russian]
5. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta. [Methods of field experience.] / B. A. Dospekhov // - M.: "Kolos". - 1985.- 351 p. [in Russian]
6. Kovalenko O. V. Vrediteli i bolezni sadov Kabardino-Balkarii [Pests and diseases of orchards in Kabardino-Balkaria] / O. V. Kovalenko - N.; izd-vo "Ehl'brus". 1958. - 72p. [in Russian]
7. Kovalenko O. V. Otchyoty otdela zashchity plodovyh kul'tur "Severo-Kavkazskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gornogo i predgornogo sadovodstva"[The reports of the Department of protection of fruit crops "North-Caucasian research Institute of mountain and foothill gardening"] / O. V. Kovalenko // - N.: "Ehl'brus" 1980. - 91 p. [in Russian]
8. Medvedev G. S. Opredelitel' nasekomyh Evropejskoj chasti SSSR [The determinant of insects of the European part of the USSR] / G. S. Medvedev // Т: 1- 3 *Cheshuekrylye* - Leningrad, "Nauka" 1981. - 877с. [in Russian]

9. Nu i pogoda v Nal'chike [Well, the weather in Nalchik] [Electronic resource]; - 2009. URL:<https://nalchik.nuipogoda.ru/agreement>. (data obrashcheniya: 19.02.2018). [in Russian]
10. Palij V. F. Metodika izucheniya fauny i fenologii nasekomyh [The methodology of studying the fauna and phenology of insects] / V. F. Palij - Voronezh: - 1970. - 189p. [in Russian]
11. Fasulati K. K. Polevoe izuchenie nazemnyh bespozvonochnyh [Field study of terrestrial invertebrates] / K. K. Fasulati, - M.: - 1974. - 256p. [in Russian]
12. Shevyryov I. Ya. Listovertki Ehnciklopedicheskij slovar' Brokgauza i Efrona [Leaflet Encyclopedic dictionary of Brockhaus and Efron] / I. YA. Shevyryov // : V - 86 - SPb., - 1907. - 381p. [in Russian]
13. Shvecova A. N. Glavnejshie vrediteli plodovo-yagodnyh kul'tur [The main pests of fruit and berry crops] / A. N. Shvecova // M.: - 1950. - 189 p. [in Russian]
14. Yahontov V. V. Ehkologiya nasekomyh [Ecology of insects] / V. V. Yahontov //- M.: izd-vo "Vysshaya shkola". - 1964. - 201p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.030>**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ТЕТРАСУЛЬФОФТАЛОЦИАНИНА КОБАЛЬТА И МОДИФИЦИРОВАННОГО МОНТМОРИЛЛОНИТА**

Научная статья

Коваленко О.Н.^{1*}, Хрустова К.А.²¹ ORCID: 0000-0002-7887-9110;² ORCID: 0000-0002-6170-4648;

Институт катализа СО РАН, Новосибирск, Россия

* Корреспондирующий автор (oven[at]catalysis.ru)

Аннотация

Изучена адсорбция тетрасульфофталоцианина кобальта (ТСФК) из водных растворов на природном в Na-форме и модифицированном гидроксокомплексами алюминия $[Al_{13}O_4(OH)_{24}(H_2O)_{12}]^{7+}$ монтмориллоните (Na-M и Al-M, соответственно). Установлено, что величина и характер адсорбции зависят от природы носителя. На Na-M адсорбция ТСФК обратима, в то время как 0.7 мг ТСФК/г Al-M адсорбируется необратимо. Методом спектроскопии диффузного отражения показано, что необратимо адсорбированный ТСФК закреплен на поверхности Al-M в мономерной форме. Установлено, что прочное закрепление ТСФК на Al-M не приводит к снижению его активности в реакции окисления раствора сульфида натрия кислородом: ТСФК, закрепленный в мономерной форме на носителе, и находящийся в растворе в виде мономеров, имеют одинаковую активность.

Ключевые слова: тетрасульфофталоцианин кобальта, монтмориллонит, адсорбция, окисление, сероводород.

SYNTHESIS AND RESEARCH OF HETEROGENEOUS CATALYSTS BASED ON TETRASULPHOPHTHALOCYANINE COBALT AND MODIFIED MONTMORILLONITE

Research article

Kovalenko O.N.^{1*}, Khrustova K.A.²¹ ORCID: 0000-0002-7887-9110;² ORCID: 0000-0002-6170-4648;

Institute of Catalysis SB RAS, Novosibirsk, Russia

* Corresponding author (oven[at]catalysis.ru)

Abstract

The article studies the adsorption of tetrasulphophthalocyanine cobalt (TSFC) from aqueous solutions on the natural (in the Na form) and modified by aluminum hydroxo complexes $[Al_{13}O_4(OH)_{24}(H_2O)_{12}]^{7+}$ montmorillonite (Na-M and Al-M, respectively). It is established that the magnitude and nature of adsorption depend on the nature of the carrier. On Na-M, adsorption of TSFC is reversible, while 0.7 mg of TSFC/g Al-M adsorbs irreversibly. It is shown that irreversibly adsorbed TSFC is fixed on the surface of Al-M in monomeric form using diffuse reflectance spectroscopy. It was established that the solid fixing of TSFC on Al-M does not lead to a decrease in its activity in the oxidation reaction of a solution of sodium sulfide with oxygen: TSFC fixed in monomeric form on the carrier in the solution in the form of monomers have the same activity.

Keywords: cobalt tetrasulphophthalocyanine, montmorillonite, adsorption, oxidation, hydrogen sulfide.

Тетрасульфофталоцианин кобальта (ТСФК) – один из наиболее активных гомогенных катализаторов промышленных процессов очистки газов и нефтепродуктов от сероводорода путем жидкофазного окисления H_2S до серы либо кислородных сернистых солей [1], [2].

Гетерогенизация этих комплексных соединений может обеспечить увеличение как эффективности их использования за счет многократного применения, так и каталитической активности, например, за счет фиксации степени агрегирования фталоцианиновых комплексов при их закреплении на поверхности носителя.

Согласно [3], [4] активность ТСФК в реакциях окисления определяют следующие факторы.

Возможность обратимых редокс-переходов иона кобальта $Co(I) \leftrightarrow Co(II) \leftrightarrow Co(III)$ с сохранением органической сопряженной структуры фталоцианина;

Способность к экстраординации за счет образования координационных соединений с различными лигандами по 5- и 6-му координационным местам центрального атома. В молекуле фталоцианина четыре координационных места центрального атома кобальта занимают атомы азота, 5-е и 6-е аксиальные положения остаются свободными. В реакционной среде их могут занимать различные лабильные заместители.

Способность к образованию ассоциатов в растворе. Наиболее активными являются мономерная и димерная формы ТСФК.

Таким образом, для того чтобы ТСФК не терял каталитической активности при гетерогенизации, необходимо обеспечить его прочное закрепление преимущественно в мономерной либо димерной формах с сохранением заряда центрального атома Co^{2+} и свободных для присоединения реагентов 5- и 6-го координационных мест.

Выбор исходного материала в качестве носителя и способа закрепления ТСФК были сделаны в рамках этого положения.

Известно, что при нанесении фталоцианинов на поверхность традиционных оксидных носителей (Al_2O_3 , SiO_2) методом адсорбции не происходит их прочного закрепления, и фталоцианины быстро переходят в раствор под

воздействием реакционной среды [5]. Модифицированных оксидных носителей аминами обеспечивает прочное закрепление фталоцианинов на их поверхности за счет образования химической связи центрального атома кобальта с аминогруппой [6]. Однако потеря одного свободного координационного места атома кобальта приводит к снижению или полной потере активности фталоцианина.

Прочное закрепление активного компонента с сохранением его активности может быть достигнуто при использовании методов, предполагающих капсулирование фталоцианина в порах носителя без образования прочной химической связи (например, синтез в порах цеолита с размером ячейки, сопоставимым с размером молекулы фталоцианина [7], либо синтез носителя золь-гельным способом в присутствии фталоцианина [8], [9]). Однако широкому использованию этих методов препятствует их сложность и необходимость использования дорогостоящих реагентов.

Одним из способов решения этих проблем может быть использование в качестве носителей слоистых алюмосиликатов, ширину межслоевого расстояния которых можно увеличить путем интеркаляции воды или гидроксокомплексов поливалентных металлов можно увеличить с 0,2÷1,2 нм до 1,7÷4 нм [10], то есть до величины, сопоставимой с размером молекулы фталоцианина. В этом случае введение комплексов фталоцианина в межслоевое пространство слоистых алюмосиликатов может быть осуществлено адсорбционным способом. Возможность приготовления катализаторов путем введения порфиринов и фталоцианинов в межслоевое пространство катионных смектитных глин и слоистых двойных гидроксидов была продемонстрирована в работах [11], [12], [13].

Целью данной работы было изучить возможность приготовления адсорбционным методом гетерогенных катализаторов, содержащих ТСФК, закрепленный на поверхности слоистого алюмосиликата со структурой монтмориллонита. Другой задачей данной работы было установить взаимосвязь между каталитической активностью и состоянием адсорбированных молекул ТСФК на поверхности носителей в реакции окисления сульфида натрия кислородом.

Экспериментальная часть

В работе использовали два типа носителей: монтмориллонит в натриевой форме (Na-M), и монтмориллонит, модифицированный гидроксокомплексами алюминия $[Al_{13}O_4(OH)_{24}(H_2O)_{12}]^{7+}$ (Al-M).

В качестве исходного сырья для получения носителей использовали монтмориллонитовую глину Мухортолинского месторождения (Республика Бурятия), содержащую 90% монтмориллонита. Глинистый материал перед использованием дополнительно очищали отмучиванием.

Na-M и Al-M синтезировали по методикам, описанным в работе [14]. Основные текстурные характеристики используемых носителей представлены в табл. 1.

ТСФК был приготовлен согласно методике [15]. $Na_2S \cdot 9H_2O$ марки «ч» использовали после двукратной перекристаллизации в соответствии с методикой [16, С. 176].

Адсорбционные измерения проводили в термостатируемом, встряхиваемом реакторе при 20°C. В термостатированный встряхиваемый реактор загружали 0.2 г адсорбента и заливали 2 мл раствора, содержащего 5·10⁻³-1.3 мг/мл ТСФК. Через сутки (по достижении адсорбционного равновесия) раствор отделяли фильтрацией и анализировали спектрофотометрически («Сресорд М-40», $\lambda = 250-800$ нм). Предельные значения величин адсорбции ТСФК (a_{max}) определяли по изотерме адсорбции ТСФК на участке выхода адсорбционной кривой на плато. Далее образец сушили в течение суток на воздухе, затем в течение суток при 60-70°C и проводили десорбционные измерения.

Спектры диффузного отражения, адсорбированного ТСФК снимали на спектрометре UV-2501 PC Shimadzu с приставкой диффузного отражения IRS-250A в области 190-900 нм с разрешением 2 нм.

Удельную поверхность определяли методом адсорбции-десорбции азота при 77К на приборе Micromeritics ASAP-2400 и вычисляли по методу БЭТ.

Межслоевое расстояние исследуемых алюмосиликатов определяли методом рентгенофазового анализа на дифрактометре URD-6 с Cu K α излучением.

Окисление сульфида натрия проводили в стеклянном термостатированном встряхиваемом реакторе объемом 100 мл при pH = 7.2, концентрации Na₂S в реакционном растворе 0.05M, давлении кислорода 1 атм и температуре 25°C. В реактор загружали 25 мл раствора и 100 мг катализатора. Скорость встряхивания реактора составляла 400 об/мин, что обеспечивало возможность проводить процесс в кинетической области. Активность катализаторов оценивали по начальной скорости поглощения кислорода (мл O₂/мин). Остаточное содержание сернистых соединений (S²⁻, S₂O₃²⁻, SO₃²⁻) анализировали методом обратного йодометрического титрования при pH = 4÷6 [17, С. 209].

Результаты и их обсуждение

Адсорбция ТСФК на поверхности монтмориллонита

На рис. 1 приведены изотермы адсорбции ТСФК в зависимости от типа носителя. Величины максимальной адсорбции CoPc(SO₃Na)₄ (a_{max}) и количество необратимо адсорбированного фталоцианина (a_{nc}) представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-химические и адсорбционные характеристики носителей

Носитель	S _{БЭТ} , м ² /г	d ₀₀₁ , нм	Адсорбционные данные	
			a _{max}	a _{nc}
Na-M	141	1,2	1,2	-
Al-M	200	1,9	4.0	0,7

Адсорбция ТСФК на Na-M с межслоевым пространством 1,4 нм является полностью обратимой. Адсорбционная кривая имеет ленгмюровский вид с плато. a_{max} составляет 1.2 мг ТСФК/г Na-M.

Характер адсорбции ТСФК на Al-M принципиально отличается от описанного выше. Во-первых, предельное значение величины адсорбции ТСФК в 4 раза выше величины адсорбции ТСФК на Na-M и, кроме того, около 0.7 мг

ТСФК на 1 г носителя адсорбируется необратимо. Во-вторых, на адсорбционной кривой наблюдается 2 плато, первое из которых соответствует области необратимой адсорбции ТСФК (0.4-0.7 мг/г). Наиболее вероятной причиной необратимой адсорбции является капсулирование молекул фталоцианина в межслоевом пространстве Al-M, поскольку межслоевое расстояние между слоями Al-M (~1,9 нм) сопоставимо с размерами молекулы ТСФК.

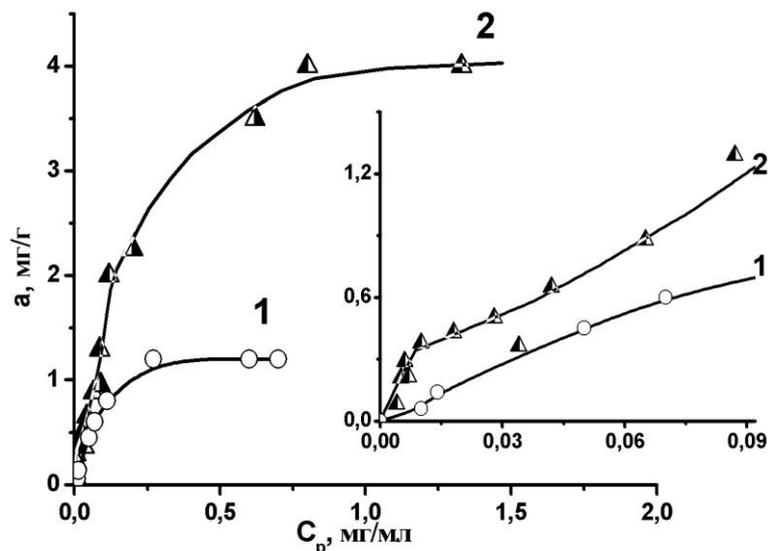


Рис.1 – Изотермы адсорбции ТСФК на Na-M(1) и Al-MS(2) из водного раствора при 25°C

По данным спектроскопии диффузного отражения в спектре образца, содержащего 0.75 мг ТСФК на 1 г Al-M (рис. 2, спектр 2) наблюдается интенсивная полоса в области 667 нм. При увеличении содержания ТСФК на поверхности носителя (рис. 2, спектры 2 и 3) в спектрах появляется полоса в области 610-627 нм. Согласно [26, 27] полоса поглощения в области 660-670 нм характеризует мономерную форму ТСФК; а полоса в области 610-627 нм – агрегированные структуры ТСФК. В спектрах адсорбированного ТСФК не наблюдается смещения максимумов полос поглощения в сравнении со спектрами водных растворов ТСФК [19], что свидетельствует об отсутствии сильного взаимодействия между молекулами ТСФК и поверхностными группами носителя Al-M.

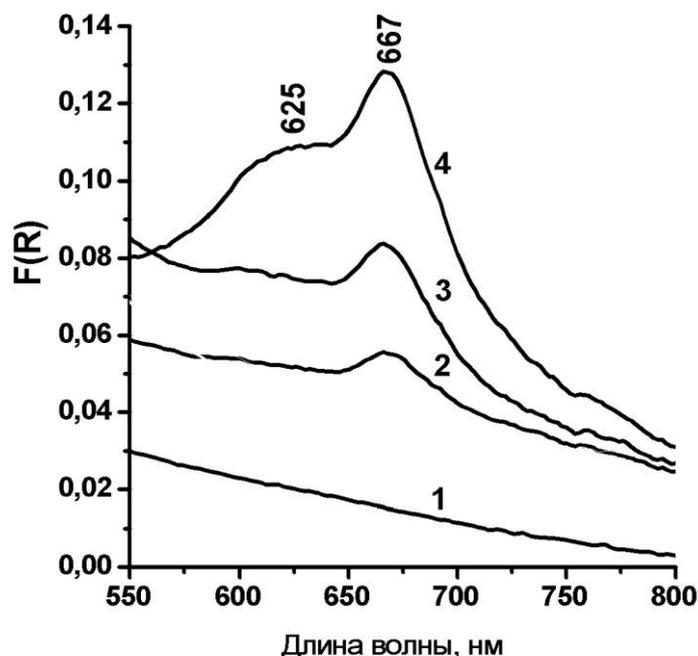


Рис.2 – Спектры диффузного отражения образцов ТСФК/Al-M (1 – Al-M; 2 – 0,75 мг ТСФК/г Al-M; 3 – 2,3 мг ТСФК/г Al-M; 4 – 4 мг ТСФК/г Al-M)

Каталитические свойства ТСФК, необратимо адсорбированного на Al-M

В таблице 2 приведены скорости реакции окисления Na_2S кислородом на катализаторах, содержащих 0.04÷0.67 мг ТСФК на 1 г Al-M, нормированные на единицу количества ТСФК и определенные в условиях, когда содержание активного компонента в реакционной среде было одинаковым и составляло 0.019 мг. Видно, что активность катализаторов с различным содержанием ТСФК практически совпадает. Это указывает на то, что в области необратимой адсорбции молекулы ТСФК слабо ассоциированы и находятся преимущественно в виде изолированных

молекул, что согласуется с данными спектроскопии диффузного отражения (рис. 2).

На рис. 3 представлено сопоставление активностей гетерогенных катализаторов и гомогенного катализатора ТСФК, взятых в эквивалентных количествах. Видно, что гетерогенный катализатор, содержащий 0.004 мг ТСФК на 0.1 г носителя и гомогенный катализатор, взятый в количестве 0.004 мг, имеют одинаковую активность. Но при увеличении концентрации для гетерогенного катализатора скорость реакции возрастает постепенно, а для гомогенного катализатора при низких концентрациях ТСФК (0.004 и 0.02 мг) скорость реакции практически постоянна, и лишь при дальнейшем увеличении концентрации возрастает и при концентрации ТСФК в реакционной среде 0.067 мг активность гомогенного катализатора почти в 2 раза выше активности гетерогенного катализатора.

Согласно данным УФ-спектроскопии водных растворов фталоцианина кобальта (рис. 4) при низкой концентрации ТСФК (0.00024 мг/мл) наблюдается пик в области 667 нм, что характерно для мономерной формы ТСФК (спектр 1). При увеличении концентрации в растворе образуется димерная форма, которой соответствует пик в области 628 нм (спектр 2). Таким образом, можно предположить, что возрастание активности с увеличением концентрации ТСФК в растворе связано с ассоциацией молекул в димерную форму, которая обладает более высокой активностью в данной реакции, чем мономерная. Для гетерогенных систем в области концентраций 0.04÷0.67 мг ТСФК/г каталитическая активность определяется мономерной формой ТСФК.

Таблица 2 – Скорость реакции окисления Na_2S кислородом на катализаторе ТСФК/Al-M (25°C , $\text{pH}=7.2$, $0,05\text{M Na}_2\text{S}$,

$V_{\text{раствора}} = 25\text{мл}$, содержание активного компонента в реакционной среде 0.019 мг)

ТСФК/Al-M, мг·г ⁻¹	W , мл $\text{O}_2 \times \text{мин}^{-1} \times \text{мг ТСФК}^{-1}$
0.04	104
0.19	107
0.67	112

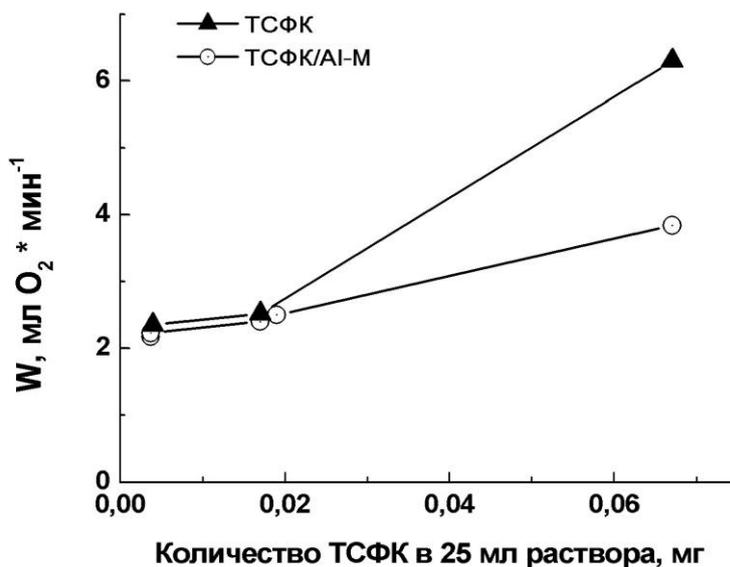


Рис. 3 – Зависимость скорости реакции окисления Na_2S кислородом в присутствии гомогенного и гетерогенного ТСФК от концентрации ТСФК (25°C ; $\text{pH} = 7.2$; $0.05\text{ M Na}_2\text{S}$; объем реакционного раствора – 25 мл)

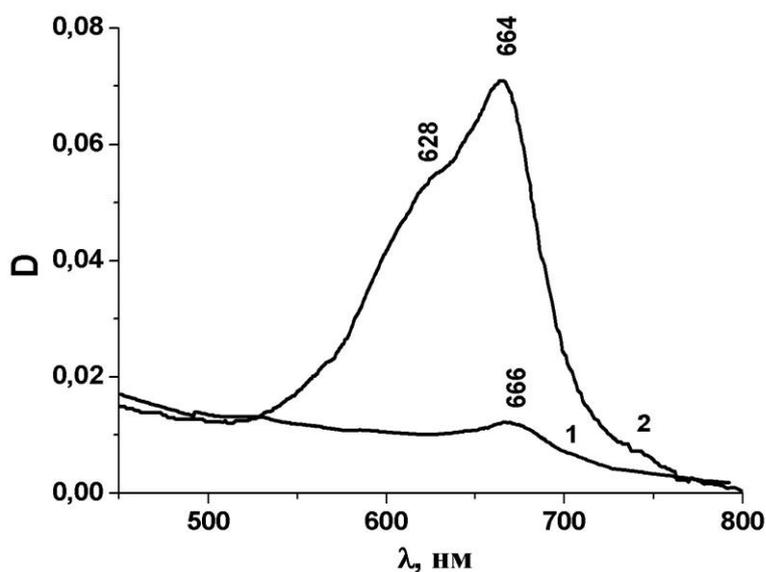


Рис.4 – УФ-спектры водных растворов ТСФК с концентрацией 0.00024 мг/мл (1) и 0.012 мг/мл (2)

Полученные результаты позволяют заключить, что методом адсорбции из водных растворов можно обеспечить прочное закрепление ТСФК с сохранением реакционной способности центрального атома кобальта (II) на катионных смектитных глинах с межслоевым расстоянием, сопоставимым с размером молекулы фталоцианина.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке РАН и ФАНО России в рамках государственного задания ИК СО РАН (проект №0303-2016-0014).

Funding

This work was supported by the Russian Academy of Sciences and the Russian Academy of Science and Industry within the framework of the state assignment of the IC SB RAS (project No.0303-2016-0014).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Коваленко О. Н. Низкотемпературное каталитическое окисление сероводорода кислородом в растворах и газовой фазе и возможности его применения для процессов сероочистки / О. Н. Коваленко, Н. Н. Кундо // Химия в интересах устойчивого развития. 1999. – Т. 7. – № 4 – С. 397-409.
2. Mazgarov A. M. New catalysts and processes for removal of mercaptans from petroleum and petroleum products / A. M. Mazgarov, A.F. Vil'danov // Petroleum Chemistry. 1999. – V. 39. – № 5. – P. 336-343.
3. Кундо Н. Н. Механизм каталитического действия тетрасульфофталоцианина кобальта / Н. Н. Кундо, Н. П. Кейер // Журнал физической химии. 1968. – Т. 42. – № 6. – С. 1352-1358.
4. Schutten J. H. Autooxidation of mercaptanes promoted by a bifunctional catalyst prepared by polymer attachment of cobalt-phthalocyanine / J. H. Schutten, J. Zwart // Journal of Molecular Catalysis. 1979. – V. 5. – № 2. – P. 109-123.
5. Денисова Е. П. Адсорбционные взаимодействия нитрозамещенных фталоцианинов кобальта и железа с носителями различной природы / Е. П. Денисова, С. А. Борисенкова, Е. Г. Гиренко и другие // Вестник Московского Университета. Серия 2. Химия. 1996. – Т. 37. – № 6. – С. 575-579.
6. Akopyans Y. G. Synthesis and characterization of cobalt phthalocyanines covalently attached to silica / Y. G. Akopyans, S. A. Borisencova, O. L. Kaliya and others // Journal of Molecular Catalysis. 1993. – V. 83. – № 1-2. – P. 1-16.
7. Haber J. Cationic metalloporphyrins and other macrocyclic compounds in zeolite matrix as catalysts for oxidation with dioxygen / J. Haber, K. Pamin, J. Poltowicz // Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical. 2004. – V. 224. – № 1-2. – P. 153-159.
8. Iliev V. I. Oxidation and photooxidation of sulfur-containing compounds in the presence of immobilized phthalocyanine complexes / V. I. Iliev, A. I. Ileva, L. Bilyarska // Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical. 1997. – V. 126. № 2-3. – P. 99-108.
9. Stuchinskaya T. Cobalt phthalocyanine derivatives supported on TiO₂ by sol-gel processing: Part 2. Activity in sulfide and ethanethiol oxidation / T. Stuchinskaya, N. Kundo, L. Gogina and others // Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical. 1999. – V. 140. № 3 – P. 235-240.
10. Розенгарт М. И. Слоистые силикаты как катализаторы / М. И. Розенгарт, Г. М. Вьюнова, Г. В. Исагулянц // Успехи химии. 1988. – Т. 57. – № 2 – С. 204-227.
11. Liu H. Catalytic oxidation of mercaptans by bifunctional catalysts composed of cobalt phthalocyanine supported on Mg-Al hydrotalcite-derived solid bases: effects of basicity / H. Liu, E. Min // Green Chemistry. 2006. – V. 8. – № 7. – P. 657-662.
12. Tang X. Heterogeneous photo-Fenton degradation of methylene blue under visible irradiation by iron tetrasulphophthalocyanine immobilized layered double hydroxide at circumneutral pH / X. Tang, Y. Liu // Dyes and Pigments. 2016. – V. 134 – N 11. – P. 397-408.
13. Jagtap N. Encapsulation of Co phthalocyanine in alumina-pillared clays and their characterization / N. Jagtap., V. Ramaswamy // Clays and Clay Minerals. 2006. – V. 54. – № 1. – P. 54-61.
14. Ramaswamy V. Immobilization and characterization of copper chlorophthalocyanine on alumina-pillared montmorillonite / V. Ramaswamy, M. S. Krishnan, A. V. Ramaswamy // Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical. 2002. – V. 181. – № 1-2. – P. 81-89.
15. Khankhasaeva S. Ts. The Effect of Modification on the Structural, Acidic, and Catalytic Properties of a Layered Aluminosilicate / S. Ts. Khankhasaeva, S. V. Badmaeva, E. Ts. Dashinamzhilova and others // Kinetics and Catalysis. 2004. – T. 45. – № 5. – С. 708-713.
16. Weber J. H. Complexes Derived from Strong Field Ligands. XIX. Magnetic Properties of Transition Metal Derivatives of 4,4',4'',4'''-Tetra-sulphophthalocyanine / J. H. Weber, D. H. Bush // Inorganic Chemistry. 1965. – V.4. – № 4 – P. 469-471.
17. Карякин Ю. В. Чистые химические вещества. / Ю. В. Карякин, И. И. Ангелов – 4-е изд. – М.: Химия, 1974. – 408 с.
18. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных и сточных вод. / Ю.Ю. Лурье – 4-е изд. – М.: Химия, 1984. – 448 с.
19. Abel, E. W. The association of cobalt (II) tetrasulphophthalocyanine / E. W. Abel, J. M. Pratt, R. Whelan // Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions. – 1976. – P. 509-514.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kovalenko O. H. Nizkotemperaturnoe kataliticheskoe okislenie serovodoroda kislorodom v rastvorah i gazovoj faze i vozmozhnosti ego primeneniya dlja processov seroochistki [Low-temperature catalytic oxidation of hydrogen sulfide by oxygen in solutions and gas phase and the possibility of its application for desulfurization processes] / O. H. Kovalenko, H. H. Kundo // *Himija v interesah ustojchivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development]. 1999. – V. 7. – № 4 – P. 397-409. [In Russian]
2. Mazgarov A. M. New catalysts and processes for removal of mercaptans from petroleum and petroleum products / A. M. Mazgarov, A.F. Vil'danov // *Petroleum Chemistry*. 1999. – V. 39. – № 5. – P. 336-343.
3. Kundo N. N. Mehanizm kataliticheskogo dejstvija tetrasul'foftalocianina kobal'ta [Mechanism of catalytic action of cobalt tetrasulphophthalocyanine] / N. N. Kundo N. P. Keier // *Zhurnal fizicheskoj himii* [Journal of Physical Chemistry]. 1968. – V. 42. – № 6. – P. 1352-1358. [In Russian]
4. Schutten J. H. Autooxidation of mercaptanes promoted by a bifunctional catalyst prepared by polymer attachment of cobalt-phthalocyanine / J. H. Schutten, J. Zwart // *Journal of Molecular Catalysis*. 1979. – V. 5. – № 2. – P. 109-123.
5. Denisova E. P. Adsorbcionnye vzaimodejstvija nitrozameshennyh ftalocianinov kobal'ta i zheleza s nositeljami razlichnoj prirody [Adsorption interactions of nitro-substituted phthalocyanines of cobalt and iron with carriers of various types] / Denisova E. P., Borisenkova C. A., Girenko E. G. and others // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 2. Himija* [Bulletin of the Moscow University. Series 2. Chemistry]. 1996. – V. 37. – № 6. – P. 575-579. [In Russian]
6. Akopyans Y. G. Synthesis and characterization of cobalt phthalocyanines covalently attached to silica / Y. G. Akopyans, S. A. Borisencova, O. L. Kaliya and others // *Journal of Molecular Catalysis*. 1993. – V. 83. – № 1-2. – P. 1-16.
7. Haber J. Cationic metalloporphyrins and other macrocyclic compounds in zeolite matrix as catalysts for oxidation with dioxygen / J. Haber, K. Pamin, J. Poltowicz // *Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical*. 2004. – V. 224. – № 1-2. – P. 153-159.
8. Iliev V. I. Oxidation and photooxidation of sulfur-containing compounds in the presence of immobilized phthalocyanine complexes / V. I. Iliev, A. I. Ileva, L. Bilyarska // *Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical*. 1997. – V. 126. № 2-3. – P. 99-108.
9. Stuchinskaya T. Cobalt phthalocyanine derivatives supported on TiO₂ by sol-gel processing: Part 2. Activity in sulfide and ethanethiol oxidation / T. Stuchinskaya, N. Kundo, L. Gogina and others // *Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical*. 1999. – V. 140. № 3 – P. 235-240.
10. Rozengart M. I. Sloistye silikaty kak katalizatory [Layered Silicates as Catalysts] / M. I. Rozengart, G. M. V'yunova, G. V. Isagulyants // *Uspehi himii* [Russian Chemical Reviews] 1988. – V. 57 – № 2. – P. 204-227. [In Russian]
11. Liu H. Catalytic oxidation of mercaptans by bifunctional catalysts composed of cobalt phthalocyanine supported on Mg–Al hydrotalcite-derived solid bases: effects of basicity / H. Liu, E. Min // *Green Chemistry*. 2006. – V. 8. – № 7. – P. 657-662.
12. Tang X. Heterogeneous photo-Fenton degradation of methylene blue under visible irradiation by iron tetrasulphophthalocyanine immobilized layered double hydroxide at circumneutral pH / X. Tang, Y. Liu // *Dyes and Pigments*. 2016. – V. 134 – N 11. – P. 397-408.
13. Jagtap N. Encapsulation of Co phthalocyanine in alumina-pillared clays and their characterization / N. Jagtap., V. Ramaswamy // *Clays and Clay Minerals*. 2006. – V. 54. – № 1. – P. 54-61.
14. Ramaswamy V. Immobilization and characterization of copper chlorophthalocyanine on alumina-pillared montmorillonite/ V. Ramaswamy, M. S. Krishnan, A. V. Ramaswamy // *Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical*. 2002. – V. 181. – № 1-2. – P. 81-89.
15. Khankhasaeva S. Ts. The Effect of Modification on the Structural, Acidic, and Catalytic Properties of a Layered Aluminosilicate / S. Ts. Khankhasaeva, S. V. Badmaeva, E. Ts. Dashinamzhilova and others // *Kinetics and Catalysis*. 2004. – T. 45. – № 5. – C. 708-713.
16. Weber J. H. Complexes Derived from Strong Field Ligands. XIX. Magnetic Properties of Transition Metal Derivatives of 4,4',4'',4'''-Tetrasulphophthalocyanine / J. H. Weber, D. H. Bush // *Inorganic Chemistry* 1965. – V.4. – № 4 – P. 469-471.
17. Karjakin Ju. V., Angelov I.I. Chistye himicheskie veshhestva [Pure chemicals] / Ju. V. Karjakin, I.I. Angelov – 4th edition – M.: Himija, 1974. – 408 p. [In Russian]
18. Lur'e Ju. Ju. Analiticheskaja himija promyshlennyh i stochnyh vod. [Analytical chemistry of industrial and waste water] / Ju. Ju. Lur'e – 4th edition – M.: Himija, 1984. – 448 p. [In Russian]
19. Abel, E. W. The association of cobalt (II) tetrasulphophthalocyanine / E. W. Abel, J. M. Pratt, R. Whelan // *Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions*. – 1976. – P. 509-514.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.031>**ПСЕВДОАККОМОДАЦИЯ У БОЛЬНЫХ ДВУСТОРОННЕЙ АРТИФАКИЕЙ**

Научная статья

Малов В.М.¹, Стебнев В.С.², Малов И.В.³, Стебнев С.Д.⁴, Карлова Е.В.⁵, Павлова О.В.⁶, Ерошевская Е.Б.^{7,*}¹ ORCID: 0000-0002-8456-7746;² ORCID: 0000-0002-4539-7334;³ ORCID: 0000-0003-2874-9585;⁷ ORCID: 0000-0002-2137-7769;

1, 2, 3, 5, 6, 7 Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

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

Аннотация

Изучены результаты лечения 83 больных катарактой в возрасте от 46 до 83 (68±6,3) лет после двусторонней факоэмульсификации катаракты с имплантацией эластичной интраокулярной линзы с применением системы «монозрение». Проведен анализ явления псевдоаккомодации, основанного на дозированной анизометропии. В результате острота зрения обоих глаз в отдельности у всех пациентов с коррекцией равнялась 0,9-1,0, бинокулярно без коррекции – 0,8-1,0 (0,86±0,13). При этом средние цифры рефракции ведущего глаза составили (-) 0,08±0,27D, парного – (-) 1,46±0,54D. На близком расстоянии (бинокулярно без коррекции) острота зрения составила в среднем 0,67±0,09±, на среднем - 0,84±0,07.

Ключевые слова: артифакция, анизометропия, моновизузм.**PSEUDO-ADAPTATION IN PATIENTS WITH BILATERAL PSEUDOPHAKIA**

Research article

Malov V.M.¹, Stebnev V.S.², Malov I.V.³, Stebnev S.D.⁴, Karlova E.V.⁵, Pavlova O.V.⁶, Yeroshevskaya E.B.^{7,*}¹ ORCID: 0000-0002-8456-7746;² ORCID: 0000-0002-4539-7334;³ ORCID: 0000-0003-2874-9585;⁷ ORCID: 0000-0002-2137-7769;

1, 2, 3, 5, 6, 7 Samara State Medical University, Samara, Russia

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

Abstract

The results of the treatment of 83 cataract patients aged 46 to 83 (68±6.3) after bilateral phacoemulsification of cataract with the implantation of an elastic intraocular lens using the "monovision" system were studied. The analysis of the phenomenon of pseudo-adaptation based on measured anisometropia was carried out. As a result, the visual acuity of both eyes separately in all patients with the correction comprised 0.9-1.0, binocular without any correction — 0.8-1.0 (0.86±0.13). The average numbers of the leading eye's refraction were (-) 0.08±0.27D, paired - (-) 1.46 ± 0.54D. At close range (binocular without correction), visual acuity averaged 0.67±0.09±, on the average - 0.84±0.07.

Keywords: pseudophakia, anisometropia, monovizuzm.

Патология хрусталика, в частности катаракта, предполагает удаление мутного хрусталика и его замену на искусственный. Современным методом хирургического лечения является ультразвуковая факоэмульсификация с интракапсулярной имплантацией эластичного искусственного хрусталика [1], [2]. При этом пациент быстро обретает высокие зрительные функции, благодаря применению тоннельного самогерметизирующегося доступа, не требующего наложения швов и использованию современных микроскопов, факоэмульсификаторов, вискоэластиков, интраокулярных линз. Эта технология разработана и с успехом используется при разнообразной сочетанной патологии – при сублюксации хрусталика, первичной и вторичной глаукомах, при наличии ядер высокой плотности, ригидной радужки, миоза, при псевдоэкзофалиативном синдроме, синдромах Марфана, Марчезани, разнообразной посттравматической патологии переднего отрезка глаза. Малая травматичность и скорая реабилитация пациентов позволяет применять ее не только в лечении патологии хрусталика, но и в качестве рефракционной и даже гипотензивной операции. Несмотря на высокие функциональные результаты хирургического лечения катаракты с имплантацией монофокальных интраокулярных линз, часто больные отмечают значительные затруднения при работе на близком и средних расстояниях. Поэтому актуальной задачей современной интраокулярной коррекции афакии является создание условий для хорошего зрения на различных расстояниях. Обретая высокое зрение вдаль, пациенты желают так же хорошо видеть без очков и на разных расстояниях, в частности, вблизи. Это возможно с применением «мультифокальных», «трифокальных», «аккомодирующих» интраокулярных линз, линз с расширенной глубиной фокуса. Негативной стороной их применения являются, отмечаемые у некоторых пациентов зависимость от изменения освещенности, малейшей децентрации линзы, возникновении различных световых феноменов, снижение контрастной чувствительности, высокая стоимость линз [3]. Аккомодирующие интраокулярные линзы могут потерять свои свойства при фиброзе капсульного мешка [4]. В целом, перечисленные виды интраокулярных линз имеют не частое применение ввиду перечисленных причин, среди которых немаловажен материальный вопрос. Одним из вариантов создания псевдоаккомодации является технология «прогнозируемой анизометропии», или система

«моновижн» с использованием монофокальных искусственных хрусталиков [5], используемых в настоящее время в подавляющем большинстве. Эта технология предполагает формирование зрения ведущего глаза для дали, а парного – для близи. При этом доминантному глазу придается эмметропическая, а парному – слабая миопическая рефракция [1, 6-10].

Целью работы является изучение эффекта псевдоаккомодации у больных с двусторонней артифакцией по системе «моновижн».

Материал и методы

Проведен анализ отдаленных результатов хирургического лечения 82 больных – 53 женщин и 39 мужчин с возрастной и осложненной катарактой в возрасте от 46 до 83 ($68,3 \pm 6,3$) лет, которым была произведена факоэмульсификация с имплантацией монофокальных искусственных хрусталиков в оба глаза с применением системы «моновидение». Перед операцией острота зрения была равна $0,01-0,4$ ($0,08 \pm 0,24$). Офтальмотонус в среднем был равен $17,8 \pm 0,6$. Перед операцией у 17 больных выявлена миопическая рефракция в $0,5-1,0$ Д, у 13 – в $1,5-2,0$ Д, у 7 – гиперметропическая в $0,75-1,0$ Д.

Из анализа были исключены пациенты с роговичным астигматизмом более $0,5$ Д, длиной передне-задней оси глаза менее $23,0$ и более $25,0$ мм, дефектом поддерживающего аппарата хрусталика, первичной глаукомой.

Факоэмульсификацию проводили с использованием операционного микроскопа «MÖLLER WEDEL» Hi-R 900 (Германия), офтальмологических система «Stellaris PC Vision Enhancement system» (Bausch&Lomb, США) и Whitestar Signature (Abbot, США). Ширина тоннельного самогерметизирующегося роговичного разреза составляла $2,2$ или $2,75$ мм. Окраска передней капсулы хрусталика при необходимости проводилась трипановым синим. Для раскола ядра хрусталика использовали в основном технику «Phaco Chop». Для имплантации использовались монофокальные эластичные интраокулярные линзы.

Дозированная анизометропия заключалась в формировании эмметропической рефракции ведущего и слабой миопической рефракции в $1,0$ Д – парного глаза.

После операции определяли остроту зрения вдаль, на среднем и близком расстояниях - как с коррекцией, так и одновременно двумя глазами без коррекции через один месяц, шесть месяцев, год, три года и более.

При анализе отдаленных результатов интраокулярной коррекции афакии у пациентов, корригированных по системе «Моновисус» большое внимание уделяли не только функциональным результатам, но и субъективным ощущениям пациентов.

Для статистической обработки полученных данных использовали программу Microsoft Office Excel 2007, Statistika версия 6.0.

Результаты и обсуждение

Во время операции осложнений не наблюдалось. На следующий день повышение офтальмотонуса было отмечено у 9 больных (9 глаз), отек роговицы - у 8 пациентов (8 глаз). Осложнения были купированы проведением консервативной терапии. Внутриглазное давление составило в среднем $17,5 \pm 1,23$ мм рт. ст.

У всех пациентов оперированные глаза были спокойными, оптические среды прозрачными. Диаметр зрачков составлял $2,5-3,0$ мм. Интраокулярные линзы занимали правильное положение в собственной капсуле хрусталика.

Отдаленные наблюдения за больными составили от 18 месяцев до 18 лет (в среднем – $4,3 \pm 2,2$ года). Вторичная катаракта, потребовавшая проведение лазерной дисцизии, развилась у 14 пациентов (20 глаз).

Острота зрения обоих глаз с коррекцией у всех пациентов равнялась $0,9-1,0$. При этом рефракция ведущего глаза составила (-) $0,08 \pm 0,25$ Д, парного глаза (-) $1,45 \pm 0,54$ Д. Бинокулярно вдаль, без коррекции острота зрения была равна $0,8 - 1,0$ ($0,86 \pm 0,13$). Причем у 59 из них острота зрения равнялась $1,0$, у 23 – $0,8-0,9$ (ввиду наличия индуцированного прямого простого миопического астигматизма в $0,75-1,25$ Д). Вблизи (на расстоянии $0,33 - 0,40$ м) бинокулярно без коррекции острота зрения составила в среднем $0,67 \pm 0,09$, на среднем расстоянии ($0,6 - 1,0$ м) - $0,84 \pm 0,07$. Очковая коррекция зрения для близи потребовалась 8 (11%) больным. Остальные пациенты не испытывали затруднений при чтении шрифта №5.

В послеоперационном периоде пациенты не жаловались на снижения контрастной чувствительности, появление вспышек, ореолов, снижение сумеречного зрения, искажение формы светящихся предметов в ночное время. Ввиду того обстоятельства, что пациенты свободно, без очков обходились как при зрении вдаль и на среднем расстоянии, так и при работе за компьютером, при чтении, использовании мобильного телефона, они были вполне удовлетворены полученными результатами и считали полученный рефракционный эффект хирургического лечения весьма комфортным.

Таким образом, дозированная анизометропия в $1,0-1,5$ Д при двусторонней имплантации монофокальных интраокулярных линз позволяет достичь феномена псевдоаккомодации и удовлетворительного зрения вдаль, вблизи и на средних расстояниях.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Малюгин Б. Э. Хирургия катаракты и интраокулярная коррекция на современном этапе развития офтальмохирургии / Б. Э. Малюгин // Вестн. офтальмол. - №6, 2014. - С. 80-88.
2. Першин К. Б. Коррекция остаточной аметропии после факоэмульсификации катаракты. Часть 1. Кераторефракционные подходы. / К. Б. Першин, Н. Ф. Пашинова, А. Ю. Цыганков и др. // Офтальмология. 2017. - 14(1). - С. 18–26. DOI: 10.18008/1816-5095-2017-1-18-26
3. Chang D. E. Prospective functional and clinical comparison of bilateral ReZoom and ReSTOR intraocular lenses in patients 70 years or younger. / D. E. Chang // J. Cataract Refract. Surg. - 2008. - Vol.34. - P. 934-941.
4. Исаев М. А. Исследование клиничко-функциональных характеристик аккомодационной функции глаз пациентов

с монофокальными ИОЛ различных конструкций. Автореф. дис. ... канд. мед. наук – М., 2013. -24 с.

5. Кокин С. А. Клинико-функциональная оценка оптимизированного метода достижения прогнозируемой анизометропии при коррекции афакии монофокальными интраокулярными линзами. Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. Москва, 2015. - 24 с.

6. Малугин Б. Э. Сравнительная оценка клинико-функциональных результатов и субъективной удовлетворенности у пациентов с различной степенью анизометропии / Б. Э.Малугин, С. А.Кокин, Е. М. Пожарицкая // Бюллетень СОРАН том 34. - № 3. - 2014. - С. 67-71.

7. Naeser K. Pseudophakic monovision: optimal distribution of refractions / K .Naeser, J. O. Hjortdal, W. F. Harris.//Acta Ophthalmol. 2013. - May. - 7. P. 270-275. DOI: 10.1111/aos.12148.

8. Ito M. Five-year clinical study of patients with pseudophakic monovision / M. Ito, K. Shimizu, Y. Iida and others// J. Cataract. Refract. Surg. 2012 Aug. 38 (8). 1440-1445.

9. Xiao J. Pseudophakic monovision is an important surgical approach to being spectacle-free / J. Xiao, C. Jiang, M. Zhang // Indian J. Ophthalmol. 2011 Nov.-Dec. 59 (6). 481-485.

10. Zhang F. Visual function and spectacle independence after cataract surgery: Bilateral diffractive multifocal intraocular lenses versus monovision pseudophakia / F. Zhang, A. Sugar, G. Jacobsen // J. Cataract Refract. Surg. 2011. - 37 (5). – P. 853—858.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Malyugin B. Ye. Khirurgiya katarakty i intraokuliarnaja korrektsiya na sovremennom etape razvitiya oftalmokhirurgii [Cataract Surgery and Intraocular Correction at the Present Stage of Ophthalmological Surgery Development] / B. E. Malyugin // Vestnik oftalmologii [Ophthalmology Bulletin] – No. 6, 2014. – P. 80-88. [In Russian]

2. Pershin K. B. Korrektsiya ostatochnoi ametropii posle fakoemulsifikatsii katarakty. Chast 1. Keratorefraktsionnye podkhody [Correction of Residual Ametropia after Cataract Phacoemulsification. Part 1. Kerato-refraction Approaches] / K. B.Pershin, N. F. Pashinova, A. Yu.Tsygankov and others// Oftalmologiya [Ophthalmology]. 2017. – 14 (1). – P. 18–26. DOI: 10.18008/1816-5095-2017-1-18-26 [In Russian]

3. Chang D. E. Prospective functional and clinical comparison of bilateral ReZoom and ReSTOR intraocular lenses in patients 70 years or younger. / D. E. Chang // J. Cataract Refract. Surg. – 2008. – Vol.34. – P. 934-941.

4. Isaev M. A. Issledovanie kliniko-funktsionalnykh kharakteristik akkomodatsionnoi funktsii glaz patsientov s monofokalnymi IOL razlichnykh konstruktsii. [Study of Clinical and Functional Characteristics of Accommodative Function of the Eyes of Patients with Monofocal IOLs of Various Designs] Thesis Abstract of MD – М., 2013. – 24 p. [In Russian]

5. Kokin S. A. Kliniko-funktsionalnaya otsenka optimizirovannogo metoda dostizheniya prognoziruemoi anizometropii pri korrektsii afakii monofokalnymi intraokuliarnymi linzami. [Clinical and Functional Assessment of an Optimized Method to Achieve Predictable Anisometropia with the Correction of Aphakia with Monofocal Intraocular Lenses] Thesis Abstract of MD – М., 2015. – 24 p. [In Russian]

6. Malyugin B. Ye. Sravnitel'naya otsenka kliniko-funktsionalnykh rezultatov i subyektivnoi udovletvorennosti u patsientov s razlichnoi stepenyu anizometropii [Comparative Evaluation of Clinical and Functional Results and Subjective Satisfaction of Patients with Varying Degrees of Anisometropia] / B. E. Malyugin, S. A.Kokin, E. M. Pozharitskaya // Bulletin SORAN [Bulletin of the SBRAS] Volume 34. – No. 3. – 2014. – P. 67-71. [In Russian]

7. Naeser K. Pseudophakic monovision: optimal distribution of refractions / K .Naeser, J. O. Hjortdal, W. F. Harris.//Acta Ophthalmol. 2013. - May. - 7. P. 270-275. DOI: 10.1111/aos.12148.

8. Ito M. Five-year clinical study of patients with pseudophakic monovision / M. Ito, K. Shimizu, Y. Iida, R. Amano // J. Cataract. Refract. Surg. 2012 Aug. 38 (8). 1440-1445.

9. Xiao J. Pseudophakic monovision is an important surgical approach to being spectacle-free / J.Xiao, C.Jiang, M.Zhang // Indian J. Ophthalmol. 2011 Nov.-Dec. 59 (6). 481-485.

10. Zhang F. Visual function and spectacle independence after cataract surgery: Bilateral diffractive multifocal intraocular lenses versus monovision pseudophakia / F. Zhang, A. Sugar, G. Jacobsen, - Collins // J. Cataract Refract. Surg. 2011. - 37 (5). – P. 853—858.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.032>

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УЩЕРБ ПОСЛЕДСТВИЯ ГНОЙНО-СЕПТИЧЕСКИХ НОЗОКОМИАЛЬНЫХ КАРДИОХИРУРГИЧЕСКИХ ИНФЕКЦИЙ

Научная статья

Настас А.Ф.*

ORCID: 0000-0002-3992-9242

Государственный университет медицины и фармации им. Н.Тестемицану, Кишинёв, Молдова

* Корреспондирующий автор (aliona.nastas[at]usmf.md)

Аннотация

Гнойно-септические нозокомиальные кардиохирургические инфекции являются проблемой для общественного здравоохранения. Большинство внутрибольничных инфекций связаны с диагностическими исследованиями, процедурами и медицинскими приборами. Исследование показало, что средняя стоимость лечения одного больного составляет 29238,23 MDL для пациентов без гнойно-септических нозокомиальных кардиохирургических инфекций, 34465,04 MDL для пациентов с гнойно-септическими нозокомиальными кардиохирургическими инфекциями, 53832,84 MDL для пациентов с гнойно-септическими нозокомиальными кардиохирургическими инфекциями в ассоциациях. Дополнительные расходы, связанные с лечением и пребыванием пациентов с гнойно-септическими нозокомиальными кардиохирургическими инфекциями в стационаре, составляют 9851016,18 MDL. Общая сумма лет, потерянных для пациентов умерших от сердечно-сосудистыми заболеваниями с гнойно-септическими нозокомиальными кардиохирургическими инфекциями в 2010-2013 годы, составляет 293 года, что представляет собой экономический ущерб для Республики Молдова 5137101,03 MDL. Суммарный экономический ущерб в результате гнойно-септических нозокомиальных кардиохирургических инфекций, на период исследования с 2010 по 2013 год, составляет 53111959,61 MDL.

Ключевые слова: Гнойно-септические нозокомиальные кардиохирургические инфекции, экономический ущерб, затраты на лечение, эпиднадзор, эпидемический процесс.

THE SOCIO-ECONOMIC IMPACT OF POST CARDIAC SURGERY PATIENTS WITH SEPTIC-PURULENT NOSOCOMIAL INFECTIONS

Research article

Nastas A.T.*

ORCID: 0000-0002-3992-9242

Testemitanu State University of Medicine and Pharmacy, Chisinau, Moldova

* Corresponding author (aliona.nastas[at]usmf.md)

Abstract

Cardio-surgical septic-purulent nosocomial infections represent a major problem for public health. Most hospital infections are those related to diagnostic explorations, related procedures and/or medical devices.

The study has shown that the average cost of treatment *per capita* represents 29,238.23 MDL for patients without cardio-surgical SPNI, 34,465.04 MDL for patients with cardio-surgical SPNI, 53,832.84 MDL for patients with cardio-surgical SPNI with associations. Additional costs related to treatment and the stationary stay of cardio-surgical patients with SPNI is a total of 9,851,016.18 MDL. The total amount of lost years in deceased post cardio-surgical patients with SPNI for the years 2010-2013 is 293 years, representing an economic loss to the Republic of Moldova of 5,137,101.03 MDL. Full economic impact due to morbidity through post cardio-surgical SPNI during the study period 2010-2013 is a total of 53,111,959.61 MDL.

Keywords: cardiac surgery, septic-purulent nosocomial infections, economic impact, treatment costs, surveillance, epidemic process.

Introduction

Septic-purulent nosocomial infections (SPNI) are one of the most common important public health issues. The reality of this problem at first refers to the widespread extent of these infections with a significant impact on psychological, social and economic consequences [2].

According to the European Center for Disease Control and Prevention (ECDC) nearly 4,131,000 patients are affected annually by HAI's (Hospital Acquired Infections) in Europe, the number of episodes amounts to the figure of 4,544,100 corresponding to the spread of 7.1%. HAI ranks 10th among causes of death in the US. According to the data from the Center for Disease Control (CDC), the number of HAI cases per year is 1.7 million, of which 99,000 end up with death, and the economic impact amounts to nearly \$30 million [3], [4].

In France, for example, hospitalization in patients with HAI is prolonged three times, and the risk of lethality increases by 4-5 times [5,4]. In the EU it is possible to prevent 750,000 medical errors per year, which means reducing the duration of hospitalization by 3.2 million days, the number of serious errors by 260,000 and deaths by 95,000. According to the CDC, there are over 500,000 infections in the US annually due to surgery [6]. Surgical infections increase by 60% in intensive care admissions, five times in case of re-admission, and double the possibility of mortality compared to untreated patients [7]. Another US study to determine the incidence of surgical site infections and its economic impact, demonstrated the relationship between extending the length of stay in hospital and increasing the cost of treatment and addition of nearly 1 million days of hospitalization and \$1.6 billion excess costs [8]. In Germany, it was estimated that approximately €2.4 billion is spent annually for the treatment of these infections [9].

As a result of a study evaluating socio-economic significance through septic-purulent intra-hospital infections, it was found that economic damage only in the city of Chisinau (1994) amounted to 16,038,000.00-23,328,000.00 MDL annually, an average of 19,683,000.00 MDL, without accounting for any fatal cases, additional remuneration for the work of the staff, and also without discounting morbidity through such infections as flu, viral acute respiratory diseases, pneumonia, and others [10].

At present, there is no calculation methodology in the Republic of Moldova in order to measure the economic impact and human health damage resulting from health care associated infections, although there are a dozen publications written on this topic.

The purpose of the current study was to determine the socio-economic impact as a result of septic-purulent nosocomial cardio-surgical infections.

Material and methods

The research was conducted by actively detecting SPNI cases, after patients received cardiac surgery, by the method of retrospective analysis of medical records of stationary patients hospitalized in the Cardiac Surgery Department of Acquired Vices of the Republican Clinical Hospital (RCH) "Timofei Moşneaga" during the period 2010-2013. A total of 1,332 patient records were studied.

Calculation of the economic and social impact was made by calculating the costs incurred by RCH as a result of cardio-surgical SPNI. The cost of staying in the cardiosurgical department was calculated according to the tariffs for medical-sanitary services approved by the Government Decision no. 1020 of 29 December 2011 "Regarding on tariffs for sanitary services", after formula [1]:

$$C_{st} = T \times N_z$$

Where:

C_{st} - living expenses,

T - price *per capita* according to the Catalog,

N_z - the number of days in the stationary.

Treatment costs in the cardiosurgical department were calculated according to the delivery orders of medicines, medical items for each patient, in the years 2011-2013 with the modeling of the expenses incurred on the entire study period, according to the formula:

$$C_{tr} = (C_{bon} \times N_t) / N$$

Where:

C_{tr} - stationary treatment costs,

C_{bon} - the expenses according to delivery orders of medicines,

N_t - the total number of cases with SPNI treated in stationary,

N - the number of patients with the delivery orders of medicines.

Full economic impact due to morbidity through post cardio-surgical SPNI during the study period 2010-2013 was calculated using the formula:

$$I_{ei} = C_{tr} + C_{pd} + C_{st} + C_{pm} + C_f + \dots +$$

where:

I_{ei} - the full economic impact,

C_{tr} - stationary treatment costs,

C_{pd} - Expenses in the form of damage to the state,

C_{st} - cost of living (maintenance) in the stationary,

C_{pm} - Expenses in the form of moral damage,

C_f - lost family expenses following SPNI deaths.

Results

During the years 2010-2013 in the cardiac surgery department of RCH 1,332 patients have received treatment, of those 143 (10.74%) received conservative treatment, and 1,189 (89.26%) received surgical treatment. This treatment ratio, conservative/surgical approach, is approximately the same in the years 2010, 2011, 2012 and 2013, with a range of only 1-2%. After reviewing the medical documentation, a total of 423 cases with SPNI were detected, including five cases with SPNI that received conservative treatment (1.18%), 418 cases of SPNI that received surgical treatment (98.82%). It is worth mentioning that in the years 2010 and 2013 the registered SPNI patients, 127 and 99 respectively, all (100%) received surgical treatment. The instances of morbidity through SPNI over the period 2010-2013 is 317.6 per 1,000 patients. The incidence of SPNI in patients treated conservatively during this period is 34.97%, in those treated surgically it is 351.56%, being 10 times higher (figure 1).

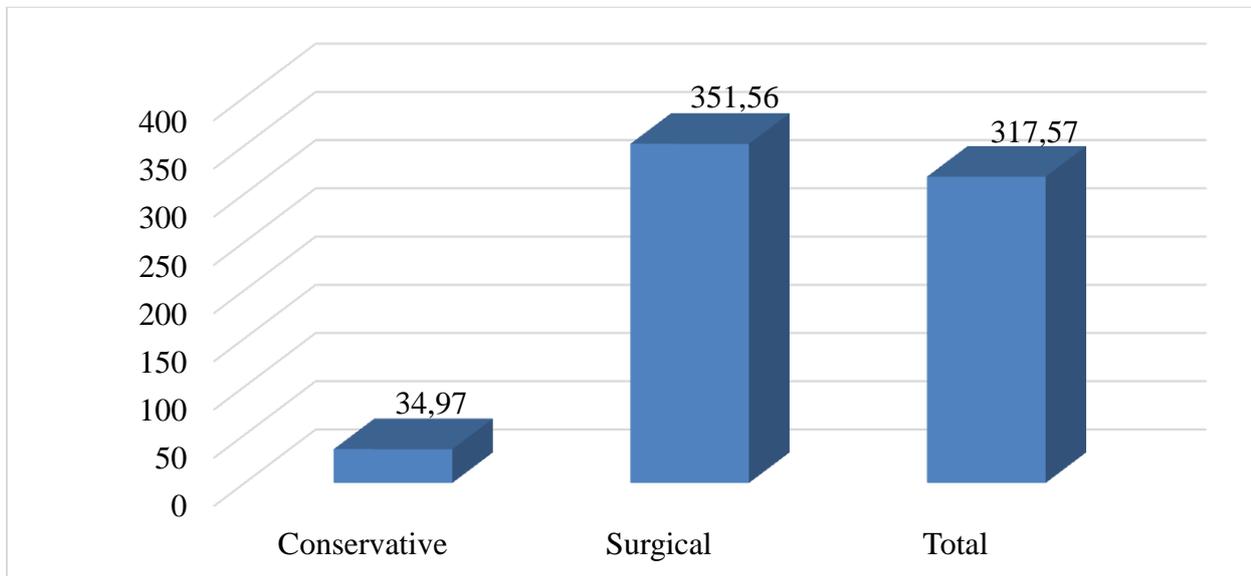


Fig. 1 – Incidence through ISPNI in the cardiac surgery department of total RCH in treated patients conservative and surgical, during the years 2010 - 2013 (%)

Incidents of SPNI between 2010 and 2013, in cases of inpatient cardiac surgery, reported to CPH were 15.02‰ or 21.15 times lower than the actual incidence (317.57‰). In 2010, the incidences reported to the CPH were 7.58‰, 42.31 times lower than the actual incidences registered for that year (320.71‰), in 2011 it was 13.61‰, 25.24 times lower than the actual incidences (343.54‰), in 2012 the incidences reported to the CPH were 3.65‰, or 96 times lower than the actual incidences registered that year (350.36‰), the incidences in 2013 reported are 32.61‰, 8.2 times lower than the actual incidences (269.02‰) (Figure 2).

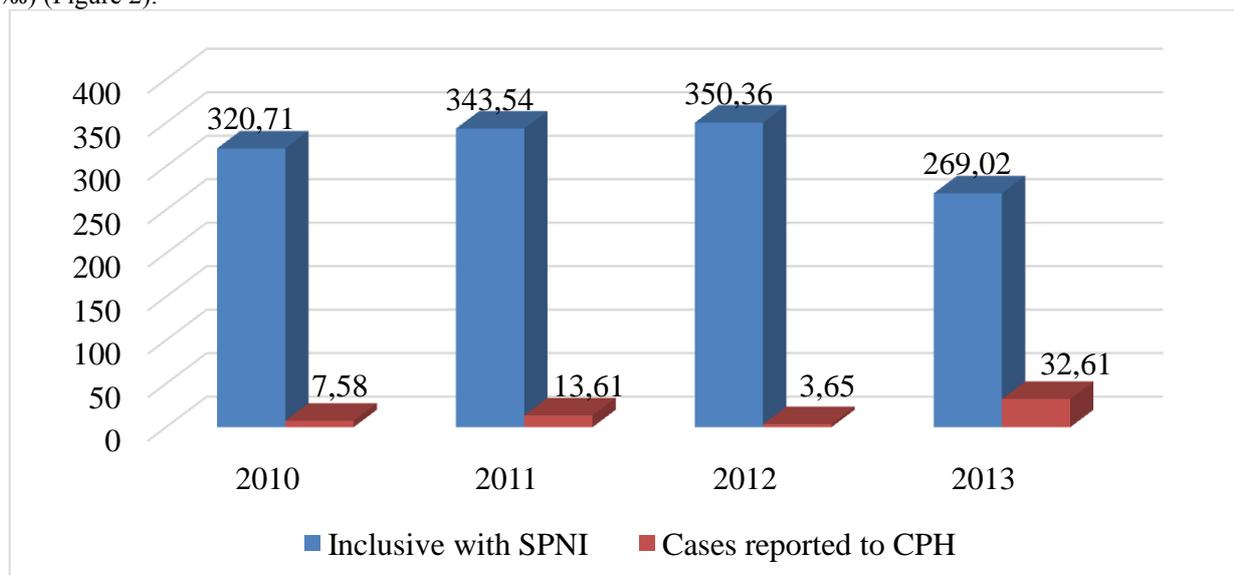


Fig. 2 – Overall incidence by actual cardio-surgical ISPNI and reported to CPH mun. Chisinau (%)

During the years 2011-2013 bills were presented on medical records to 533 patients, accounting for 48.0% of all patients treated surgically throughout the study period. Of the 533 patients with the bill of payment, 174 or 31.5% are cardio-surgical patients without SPNI, 291 patients or 52.7% are with SPNI, 68 patients or 12.3% with SPNI and associations. At the same time, these 533 patients represent 174 or 27.0% of patients without SPNI, 291 or 69.7% of patients with SPNI, 68 or 75.6% of patients with SPNI and associations. According to payment invoices analyzed in the department of cardiac surgery for 2011-2013, the average of the cost of treatment *per capita* was 29,238.23 MDL for patients without SPNI, 34,465.04 MDL for patients with SPNI, 53,832.84 MDL for patients with SPNI and associations. The mathematical model used, is based on the costs incurred in treatment of post cardio - surgical patients, including patients with SPNI, throughout the study period 2010-2013 (Table 1).

Table 1 – Estimated expenses in treatment of cardiac surgery patients during the years 2010-2013

Categories	No. of patients 2010-2013	Cost per capita	Amount spent	Days treated	Care per day fee	Extra costs
Without ISPN	646	29,238.23	18,887,896.58	24.24	1,206.20	0
With ISPN	418	34,465.04	14,406,386.72	34.71	992.95	4,345,605.96
With associations	90	53,832.84	4,844,955.60	39.60	1,359.42	1,879,263.00
Total	1,154		38,139,238.90			6,224,868.96

For the treatment of cardio-surgical patients during the period 2010-2013, 38,139,238.90 MDL were spent, of which 19,251,342.32 MDL or 50.48% were spent to treat patients with SPNI, of those, 14,406,386.72 MDL or 74.9% spent on treating patients with single SPNI, 4,844,955.60 MDL or 25.1% spent on treating patients with SPNI with associations.

The cost of the day/bed *per capita* in the treatment of patients with unique SPNI is 992.95 MDL, of those with SPNI with associations is 1,359.42 MDL, of the patients without cardio-surgical SPNI is 1,206.20 MDL (Figure 3).

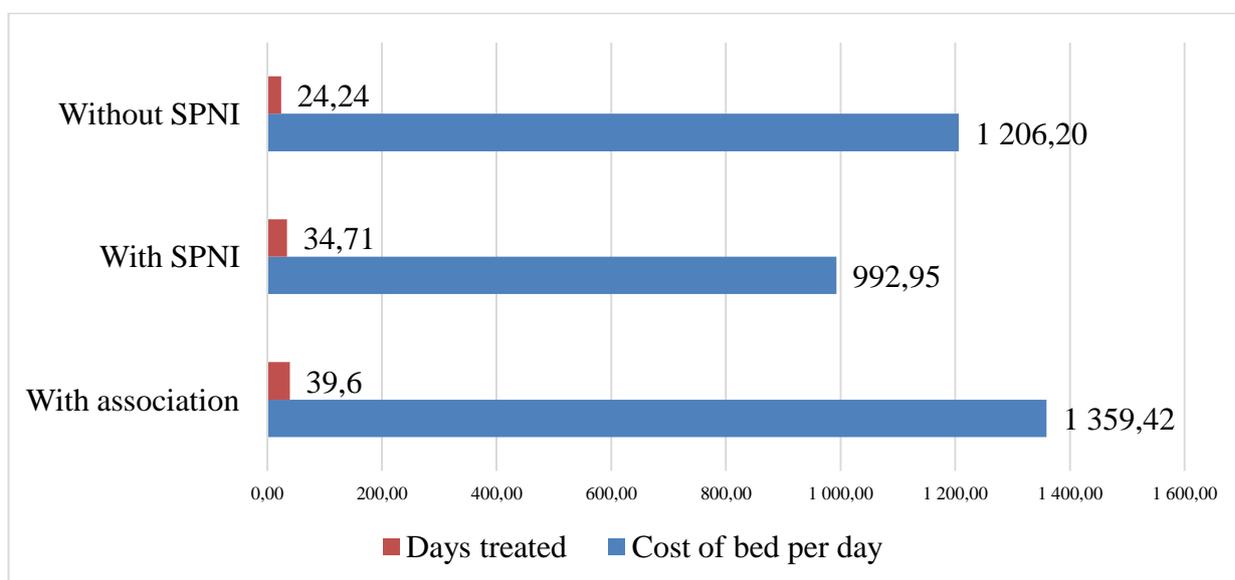


Fig. 3 – Average length of stay in days and cost of bed per day (MDL) for the treatment of cardiac surgery patients

Thus, treatment of stationary patients with single SPNI increased by 10.47 extra days compared to patients without SPNI, increasing expenditures of 4,345,605.96 MDL or 30.2% of the total cost of treatment of the post cardio-surgical patients with SPNI. For the treatment of SPNI patients with associations who were stationary 15.36 additional days were required compared to patients without SPNI, with additional costs of 1,879,263.00 MDL or 48.0% of the total cost of treatment of these patients. For the treatment of patients with unique SPNI and with associations, additional expenses of 6,224,868.96 MDL or 17.0% in addition to the total costs for the treatment of cardiac surgery patients were paid.

The length of stay of patients that acquired SPNI on the day of the cardiac surgery is much longer than those that did not acquire SPNI on the day of their surgery. The average for the years 2010-2013 was 10.47 days/bed for each patient with unique SPNI and 15.36 days/bed for patients with associations. Additional costs related to the stay of patients with unique SPNI was 1,308,561.54 MDL, as a result of the cost of a day/bed equal to 299 MDL according to the Price List, of those with SPNI with associations the cost was 413,337.60 MDL. Total amount of additional expenses related to the stationary stay of patients with unique SPNI and with associations was 1,721,899.14 MDL. Cost of surgical treatment of SPNI by performing 1, 2, and 3 surgeries represent 1,904,248.08 MDL for the additional 126 surgeries performed, and the average cost of a surgical procedure was 15,113.08 MDL.

As a result, the additional expenses related to treatment and stationary stay of cardio-surgical patients with SPNI totals 9,851,016.18 MDL, including 6,224,868.96 or 63.24% treatment-related expenses, 1,721,899.14 MDL or 17.5% for the extra days of stay (cost of day/bed) and 1,904,248.08 MDL or 19.26% surgical treatment costs with 1, 2 and 3 surgeries (Figure 4).

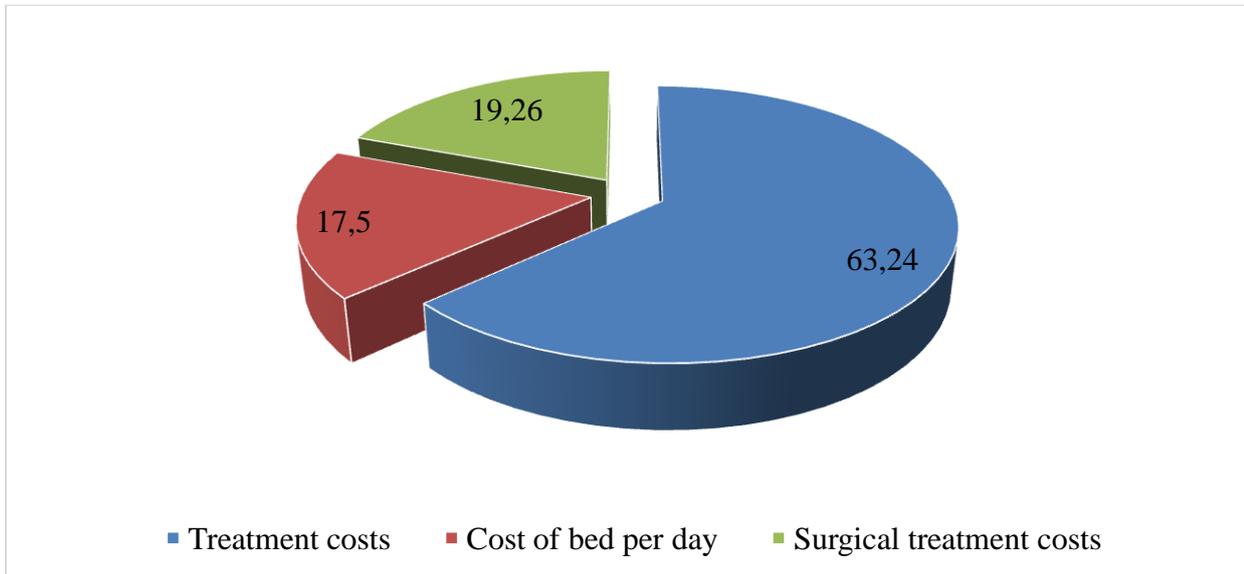


Fig. 4 – Structure of additional expenses incurred in the cardio-surgical department during the years 2010-2013 (%)

In the Cardiac Surgery Department of Acquired Heart Defects over the years 2010-2013, 37 patients or 90.24% of the 67 patients died 48 hours after surgery, of those, 30 or 81.9% were with SPNI. Ages of deceased patients with post cardiac surgery SPNI ranged from 36 to 73 years. Most deaths were at the age of 62 with four deceased patients representing 13.38% of the patients. Two patients died at ages of 36, 41, 48, 53, 60, 63, 68, respectively representing 6.67% of the patients. For ages 43, 44, 49, 51, 52, 55, 56, 59, 69, 71, 73, one patient died for each age category, representing 3.33% of the patients.

Following the deaths of patients with post cardio-surgical SPNI, years of life lost depending on the age of the patients is shown below (Figure 5).

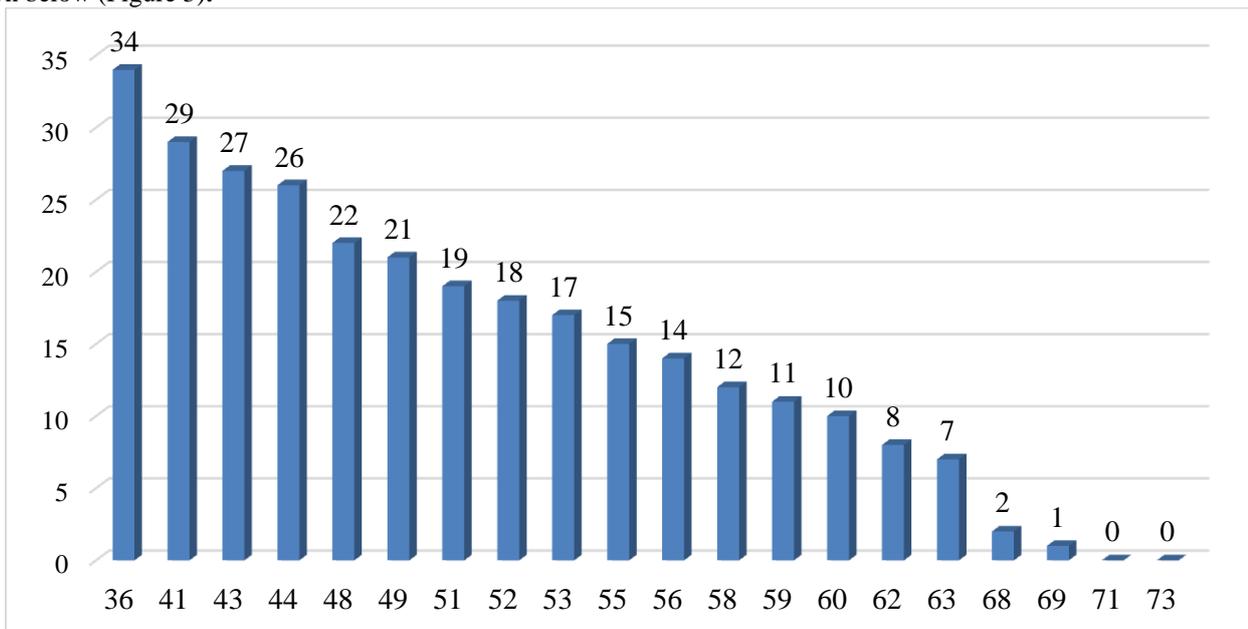


Fig. 5 – Years of life lost depending on the age of the patients in post cardiac surgery SPNI during the years 2010-2013

The benchmark used for life expectancy at birth in the Republic of Moldova during the study period 2010-2013 was, for both sexes, an average of 70 years. A patient that died at the age of 36 missed 34 years of his/her young life. The lost year for a 69-year-old patient is one year. The total amount of lost years in post cardiac surgical patients with SPNI for the years 2010-2013 was 293 years.

Based on GDP *per capita* in the Republic of Moldova in the years 2010-2013 which was an average \$996.18, the economic loss caused by deaths as a result of post cardiac surgical SPNI was \$291,880.74 or 5,137,101.03 MDL. The loss of income for families of deceased patients with post-cardiac surgery SPNI represents 12,732,842.40 MDL, when the average monthly salary in the Republic of Moldova was 3,621.40 MDL for the years 2010-2013.

The moral damage to the family and relatives of the patients with cardio-surgical SPNI varies from case to case, but from judicial point of view, the negative impact reaches at least 50,000.00 MDL for each case of SPNI infection according to search results on the internet. The economic impact of moral damages for 508 cases of post cardio-surgical SPNI during the study period 2010-2013 would constitute 25,400,000.00 MDL.

Full economic impact due to morbidity through SPNI post-cardiac surgery during the study period 2010-2013 is a total of 53,111,959.61 MDL (Table 2).

Table. 2 – Distribution of expenses related to morbidity through post cardio-surgical SPNI during the years 2010-2013 (MDL)

Estimated Expenses Amount	Amount
1. General treatment	6,224,868.96
2. Surgical treatment	1,904,248.08
3. Hospital maintenance	1,721,899.14
4. Economic damage to the State	5,137,101.03
5. The amount of loss to the families	12,723,842.40
6. Moral damage	25,400,000.00
Total	53,111,959.61

For expenses related to the general treatment of patients with post cardio-surgical SPNI costs have been 6,224,868.96 MDL or 11.8% of all expenditure. Expenditures of 1,904,248.08 MDL or 3,6% were incurred for SPNI morbidity for surgical treatment with 1, 2 and 3 interventions. The maintenance costs in the hospital for cardio-surgical patients with SPNI were 1,721,899.14 MDL or 3,3%. The economic loss to the state was 5,137,101.03 MDL or 9,7%, the amount lost for the family of deceased with SPNI was 12,723,842.40 MDL or 24,0%, and the loss of the moral value that can be granted to family and relatives was 2,5400,000.00 MDL or 47.6% (Figure 6).

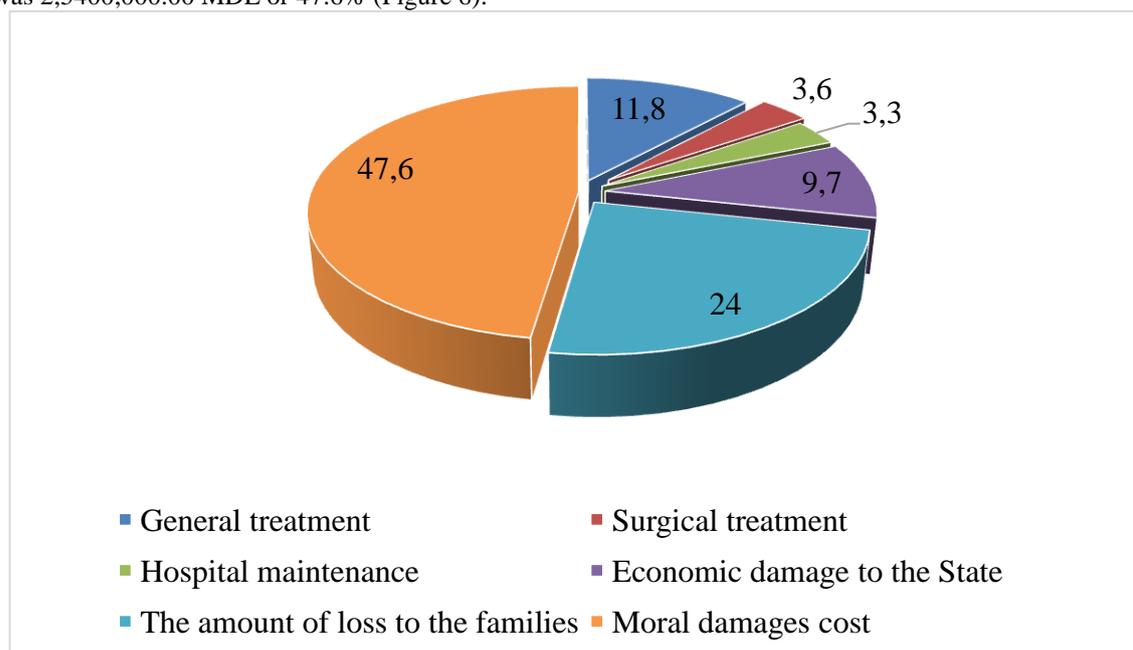


Fig. 6 – Structure of full economic damage related to morbidity due to post cardio-surgical SPNI during the years 2010-2013 (%)

Discussion

The epidemiological study demonstrated the existence of major additional expenditures as a result of septic-purulent post cardio-surgical infection. Expenses related to general treatment of patients with post cardio-surgical SPNI were 6,224,868.96 MDL or 11.8% of all costs related to SPNI morbidity, for surgical treatment with 1, 2 and 3 interventions surgeries were 1,904,248.08 MDL or 3,6%. For in hospital maintenance of cardio-surgical patients with SPNI 1,721,899.14 MDL or 3.3% was spent, the economic loss for the State amounted to 5,137,101.03 MDL or 9.7%, the amount missed for the family of deceased patient was 12,723,842.40 MDL or 24,0%, and the moral damage to the family and relatives was 25,400,000.00 MDL or 47.6%. This finding demonstrates the existence of additional costs related to the presence of septic-purulent nosocomial infections in the Cardiac Surgery Department of Acquired Vices of the Republican Clinical Hospital "Timofei Mosneaga". It is important that these expenses can be optimized only through the implementation of several preventive measures, improvements to the system of surveillance and control of infections associated with healthcare, and to organize the monitoring of the epidemiological situation by taking urgent action, ultimately reducing the risk to post cardio-surgical patients' health.

Conclusion

1. Full economic impact due to morbidity through SPNI post-cardiac surgery during the study period 2010-2013 amounts to a total of 53,111,959.61 MDL.

2. Expenses incurred as the result of nosocomial septic-purulent infections of cardiac surgery have a major negative economical and psychological impact, requiring urgent prophylaxis actions, changing the surveillance system and control of these infections to optimize spending and reduce negative impact on public health.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ревич Б.А., Сидоренко В.Н. Методика оценки экономического ущерба здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха/ Б. А. Ревич, В. Н. Сидоренко // М.: Акрополь, 2006, с. 6-42
2. Шкарин. В. В. Эпидемиологические особенности госпитальной гнойно-септической инфекции в кардиохирургическом стационаре / В. В. Шакурин 1998, №5, с. 43-47
3. Брико Н. И. Эпидемиологическая безопасность – важнейшая составляющая обеспечения качества и безопасности медицинской помощи / Н. И. Брико // Вестник Росздравнадзора. № 3, 2014.
4. Masud F. Preventing healthcare-associated infections in cardiac surgical patients as a hallmark of excellence. *Methodist Debaque Cardiovasc* / F. Masud. 2011 Apr-Jun; 7(2): 48-50.
5. Lamarsalle L. Evaluating the clinical and economic burden of healthcare-associated infections during hospitalization for surgery in France / L. Lamarsalle. *Epidemiol Infect.* 2013 Dec; 141(12):2473-82.
6. Center for Disease Control and Prevention, Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. Guidelines for Prevention of Surgical Site Infection, 1999. *Ann J, Infect control* 1999; 27:97-134.
7. Bratzler D. W. The Surgical Infection Prevention Guidelines Writers Workgroup. Antimicrobial Prophylaxis for Surgery: An Advisory Statement from the National Surgical Infection Prevention Project. / D. W. Bratzler
8. Lissovoy G. Surgical site infection: incidence and impact on hospital utilization and treatment costs / G. Lissovoy *Am J Infect Control.* 2009 Jun; 37(5): 387-97.
9. Frank U. Cost-effectiveness of an antiseptic-impregnated central venous catheter in the ICU / U. Frank. *Intensive Care Med.* 2003; 29(1): 139.
10. Prisacari V. Aspectele economice in tratamentul osteitei posttraumatice / V. Prisacari *Sanatate publica, economie și management in medicina.* Chisinau, nr.4(15), 2006, p.35-40.[Economic issues in the treatment of posttraumatic osteitis] / Prisacari V. //Public Health, Economics and Management in Medicine. Chisinau, no. 4 (15), 2006. [in Romanian].

Список литературы на английском языке / References in English

1. Revich B. A. Metodika otcenki ekonomicheskogo uscherba zdorov'yu naseleniya ot zagrezneniya atmosfernogo vozduha, Posobie po regional'noy ekologicheskoy politikiyu. - М.:Акропол', TSEPR, 2006, p. 6-42 [Methodology for assessing the economic damage to public health from air pollution, Manual on regional environmental policy] / B. A. Revich, V. N. Sidorenko // М.: Acropolis, CEPR, 2006, p. 6-42. [in Russian]
2. Shkarin V.V. i dr., Epidemiologicheskie osobennosti gospital'noy gnoyno-septicheskoj infektsii v kardiohirurgicheskom stacionare. *ZHMEI*, 1998, N5, s. 43-47 [Epidemiological features of hospital purulent-septic infection in cardiac surgery hospital]/ Shkarin V.V. et al.// *EMIR*, 1998, H5, p. 43-47. [in Russian]
3. Briko N.I. i dr., "Epidemiologicheskaya bezopasnost' – vazhneyshaya sostavlyayuschaya obespecheniya kachestva i bezopasnosti meditsinskoj pomoschi", *Vestnik Roszdravnadzora* Nr 3, 2014 [Epidemiological safety is the most important component of ensuring the quality and safety of medical care]/ Briko N.I. et al., // *Vestnik Roszdravnadzor* Nr 3, 2014. [in Russian]
4. Masud F. Preventing healthcare-associated infections in cardiac surgical patients as a hallmark of excellence. *Methodist Debaque Cardiovasc* / F. Masud. 2011 Apr-Jun; 7(2): 48-50.
5. Lamarsalle L. Evaluating the clinical and economic burden of healthcare-associated infections during hospitalization for surgery in France / L. Lamarsalle. *Epidemiol Infect.* 2013 Dec; 141(12):2473-82.
6. Center for Disease Control and Prevention, Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. Guidelines for Prevention of Surgical Site Infection, 1999. *Ann J, Infect control* 1999; 27:97-134.
7. Bratzler D. W. The Surgical Infection Prevention Guidelines Writers Workgroup. Antimicrobial Prophylaxis for Surgery: An Advisory Statement from the National Surgical Infection Prevention Project. / D. W. Bratzler
8. Lissovoy G. Surgical site infection: incidence and impact on hospital utilization and treatment costs / G. Lissovoy *Am J Infect Control.* 2009 Jun; 37(5): 387-97.
9. Frank U. Cost-effectiveness of an antiseptic-impregnated central venous catheter in the ICU / U. Frank. *Intensive Care Med.* 2003; 29(1): 139.
10. Prisacari V. Aspectele economice in tratamentul osteitei posttraumatice / V. Prisacari *Sanatate publica, economie și management in medicina.* Chisinau, nr.4(15), 2006, p.35-40.[Economic issues in the treatment of posttraumatic osteitis] / Prisacari V.// *Public Health, Economics and Management in Medicine.* Chisinau, no. 4 (15), 2006. [in Romanian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.033>

ВЛИЯНИЕ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ВЕТРЯНОЙ ОСПОЙ В РЕСПУБЛИКЕ МОЛДОВА

Научная статья

Софроние В.^{1,*}, Негара С.С.²

¹ ORCID: 0000-0003-0614-3611;

² ORCID:0000-0002-1007-1393;

^{1,2} Государственный университет медицины и фармации имени Николая Тестемицану, Кишинев, Республика Молдова

* Корреспондирующий автор (vasile.sofronie[at]usmf.md)

Аннотация

Изучен и проведён эпидемиологический анализ заболеваемости ветряной оспой в Республике Молдова в период с 1985 - 2017 года. Данное исследование является лонгитудинальным дескриптивным ретроспективным исследованием. Результаты исследования показали, что в Республике Молдова многолетняя заболеваемость ветряной оспой с 2003 года до 2016 года имела выраженную тенденцию к росту. 60,19% из респондентов переболели ветряной оспой в легкой форме, а 39,18 % пациентов, переболели ветряной оспой в средней формы. Из общего числа пациентов, госпитализированных в больницу 44,17 % переболели ветряной оспой средней тяжести, пациенты, переболевшие ветряной оспой средней тяжести в ассоциации с другими заболеваниями - 25,77 %, пациенты, которые переболели ветряной оспой в тяжелой форме с осложнениями - 9,20%, и 20,86% пациентов с ветряной оспой в тяжелой форме в ассоциации с другими заболеваниями.

Средняя сумма расходов на одного пациента для амбулаторного лечения ветряной оспы составляет 51,1\$. Средняя сумма расходов на лечение одного пациента, госпитализированного в больницу с ветряной оспой составляет 150,15\$. Средняя сумма расходов на лечение одного пациента с ветряной оспой составляет 100,63\$.

Расходы, связанные с летальным случаем составляют – 167407,74\$. Расходы, связанные с приобретением моновакцины Варивакс - 743997,49\$ в 1,64 раза ниже, чем ежегодные расходы, связанные с заболеваемостью ветряной оспой в Республике Молдова, которые составляют 1222407,15\$. А расходы, связанные с приобретением комбинированной вакцины ProQuad, которые составляют 474476,68\$ в 2,58 раза меньше, чем ежегодные потери, связанные с заболеваемостью ветряной оспой.

Самые большие затраты/потери на душу населения в результате заболеваемости ветряной оспой регистрируются в г. Бельцах – 2,5\$, а расходы/затраты на душу населения для вакцинации детей от 1 года в г. Бельцах являются в 13,43 раза меньше и составляют 0,19\$.

Ключевые слова: ветряная оспа, ретроспективное исследование, заболеваемость, социально-экономическое влияние, стоимость вакцинации

INFLUENCE ON HEALTH AND SOCIO-ECONOMIC EFFECTS OF DISEASE INCIDENCE OF CHICKENPOX IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA

Research article

Sofronie V.^{1,*}, Negara S.C.²

¹ ORCID: 0000-0003-0614-3611;

² ORCID:0000-0002-1007-1393;

^{1,2} Nicolae Testemițanu State University of Medicine and Pharmacy, Kishinev, Republic of Moldova

* Corresponding author (vasile.sofronie[at]usmf.md)

Abstract

The article contains epidemiological analysis of the incidence of chickenpox in the Republic of Moldova from 1985 to 2017. It is a longitudinal descriptive retrospective study. The results of the study showed that long-term incidence of chicken pox from 2003 to 2016 had a pronounced upward trend in the Republic of Moldova. 60.19% of the respondents had chickenpox in light form, and 39.18% of patients had chickenpox of medium severity. 44.17% of hospitalized patients had chickenpox of medium severity, 25.77% of patients had a moderately severe chickenpox in association with other diseases, 9.20%, and 20.86% of patients had severe chickenpox in association with other diseases.

The average cost per patient for outpatient chickenpox treatment is \$ 51.1. The average cost of treating one patient hospitalized with chickenpox is \$ 150.15. The average cost of treating one patient with chickenpox is \$ 100.63.

The expenses connected with a lethal case comprise \$ 167407.74. The costs associated with the purchase of Varivax mono-vaccine comprise \$ 743997.49 which is 1.64 times lower than the annual costs associated with the incidence of chickenpox in the Republic of Moldova, which is \$ 1222407.15. As for the costs associated with the acquisition of the ProQuad combination vaccine, which is \$474476.68, they are 2.58 times less than the annual losses associated with the incidence of chickenpox.

The highest costs/losses per capita as a result of the incidence of chickenpox are recorded in Bălți – \$ 2.5, and the costs/expenses per capita for vaccinating children from 1 year of age in Bălți are 13.43 times less and comprise \$ 0.19.

Keywords: chicken pox, retrospective study, morbidity, socio-economic impact, cost of vaccination.

Введение

На сегодняшний день ветряная оспа продолжает оставаться распространенной инфекцией на всех континентах и является важной проблемой общественного здравоохранения. Ежегодное число новых случаев ветряной оспы варьируется от одной страны к другой.

В Республике Молдова (РМ) ветряная оспа развивается с осложнениями на 28,4% пациентов. Из осложнений наиболее распространенными являются бактериальные суперинфекции кожи (33,3%), неврологические заболевания (26,6%), инфекции мочеполовой системы (13,3%), токсический гепатит (16,6%), токсический миокардит (3,3%) [5].

Начиная с 1995 года для профилактики ветряной оспы, в некоторых странах проводится иммунизация живой аттенуированной вакциной. На данный момент, более чем в 20 странах по всему миру ввели вакцину против ветряной оспы в национальный календарь иммунизации. ЮНИСЕФ подтверждает, что, только достигая высокого уровня охвата вакцинация возможно искоренить ветряную оспу [9, 11].

Включение вакцины против ветряной оспы в национальную программу иммунизации в США привело к снижению заболеваемости ветряной оспой на 73,6 - 82,1%, с уровнем покрытия вакцинации 80%. Было установлено, что стоимость систематической вакцинации против ветрянки 4,12 раза меньше по сравнению с общими расходами для лечения и ухода за больными [3], [10]. В Республике Молдова вакцина против ветряной оспы не входит в национальный календарь иммунизации, но входит в список рекомендуемых вакцин для индивидуальной защиты, в виде платной услуги.

Цель исследования

Изучение и проведение анализа социально-экономического влияния на состояние здоровья заболеваемости ветряной оспой в Республике Молдова (РМ).

Материалы и методы

Данное исследование основано на анализе статистических отчетов об инфекционных и паразитарных заболеваниях, зарегистрированных в Республике Молдова, отчетов (форма №. 2) Национального Центра Общественного Здоровья, данных статистического медицинского ежегодника „Общественное Здоровье в Республике Молдова” Национального Центра Менеджмента в Здравоохранении, и Национального Бюро Статистики Республики Молдова за период с 1985-2017.

Работа была осуществлена на основании опроса пациентов, которые прошли амбулаторное лечение, в двух административных территориях: муниципий Кишинэу и в Единецком районе, и на основании истории болезни пациентов, госпитализированных в Муниципальную Инфекционную Клиническую Детскую Больницу и Республиканскую Инфекционную Клиническую Больницу им. “Тома Чорбэ”, город Кишинёв в период 2017 года, и в январе – марте 2018 года. Научное исследование включает в себя 271 пациентов разного возраста с ветряной оспой, диагностически подтверждены с легкой, средней и тяжелой формами заболевания.

Результаты и обсуждение

Эпидемиологическая обстановка по ветряной оспе в Республике Молдова

Динамика многолетней заболеваемости ветряной оспой в Республике Молдова на период исследования 1985 – 2017 год характеризуется 2 периодами. В первый период, 1985 – 2002 год, уровень заболеваемости снижается от 561,4 случая до 113,31 случаев на 100000 населения. Начиная с 2003 года, до 2016 года, во второй период, уровень заболеваемости характеризуется постоянным ростом от 243,34 случая до 260,61 случаев на 100000 населения (рисунок 1).

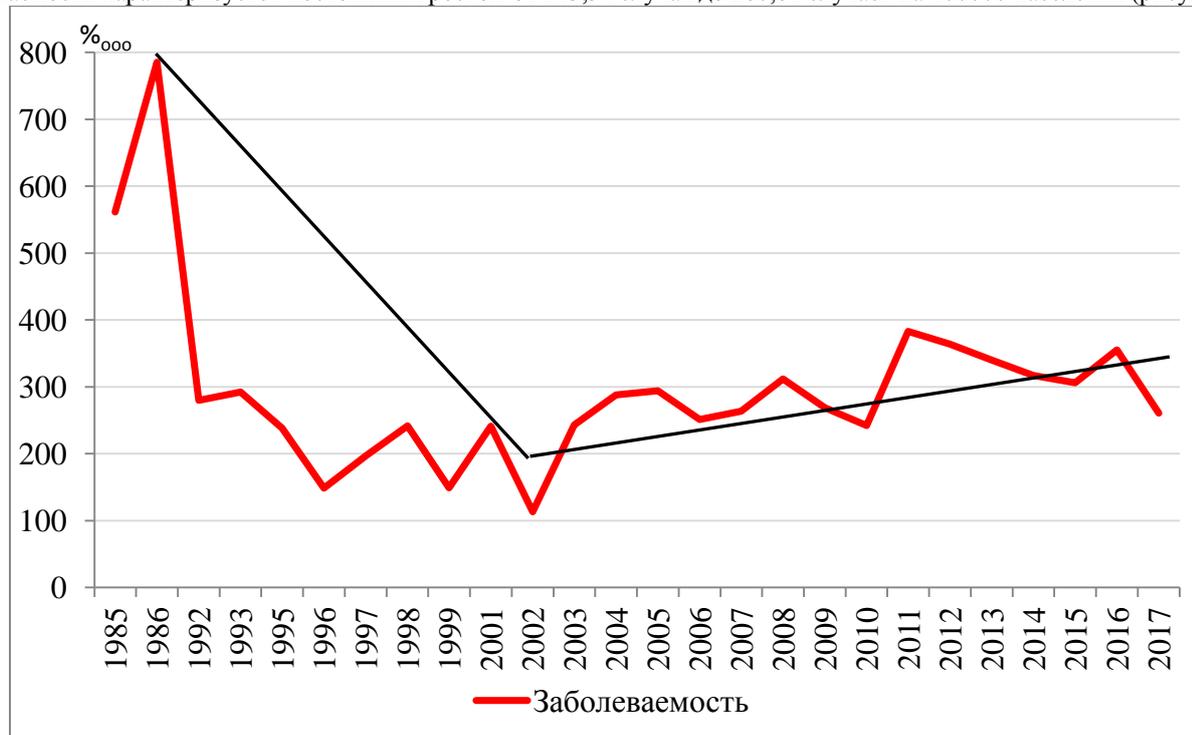


Рис. 1 – Динамика многолетней заболеваемости ветряной оспой в Республике Молдова в период с 1985-2017 (%)

Изучение медицинских затрат на амбулаторное и стационарное лечение

Из 271 пациентов с ветряной оспой легкой, средней и тяжелой формы, района Единец и муниципия Кишинёв : 108 пациентов (39,85%) прошли амбулаторное лечение, 112 пациентов (41,33%), были госпитализированы в

Муниципальную Клиническую Инфекционную Детскую Больницу(МКИДБ) и 51 (18,82%) пациентов, госпитализированные в Республиканскую Инфекционную Клиническую Больницу им. “Тома Чорбэ” (РИКБ им. “Тома Чорбэ”), город Кишинёв.

Согласно анализу ответов респондентов, было установлено, что 60,19% переболели ветряной оспой в легкой форме, а 39,81 % пациентов, переболели ветряной оспой в средней форме.

Из общего числа пациентов, госпитализированных в больницу 44,17 % переболели ветряной оспой средней тяжести, пациенты, переболевшие ветряной оспой средней тяжести в ассоциации с другими заболеваниями - 25,77 %, пациенты, которые переболели ветряной оспой в тяжелой форме с осложнениями - 9,20%, и 20,86% пациентов с ветряной оспой в тяжелой форме в ассоциации с другими заболеваниями.

При появлении первых признаков болезни, большинство респондентов – 57,40 % отметили, что обратились за медицинской помощью к семейному врачу, в частное медицинское учреждение обратились 8,34 %, к службе экстренной/скорой медицинской помощи обратились 3,70 %. Помимо этих мер, касающихся области медицины, 25 % респондентов отметили, что прошли лечение самостоятельно дома, опираясь на свои знания в области медицины и используя медикаменты, которые имели дома. Было отказано в консультации семейным врачом 5,56 % респондентам.

Результаты исследования показали, что средняя расходов на амбулаторное лечение больных с ветряной оспой составляет 51,10\$, а средняя расходов на лечение больных с ветряной оспой в стационаре составляет 150,15\$. Таким образом, выходит, что расходы на стационарное лечение пациентов с ветряной оспой в 2,94 раза больше, чем амбулаторное лечение пациентов с ветряной оспой. Средняя сумма расходов на лечение одного пациента с ветряной оспой составляет 100,63\$ (рисунок 2).

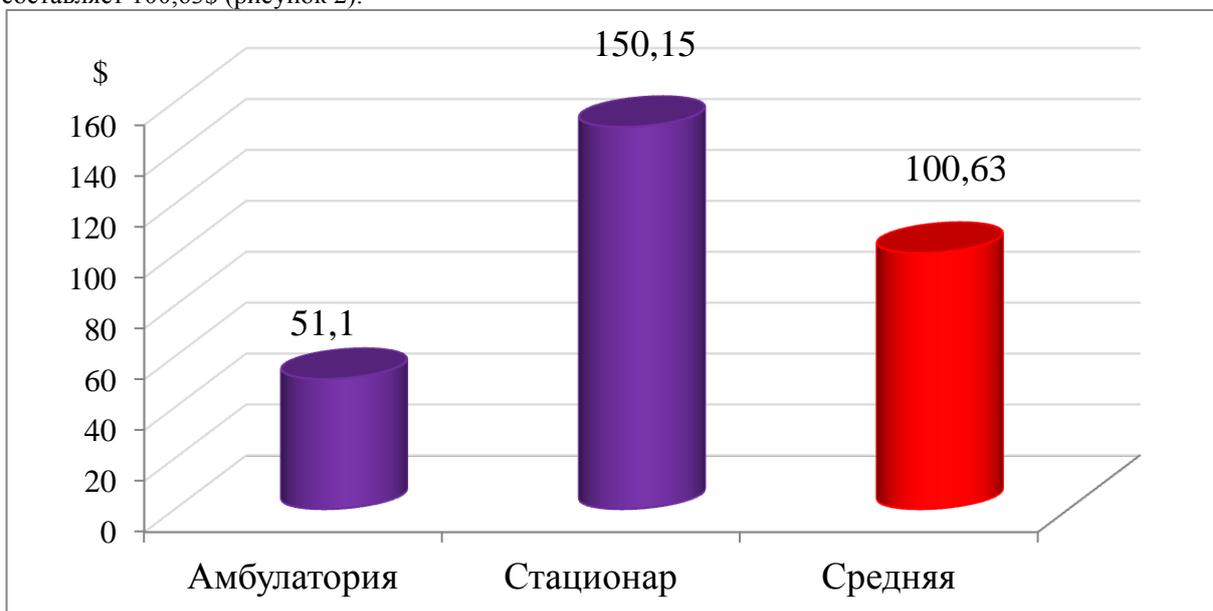


Рис. 2 – Общие расходы на амбулаторное и стационарное лечение ветряной оспы (\$ США)

Стоимость летального исхода ребёнка от ветряной оспы

Презентация случая

В результате заболеваемости ветряной оспой на протяжении 5 лет, в 2012 году зарегистрирован один летальный случай. Ребенок в возрасте 3 лет, госпитализирован 09.04.12 в 18:30 в Муниципальную Инфекционную Клиническую Детскую Больницу в отделение реанимации, с диагнозом: ветряная оспа атипичная форма, гангренозная, тяжёлая форма, сепсис. Общее состояние ребенка при поступлении - сложное, обильные кожные высыпания, инфицированные, некротические, различных размеров, локализация: ноги, ягодицы, живот, грудная клетка, лицо, голова, полость рта, миндалины, ротоглотка, t° 37,8. 10.04.12 в 04:00 общее состояние ребёнка резко ухудшается: постоянная высокая температура, прогрессирующий акроцианоз, нарушения дыхания, прогрессивная артериальная гипотония, потеря сознания, ребенок перешёл на искусственное дыхание, косвенный массаж сердца. Хотя, в реанимации было проведено интенсивное лечение, состояние ребенка постоянно ухудшалось, возникает остановка сердца, дыхания, в 08:15 была установлена клиническая смерть организма, через два часа констатирована биологическая смерть организма.

В результате смерти были потеряны 67 лет жизни, исходя из средней продолжительности жизни в Республике Молдова. Исходя из ВВП в Республике Молдова на душу населения 2012 года, который составлял 2046,54\$, общая стоимость ущерба для государства составляет $67 \times 2046,54 = 137118,18$ \$.

Расходы на похороны (ритуальные услуги) – 2976,19 \$.

Моральный ущерб – 29761,90 \$.

Итого расходы, связанные с летальным случаем составляют – 167407,74 \$.

Общие затраты связанные с заболеваемостью ветряной оспой

Общая сумма расходов на период 2013-2017 гг. в результате заболеваемости ветряной оспой составляет: 5944628 \$, как результат лечения и медицинского ухода за больными с ветряной оспой и стоимость случая с летальным исходом при ветряной оспе 167407,74\$, итоговая сумма 6112035,74\$, таким образом ежегодные потери составляют 1222407,15\$.

В результате анализа расходов, связанных с заболеваемостью ветряной оспой по критерию территориального распределения, в период с 2013 по 2017 годы было замечено, что по количеству случаев ветряной оспы самые большие затраты регистрируются в Кишинёве – 1460799,05\$, в Бельцах расходы в 3,89 раза меньше и составляют 374935,40\$, в Кагуле расходы составляют – 267063,49\$. Самые низкие расходы регистрируются в Единецком районе – 7345,76\$, Дрокия – 18314,08\$, Леова – 21936,63\$.

Затраты связанные с иммунизацией против ветряной оспы

Существуют различные варианты применения вакцины против ветряной оспы.

Для вакцинации детей в возрасте от 1 года против ветряной оспы с моновакциной Варивакс расходы, связанные с приобретением вакцины составят 743997,49\$. А для вакцинации детей от 1 года с комбинированной вакциной ProQuad против кори-паротита-краснухи и ветряной оспы расходы, связанные с приобретением этой вакцины будут составлять 474476,68 \$.

Финансовая эффективность вакцины против ветряной оспы

В рамках данного исследования было доказано, что расходы, связанные с приобретением моновакцины Варивакс - 743997,49\$ в 1,64 раза ниже, чем ежегодные расходы, связанные с заболеваемостью ветряной оспой в Республике Молдова, которые составляют 1222407,15\$. А расходы, связанные с приобретением комбинированной вакцины ProQuad, которые составляют 474476,68\$ в 2,58 раза меньше, чем ежегодные расходы, связанные с заболеваемостью ветряной оспой.

Результаты исследования расходов на душу населения, по критерию территориального распределения в Республике Молдова свидетельствуют о том, что самые большие затраты/потери на душу населения в результате заболеваемости ветряной оспой регистрируются в Бельцах – 2,5\$, а расходы/затраты на душу населения для вакцинации детей от 1 года в Бельцах являются в 13,43 раза меньше и составляют 0,19 \$. Потери на душу населения в результате заболеваемости ветряной оспой в Кишинёве составляют 1,80\$, а расходы на душу населения для вакцинации детей в Кишинёве в 11,02 раза меньше и составляют 0,16\$, и которые, соответственно, являются самыми низкими расходами на душу населения для вакцинации детей в Республике Молдова (рисунок 3).

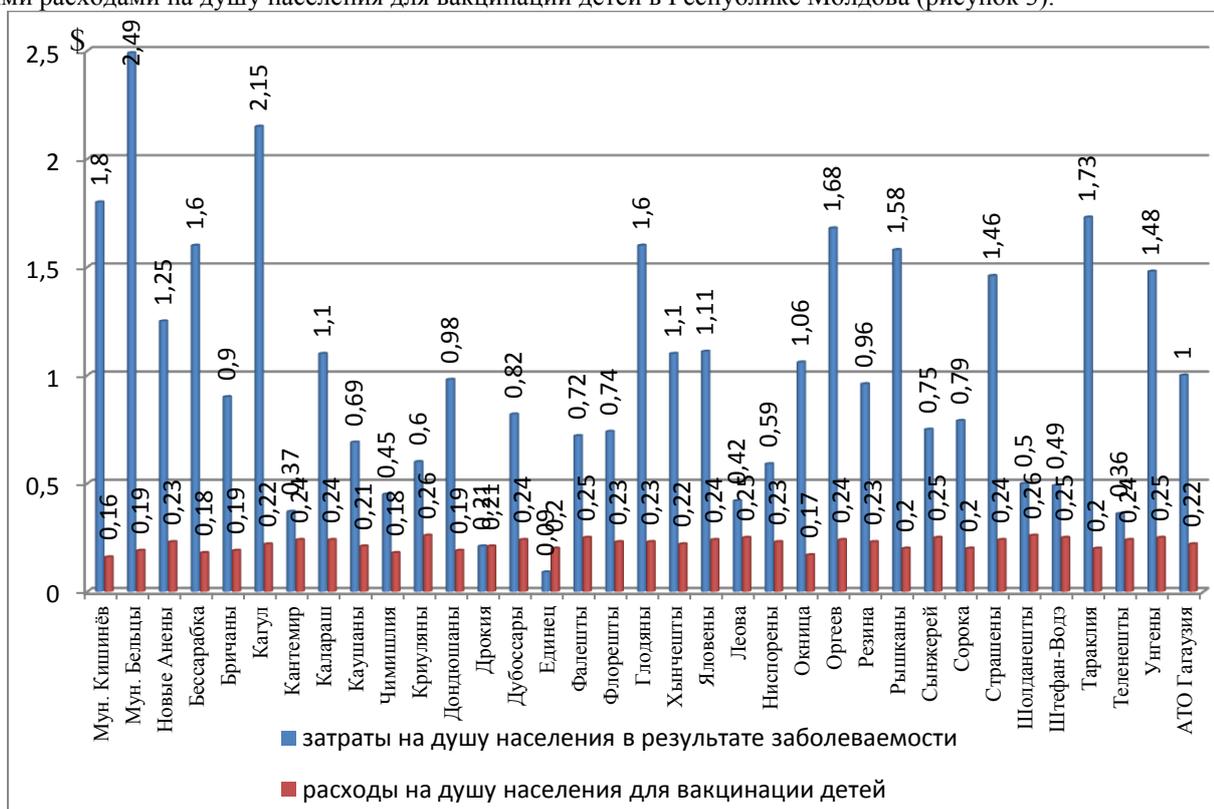


Рис. 3 – Расходы на душу населения, связанные с заболеваемостью ветряной оспой и вакцинации детей против ветряной оспы, по критерию территориального распределения в Республике Молдова (\$ США)

Выводы

1. Динамика многолетней заболеваемости ветряной оспой в Республике Молдова на период исследования 1985 – 2017 год характеризуется 2 периодами. В первый период, 1985 – 2002 год, уровень заболеваемости снижается от 561,4 случая до 113,31 случаев на 100 000 населения.

2. Средняя сумма расходов на лечение одного пациента с ветряной оспой составляет 100,63\$.

3. Общая сумма расходов на период 2013-2017 гг. в результате заболеваемости ветряной оспой составляет 6112035,74\$, таким образом ежегодные потери составляют 1222407,15\$.

5. Расходы, связанные с приобретением моновакцины Варивакс 1,64 раза ниже, чем ежегодные расходы, связанные с заболеваемостью ветряной оспой в Республике Молдова. Расходы, связанные с приобретением комбинированной вакцины ProQuad, составляют в 2,58 раза меньше, чем ежегодные расходы, связанные с заболеваемостью ветряной оспой.

6. Самые большие затраты/потери на душу населения в результате заболеваемости ветряной оспой регистрируются в Бельцах – 2,5\$, а расходы/затраты на душу населения для вакцинации детей от 1 года в Бельцах являются в 13,43 раза меньше и составляют 0,19\$.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Арамэ В. Инфекции с вирусами герпес / В. Арамэ // Бухарест, 2002, стр.169-258
2. Исаков В. А. Герпес: патогенез и лабораторная диагностика / В. А. Исаков Руководство для врачей СПб.: Лань, 1999. стр. 192
3. Matheron S. Varicelle: epidemiologie, aspects cliniques, traitement. Infections et grossesse, publie sous direction de Daff os F. Editions medicales et scientifiques /S. Matheron, J. P. Coulaud, F. Vachon. 1999; p. 1-17.
4. Madelena I. Инфекционные болезни / I. Madelena. Бухарест, 1998, стр. 541.
5. Rusu G. Инфекционные болезни у детей / G. Rusu. Кишинэу, 2012, стр. 123-127.
6. Zaia A. Evaluation of varicella-zoster immune globulin: protection of immunosuppressed children after household exposure to varicella / A. Zaia, M. Levin // J S. R. Pre-blud et al. // J. Infect. Dis. 1983. - № 147. - P. 737-743.
7. Wharton M. The epidemiology of varicella-zoster virus infections / M. Wharton // Infect. Dis. Clin. North. Am. 1996. - Vol. 10, № 3. - P. 571 - 581.
8. Бахаева Е. М. Ветряная оспа. Вакцинопрофилактика. Материалы X конгресса детских инфекционистов России. «Актуальные вопросы инфекционной патологии и вакцинопрофилактики» / Е. М. Бахаева, Т. В. Тимофеева, С. В. Корабельников. М.:, 2011, с. 13.
9. Helmut I. G. Varicella in Europe – A review of the epidemiology and experience with vaccination // I. G. Helmut, A. Poulsen, C. H. Suppli and others // Vaccine, 33 (2015), pp. 2406-2413
10. Shah S. S. Decline in varicella-related ambulatory visits and hospitalizations in the United States since routine immunization against varicella / S. S. Shah, S. M. Wood, X. Luan and others // *Pediatr Infect Dis J.* 2010;29(3):199-204
11. Zhou F. Impact of varicella vaccination on health care utilization / F. Zhou, R. Harpaz, A. O. Jumaan and others // *Shefer A JAMA*, 294 (2005), pp. 797-802
12. Bialek S.R. Impact of a routine two-dose varicella vaccination program on varicella epidemiology / S. R. Bialek, D. Perella, J. Zhang, *Pediatrics*, 132 (2013), pp. 1134-1140

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aramje V. Infekcii s virusami herpes [Infections with herpes viruses] / V. Aramje. Buharest, 2002, str.169-258. [in Russian]
2. Isakov V. A. Gerpes: patogenez i laboratornaja diagnostika [Herpes: pathogenesis and laboratory diagnosis] / V. A. Isakov // *Rukovodstvo dlja vrachej SPb.: Lan'*, 1999. str. 192. [in Russian]
3. Matheron S. Varicelle: epidemiologie, aspects cliniques, traitement. Infections et grossesse, publie sous direction de Daff os F. Editions medicales et scientifiques /S. Matheron, J. P. Coulaud, F. Vachon. 1999; p. 1-17.
4. Madelena I. Infekcionnye bolezni [Infectious disease] / I. Madelena. Buharest, 1998, p. 541. [in Russian]
5. Rusu G. Infekcionnye bolezni u detej [Infectious diseases in children] / G. Rusu. Kishinjeu, 2012, P.123-127. [in Russian]
6. Zaia A. Evaluation of varicella-zoster immune globulin: protection of immunosuppressed children after household exposure to varicella / A. Zaia, M. Levin // J S. R. Pre-blud et al. // *J. Infect. Dis.* 1983. - № 147. - P. 737-743.
7. Wharton M. The epidemiology of varicella-zoster virus infections / M. Wharton // *Infect. Dis. Clin. North. Am.* 1996. - Vol. 10, № 3. - P. 571 - 581.
8. Bahaeva E.M., Timofeeva T. V., Korabel'nikov S.V. Vetrjanaja ospa. Vakcinoprofilaktika. Materialy H kongressa detskih infekcionistov Rossii. «Aktual'nye voprosy infekcionnoj patologii i vakcinoprofilaktiki» [Varicella. Vaccine prevention. Materials of the X Congress of children's infectious diseases of Russia. «Topical issues of infectious pathology and vaccine prevention»], Moskva, 2011, s. 13. [in Russian]
9. Helmut I. G. Varicella in Europe – A review of the epidemiology and experience with vaccination // I. G. Helmut, A. Poulsen, C. H. Suppli and others // *Vaccine*, 33 (2015), pp. 2406-2413
10. Shah S. S. Decline in varicella-related ambulatory visits and hospitalizations in the United States since routine immunization against varicella / S. S. Shah, S. M. Wood, X. Luan and others // *Pediatr Infect Dis J.* 2010;29(3):199-204
11. Zhou F. Impact of varicella vaccination on health care utilization / F. Zhou, R. Harpaz, A. O. Jumaan and others // *Shefer A JAMA*, 294 (2005), pp. 797-802
12. Bialek S.R. Impact of a routine two-dose varicella vaccination program on varicella epidemiology / S. R. Bialek, D. Perella, J. Zhang and others // *Pediatrics*, 132 (2013), pp. 1134-1140

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.034>

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЕКТИВНОЙ ПЛАЗМОСОРБЦИИ И ПЛАЗМООБМЕНА ПРИ ПЕЧЁНОЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ У БОЛЬНЫХ С МЕХАНИЧЕСКОЙ ЖЕЛТУХОЙ

Научная статья

Титова Г.В.^{1,*}, Фомин А.М.²

¹ ORCID:0000-0001-6010-9583;

² ORCID:0000-0002-9187-8489;

^{1,2} Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского, Москва, Россия;

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

Аннотация

Экстракорпоральные методы гемокоррекции и детоксикации при печеночной недостаточности у больных с механической желтухой эффективны и нуждаются в оценке их безопасности в предоперационном и послеоперационном периодах, особенно на фоне длительного желтушного периода. Была проведена оценка безопасности и эффективности селективной плазмсорбции и плазмообмена при печеночной недостаточности у больных с механической желтухой у 32 пациентов. Из них - 14 пациентам был выполнен плазмообмен, 18 пациентам проводилась селективная плазмсорбция. Уровень общего билирубина до начала лечения был от 285 мкмоль/л до 589 мкмоль/л. Каждому пациенту было проведено 3 процедуры плазмообмена с удалением 1 ОЦП (объём циркулирующей плазмы). Удаляемый объём плазмы восполнялся донорской свежемороженой плазмой и введением 5% раствора альбумина в соотношении 1:1. С целью антикоагуляции применяли гепарин. В другой группе каждому пациенту было проведено 3 процедуры с обработкой 2 ОЦП за процедуру. При этом одна процедура проводилась непосредственно накануне операции, а две другие – в раннем послеоперационном периоде. С целью антикоагуляции применяли гепарин. Изучали состояние пациентов и динамику биохимических показателей до начала процедуры, во время процедуры и по окончании процедуры. При плазмообмене отмечалось снижение уровней общего билирубина на 38,5±6,4%, конъюгированного билирубина на 37,2±5,0%, неконъюгированного билирубина на 27,5±2,3%, АЛТ – на 23,4±4,1%, АСТ – на 30,4±3,5%, желчных кислот на 30,3±5,4%, щелочной фосфатазы на 34,2±3,5% к концу процедуры. Было отмечено снижение общего билирубина после селективной плазмсорбции на 39,8 ± 3,8%, конъюгированного билирубина на 38,2 ± 18%, неконъюгированного билирубина на 32,5 ± 11,9%, АЛТ – на 23,5±3,4%, АСТ – на 37±2,3%, желчных кислот на 31,4±2,8% к концу процедуры. При этом другие биохимические показатели существенно не менялись. В ходе процедуры плазмсорбции геморрагических осложнений не было ни у одного пациента.

Ключевые слова: экстракорпоральная гемокоррекция, плазмообмен, печеночная недостаточность, механическая желтуха, селективная плазмсорбция.

ASSESSMENT OF SAFETY AND EFFICIENCY OF SELECTIVE PLASMA SORPTION AND PLASMA EXCHANGE AT HEPATISM IN PATIENTS WITH OBSTRUCTIVE JAUNDICE

Research article

Titova G.V.^{1,*}, Fomin A.M.²

¹ ORCID:0000-0001-6010-9583;

² ORCID:0000-0002-9187-8489;

^{1,2} Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirskiy, Moscow, Russia;

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

Abstract

Extracorporeal haemocorrection and detoxification methods for hepatic insufficiency in patients with obstructive jaundice are effective and need to be assessed for their safety in preoperative and postoperative periods, in particular, against the background of a lengthy period of jaundice. The safety and efficiency of selective plasma sorption and plasma exchange at hepatism in patients with obstructive jaundice was evaluated in 32 patients. Of these, 14 patients underwent plasma exchange, 18 patients underwent selective plasma sorption. The level of total bilirubin before the treatment was from 285 µmol/L to 589 µmol/L. Each patient underwent 3 plasma exchange procedures with the removal of 1 VPC (volume of plasma circulation). The removed plasma volume was filled with fresh donor frozen plasma and 5% solution of albumin in a 1:1 ratio was introduced. Heparin was used for anticoagulation. In another group, each patient underwent 3 procedures with a treatment of 2 VPC per procedure. In this case, one procedure was carried out directly on the eve of the operation, and the other two – in the early postoperative period. Heparin was used for anticoagulation. We studied the patient's condition and the dynamics of biochemical parameters before the procedure, during the procedure and at the end of the procedure. During plasma exchange, there was a decrease in the levels of total bilirubin by 38.5 ± 6.4%, conjugated bilirubin by 37.2 ± 5.0%, unconjugated bilirubin by 27.5 ± 2.3%, ALT – by 23.4 ± 4, 1%, GOT – by 30.4 ± 3.5%, bile acids by 30.3 ± 5.4%, and alkaline phosphatase by 34.2 ± 3.5% by the end of the procedure. There was a decrease in total bilirubin after selective plasma sorption by 39.8 ± 3.8%, conjugated bilirubin by 38.2 ± 18%, and unconjugated bilirubin by 32.5 ± 11.9%, ALT – by 23.5 ± 3.4 %, GOT – by 37 ± 2.3%, bile acids by 31.4 ± 2.8% by the end of the procedure. However, other biochemical parameters did not change significantly. In the course of the plasma sorption procedure, none of the patients had hemorrhagic complications.

Keywords: extracorporeal haemocorrection, plasma exchange, hepatic extracorporeal hemocorrection insufficiency, obstructive jaundice, selective plasma sorption.

Ведение.

Ежегодно количество больных механической желтухой различной этиологии увеличивается в Российской Федерации на 800 000 человек [1, С. 58]. В последние 15 лет отмечается увеличение количества заболеваний, которые сопровождаются развитием внепеченочного холестаза, в связи с этим прогнозируется рост заболеваемости органов желчевыводящей системы на 30-50%.

Оперативные вмешательства у больных с блоком желчевыводящих путей, которые выполняются по экстренным показаниям, сопровождаются большим числом осложнений, эти осложнения в основном связаны с нарушениями в системе гемостаза и повышенной кровоточивостью в зоне операции. Это приводит к росту летальности, которая в случае развития осложнений достигает 15-30%, это в 4 раза выше, чем в тех случаях, когда холестаз удается разрешить или хотя бы уменьшить до операции [1, С.58], [2, С. 328], [3, С. 47], [4, С. 468], [5, С. 9], [6, С. 19]. Хирургические риски значительно снижаются, если печёночная недостаточность купирована до оперативного вмешательства [7, С. 60]. Длительный желтушный период с высокими цифрами билирубина приводит к тяжелой печеночной недостаточности, дальнейшее ее прогрессирование в послеоперационном периоде является причиной летального исхода почти в 50% случаев, при общей летальности 12,5%. Экстракорпоральные методы гемокоррекции при печеночной недостаточности осуществляют временное протезирование и поддержку функции печени, предупреждают дальнейшее развитие печеночной недостаточности, создавая при этом условия для восстановления поврежденных структур печени. Таким образом развитие вторичных осложнений со стороны органов и систем сводятся к минимуму [9, С. 49].

Плазмообмен, плазмофильтрация, плазмосорбция являются основными методами экстракорпоральной гемокоррекции, которые используют при лечении больных с печеночной недостаточностью [10, С. 50]. Эффективность плазмообмена и плазмофильтрации ограничена объемами удаляемых компонентов крови [10, С. 49], [11, С. 10]. Системы Prometheus (сепарация и адсорбция фракционированной плазмы или FPSA) и MARS (молекулярная адсорбирующая рециркулирующая система) широко не используются в связи высокой стоимостью расходного материала. Перспективным направлением в настоящее время из экстракорпоральных методов гемокоррекции является применение сорбционных методов, обладающих определенной селективностью [6, С. 28].

Цель работы: провести оценку эффективности и безопасности селективной плазмосорбции и плазмообмена при печеночной недостаточности у больных с механической желтухой.

Материалы и методы

В отделении хирургической гемокоррекции и детоксикации ГБУЗ МО «МОНИКИ имени М.Ф.Владимирского» в период с 2014 г. по 2017 г. проводился анализ двух методов экстракорпоральной гемокоррекции – плазмообмена и селективной плазмосорбции при печеночной недостаточности у больных с механической желтухой. Мы провели оценку безопасности и эффективности этих методов.

Исследование проведено у 32 (15 мужчин и 17 женщин) больных с механической желтухой обструктивного генеза с длительным желтушным периодом. Средний возраст пациентов составил 57 ± 10 лет (мин. - 48, макс. - 67 лет). Длительность желтухи в среднем составляла $9,1 \pm 1,5$ недель (мин. - 3, макс. - 14 нед.). (табл. 3).

Основными причинами механической желтухи были желчнокаменная болезнь с холедохолитиазом и стриктуры холедоха разных уровней локализации, при этом у 9 пациентов был диагностирован острый холангит. Исходный средний уровень общего билирубина был $(385,6 \pm 34,6)$ мкмоль/л (мин. - 285, макс. - 589 мкмоль/л). Всем больным были выполнены оперативные вмешательства, направленные на ликвидацию блока желчевыводящих путей.

Степень печеночной дисфункции и тяжесть состояния оценивали по следующим параметрам: тяжести холестаза (уровень билирубинемии, АЛТ, АСТ, желчных кислот, ЩФ), степени печеночной энцефалопатии, состоянию гемостаза (фибриноген, АЧТВ, МНО, протромбин, антитромбин III). С целью определения прогноза заболевания, использовали классификацию печеночной недостаточности при механической желтухе, предложенную В.Д. Федоровым и В.А. Вишневым в 2004 г. (табл. 1, 2) [3, С. 47].

Не всегда клинические проявления и лабораторные данные соответствуют глубине патологических изменений, в связи с этим поиск объективных критериев оценки тяжести состояния больных при механической желтухе продолжается. Оценочные шкалы в отношении определенных форм печеночной недостаточности имеют достоверно значимую прогностическую точность (Schindl - для смешанной формы печеночной недостаточности и гепаторенального синдрома, Child-Turcotte-Pugh - для определения тяжести цирроза печени, шкалы MELD и SOFA - для печеночной энцефалопатии), но ни одна из предложенных шкал не обладала прогностической значимостью по отношению ко всем формам печеночной недостаточности [12, С. 74].

В 2009 г. на Пленуме Правления Ассоциации хирургов-гепатологов России и стран СНГ Э.И. Гальперин отметил, что печеночная недостаточность при механической желтухе в основном носит скрытый характер и редко сопровождается явлениями энцефалопатии в отличие от печеночной недостаточности при циррозе печени и предложил рабочую классификацию печеночной недостаточности, которая, по его мнению, позволяет определить прогноз предстоящей операции и лечебные действия, в зависимости от тяжести холестаза [4, С. 468].

Ранее В.Д. Федоров и В.А. Вишневский в 2004 г. предложили свою балльную классификацию печеночной недостаточности при механической желтухе (табл. 1, 2) [4, С. 468].

Таблица 1 – Бальная оценка тяжести печёночной недостаточности при механической желтухе [4, С. 468]

Показатель	Баллы		
	1	2	3
Длительность желтухи, дни	< 7	7–14	> 14
Общий билирубин, мкмоль/л	< 100	100–200	> 200
Альбумин – глобулиновый коэффициент	> 1,2	1,2–0,9	< 0,9
Наличие неврологической симптоматики	0	Слегка выраженная	Выраженная

Таблица 2 – Степень тяжести механической желтухи и исход заболевания [4, С. 468]

Степень тяжести	Количество баллов	Общая летальность, %
Легкая	4–5	0
Средняя	6–8	10,5
Тяжелая	9–12	42,9

Критериями исключения из исследования были: 1. Выявленные у пациентов в процессе обследования и лечения злокачественные опухоли гепатопанкреатобилиарной зоны с обструкцией желчевыводящих путей. 2. Пациенты моложе 18 лет и старше 80 лет.

Исходные клиничко-демографические характеристики пациентов с механической желтухой представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные клиничко-демографические характеристики пациентов с механической желтухой

Показатель	I группа (СПС)	II группа (ПО)
Всего пациентов (мужчины / женщины)	18 (9/9)	14 (6/8)
Средний возраст, лет	54,4 ± 3,4	56,3 ± 4,2
Уровень среднего артериального давления, мм рт. ст.	93,3 ± 10	90,1 ± 11,3
Средняя длительность желтухи, недель (минимальное / максимальное значение)	8,3 ± 1,8 (4/12)	10,3 ± 2,3 (3/14)
Средняя длительность желтухи в обеих группах, недель (минимальное / максимальное значение)	9,1 ± 1,5 (3/14)	
Диагноз, n		
ЖКБ. Холедохолитиаз. Холангит. Механическая желтуха	5	4
ЖКБ. Холедохолитиаз. Механическая желтуха	10	7
ЖКБ. Стриктура холедоха. Механическая желтуха	3	3
Степень энцефалопатии, n (% от количества больных в группе)		
Легкая	10 (55,5%)	8 (57,1%)
Средней тяжести	7 (38,9%)	4 (28,6%)
Тяжелая	1 (5,6%)	2 (14,3%)
Тяжесть состояния по классификации В.Д. Федорова и В.А. Вишневого до начала экстракорпоральной гемокоррекции, среднее количество баллов	9 ± 1,4	10 ± 1,6

Окончание табл. 3 – Исходные клинико-демографические характеристики пациентов с механической желтухой

Показатель	I группа (СПС)	II группа (ПО)
Тяжесть состояния по классификации В.Д. Федорова и В.А. Вишневого после окончания экстракорпоральной гемокоррекции, среднее количество баллов	$7 \pm 1,1^*$	$8 \pm 0,9^*$
Характер оперативного вмешательства на желчных путях, n (% от общего числа оперативных вмешательств)		
Эндоскопическая папиллосфинктеротомия и эндоскопическая литоэкстракция	12	10
Лапаротомия, холедохолитотомия, дренирование холедоха	6	4
Умерло, человек	1	1

Примечание: Данные представлены как среднее значение и стандартное отклонение ($M \pm m$). *Достоверность различий с исходным показателем при $p < 0,05$.

Пациенты, участвующие в исследовании, были разделены на две группы. Первая группа – 18 пациентов (9 мужчин и 9 женщин), которым в качестве экстракорпоральной гемокоррекции выполнялась селективная плазмсорбция (СПС). Вторая группа - 14 пациентов (6 мужчин и 8 женщин), которым в качестве экстракорпоральной гемокоррекции выполнялся плазмообмен (ПО). Каждому пациенту было выполнено по 3 процедуры СПС или ПО – по 1 процедуре перед операцией и по 2 процедуры в раннем послеоперационном периоде.

Для проведения плазмообмена использовался аппарат «Haemonetics PCS-2» производства США с соответствующим комплектом магистралей и расходного материала «Haemonetics». Аппарат представляет собой автоматизированную систему для сбора плазмы методом центрифугирования и работает по принципу прерывисто-поточного центрифугирования крови. Один комплект расходного материала рассчитан на удаление 1000 мл плазмы. Эритроцитарная масса возвращается пациенту перед началом нового цикла.

Каждому пациенту второй группы было проведено по 3 сеанса плазмообмена с эксфузией 1 объема циркулирующей плазмы (ОЦП), что в среднем составило 2976 ± 243 мл. При этом один сеанс проводился непосредственно за 1 день перед операцией, а два других – в раннем послеоперационном периоде. Перерыв между процедурами после операции составил 1–2 дня. В качестве сосудистого доступа наиболее часто использовалась периферическая вена, в основном кубитальная, с установкой диализной иглы. Антикоагулянт – гепаринизированный физиологический раствор 250 мл с добавлением 10000 ЕД гепарина. Подача антикоагулянта регулируется автоматически с достижением соотношения антикоагулянт – кровь, стандартное соотношение – 1:14 – 1:16. Удаляемый объем плазмы восполнялся введением 5% раствора альбумина и донорской свежемороженой плазмой в соотношении 1:1. С целью снижения потерь плазменных факторов свертывания замещение начинали 5% раствором альбумина в первой половине процедуры, а СЗП вводили во второй части плазмообмена.

Селективная плазмсорбция выполнялась на аппарате «Octo Nova» («Asahi Kasei Medical», Япония-Германия) с использованием сорбента «Plasorba BR-350». Многофункциональный аппарат «Octo Nova» представляет собой гемопротектор и предназначен для проведения методов заместительной почечной терапии, каскадной плазмофильтрации и плазмсорбции. Схема процедуры селективной плазмсорбции представлена на рис. 1.

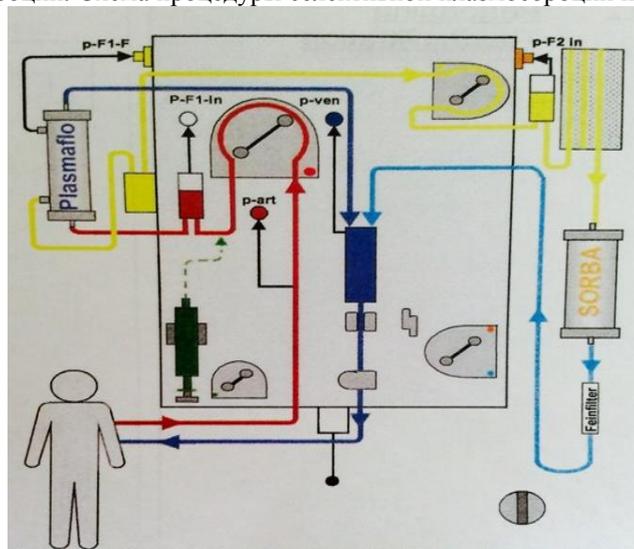


Рис. 1 – Схема процедуры селективной плазмсорбции (Liver Support)

Кровь от пациента с помощью роликового насоса поступает в плазмфильтр «Plasmaflo», где происходит отделение плазмы от крови, после чего плазма проходит через сорбционную колонку «Plasorba BR-350», далее

соединяется с деплазмированной кровью и возвращается обратно к пациенту. Сорбент Plasorba BR-350 состоит из самой адсорбирующей колонки и фильтра. (рис. 1).

Процесс очищения крови основан на принципе ионообмена, то есть на замещении ионов на поверхности сорбента ионами сорбата. Сорбционная способность колонки Plasorba BR-350 основана на принципе анионного обмена для селективного удаления билирубина и желчных кислот из крови при печеночной недостаточности различной этиологии [13, С. 2]. Действующим веществом является дивинилбензола стирол и пропилен, покрытый этиленвиниловым спиртом сополимера. В данной системе лиганд представляет собой заряженную четвертичную соль аммония, которая позволяет селективно захватывать билирубин, имеющий отрицательный заряд на карбоксильных группах [14, С. 89].

Каждому пациенту первой группы было проведено по 3 процедуры селективной плазмсорбции с обработкой двух объемов циркулирующей плазмы (2 ОЦП). При этом один сеанс проводился непосредственно за 1 день перед операцией, а два других – в раннем послеоперационном периоде. Перерыв между процедурами после операции составлял 1–2 дня. Длительность процедуры в среднем составляла 4 часа, скорость кровотока – от 150 мл/мин. Скорость плазмотока поддерживалась на уровне 30-32 мл/мин. Антикоагуляция проводилась раствором гепарина: магистрала и фильтр промывали раствором гепарина из расчета 4000 ЕД на 2 литра физиологического раствора, пациентам вводили 5000 ЕД гепарина в начале процедуры. Для сосудистого доступа использовали двухпросветный диализный катетер, установленный в центральную вену.

Для оценки эффективности селективной плазмсорбции и плазмообмена нами изучена динамика некоторых биохимических показателей и показателей коагулограммы в ходе процедуры (табл. 4, 5, 6).

Полученные данные обрабатывали при помощи описательной и параметрической статистики. Количественные данные представлены, как среднее значение \pm стандартное отклонение. Парные сравнения связанных выборок (до и после проведения процедур) проводили парным критерием Стьюдента в программе SPSS. Значения p менее 0,05 считали статистически значимыми.

Результаты

В обеих группах перед началом процедур экстракорпоральной гемокоррекции у пациентов оценивали волевический статус и показатели гемодинамики. Для профилактики гемодинамических нарушений проводили подготовку путём введения раствора хлористого натрия 0,9% - 500 – 1000 мл или изотонического раствора стерофундина – 500 - 1000 мл [7, С. 60]. При гиповолевических состояниях проводилась необходимая дополнительная инфузионная терапия. При проведении плазмообмена у 10 (71,5 %) пациентов в середине процедуры отмечалось снижение среднего артериального давления до 70 мм рт. ст. При проведении селективной плазмсорбции примерно на 30 - 40-й минутах от начала процедуры у 12 (66,6%) пациентов отмечалось снижение среднего артериального давления до 65 мм рт. ст. В обеих группах явления гипотензии медикаментозно купировались. После окончания процедуры ни у кого из пациентов гемодинамически значимых нарушений не отмечали.

После окончания лечения экстракорпоральными методами была оценена тяжесть состояния пациентов по классификации В.Д. Федорова и В.А. Вишневого (табл. 1 и 2).

К окончанию процедур состояние пациентов в обеих группах улучшилось, это отразилось в балльном исчислении. Согласно этой классификации, уменьшения количества баллов в каждой группе (табл. 3), влияет на дальнейший прогноз и исход заболевания. Видно, что летальность составляет не 42,9%, а 10,5% (табл. 1 и 2) и это статистически достоверно.

Для оценки эффективности и безопасности селективной плазмсорбции (СПС) и плазмообмена (ПО) исследовали динамику некоторых биохимических показателей. В таблице 4 показана сравнительная характеристика и динамика биохимических показателей двух групп исследуемых пациентов. Проводили забор венозной крови перед процедурой и сразу после нее. Установлено снижение уровней общего билирубина на $39,8 \pm 3,8\%$ после проведения селективной плазмсорбции, по сравнению с плазмообменом, после которого снижение общего билирубина составляло $38,5 \pm 6,4\%$, что может расцениваться как сопоставимое снижение в обеих группах. Снижение конъюгированного билирубина после селективной плазмсорбции было на $38,2 \pm 18\%$, после проведения плазмообмена этот показатель составлял $37,2 \pm 5,0\%$, что так же может быть расценено как равнозначное снижение. Однако снижение неконъюгированного билирубина после селективной плазмсорбции было на $32,5 \pm 11,9\%$, а после плазмообмена снижение составляло $27,5 \pm 2,3\%$, что почти на 5% больше. Динамика АЛТ в виде снижения на $23,5 \pm 3,4\%$ после селективной плазмсорбции и снижения АЛТ на $23,4 \pm 4,1\%$ после плазмообмена была примерно одинаковой. АСТ снизилась после селективной плазмсорбции на $37 \pm 2,3\%$, а после плазмообмена снижение АСТ было на $30,4 \pm 3,5\%$, что составляет разницу в почти в 6,5% в пользу селективной плазмсорбции. снижение желчных кислот после селективной плазмсорбции было на $31,4 \pm 2,8\%$, после плазмообмена этот показатель снизился на $30,3 \pm 5,4\%$, это снижение мы посчитали равнозначным. Обращает на себя внимание снижение уровня щелочной фосфатазы после плазмообмена на 34,2 %, в то время как после селективной плазмсорбции снижения уровня щелочной фосфатазы не происходило. При проведении селективной плазмсорбции и плазмообмена выявлено незначительное снижение уровня общего белка и альбумина по окончании процедур. Так, после проведения селективной плазмсорбции уровень общего белка снизился на 2,05 \pm 0,8 %, уровень альбумина снизился на $3,9 \pm 2,4\%$. После плазмообмена уровень снижения общего белка составлял $6,6 \pm 1,0\%$, уровень альбумина - $6,5 \pm 1,3\%$. Не смотря на отсутствие достоверного снижения уровня белка в обеих группах, содержание белка во 2 группе было более значимым и превышало уровень снижения белка в 1 группе. Отмечен больший процент (в 2-3 раза больше) снижения общего белка и альбумина при проведении плазмообмена, чем при плазмсорбции.

Таблица 4 – Влияние плазмосорбции и плазмообмена на основные биохимические показатели пациентов с механической желтухой

Показатель	Результаты, средняя величина				Процент снижения (%)	
	I группа (СПС)		II группа (ПО)		I группа (СПС)	II группа (ПО)
	до проц.	после проц.	до проц.	после проц.		
Общий билирубин	385,6 ± 34,6	232,13 ± 43*	288,3 ± 10,2	177,3 ± 11,7*	39,8 ± 3,8	38,5 ± 6,4
Конъюгированный билирубин, мкмоль/л	200,3 ± 98,3	123,79 ± 14,5	176,2 ± 15,1	110,65 ± 7,5	38,2 ± 18	37,2 ± 5,0
Неконъюгированный билирубин, мкмоль/л	185,4 ± 82,4	125,15 ± 10,4	122,3 ± 11,2	88,67 ± 9,4	32,5 ± 11,9	27,5 ± 2,3
Общий белок, г/л	53,8 ± 12,7	52,7 ± 7,8	62,4 ± 10,5	58,3 ± 5,6	2,05 ± 0,8	6,6 ± 1,0
Альбумин, г/л	30,8 ± 9,17	29,6 ± 8,9	32,2 ± 8,2	30,1 ± 7,5	3,9 ± 2,4	6,5 ± 1,3
АЛТ, ед/л	92,4 ± 8,6	70,69 ± 5,9*	68,4 ± 13,3	52,4 ± 11,2*	23,5 ± 3,4	23,4 ± 4,1
АСТ, ЕД/л	121,21 ± 40	76,36 ± 5,9	102,4 ± 17,2	71,3 ± 10,2	37 ± 2,3	30,4 ± 3,5
Желчные кислоты	98,8 ± 9,1	67,78 ± 3,2*	86,5 ± 10,1	60,3 ± 9,3*	31,4 ± 2,8	30,3 ± 5,4
Щелочная фосфатаза, ЕД/л	135 ± 8,9	133 ± 6,7	183,4 ± 9,8	120,5 ± 8,6	1,5 ± 0,9	34,2 ± 3,5
Калий, ммоль/л	4,3 ± 1,2	4,2 ± 0,8	4,1 ± 0,8	4,0 ± 0,6	2,32 ± 1,3	2,3 ± 1,1
Натрий, ммоль/л	138 ± 12,5	137 ± 10,3	137 ± 10,2	136 ± 9,7	0,72 ± 0,5	0,6 ± 0,06

Примечание: Сокращения: АЛТ – аланинаминотрансфераза, АСТ – аспаратаминотрансфераза. Данные представлены как среднее значение и стандартное отклонение ($M \pm SD$). *Достоверность различий с исходным показателем при $p < 0,05$.

Исходный уровень электролитов плазмы в обеих группах был в пределах нормы. Процедуры селективной плазмосорбции не оказывали влияния на уровень электролитов плазмы.

После проведения плазмообмена у 4 пациентов отмечались посттрансфузионные реакции в виде озноба, кожных высыпаний в виде крапивницы, зуда, повышения температуры тела до 38,0 ° С. Эти симптомы появились примерно через 1,5 – 2 час после окончания процедуры плазмообмена и купировались внутривенным введением антигистаминных препаратов, преднизолона и 10% раствора хлористого кальция.

Обсуждение

Мы наблюдали у части больных снижение артериального давления, оно носило временный характер, максимальное снижение среднего артериального давления до указанных показателей наблюдали у 2 х пациентов первой группы и у 1 пациента второй группы. При этом показатели АД составляли 82/57 мм рт ст. и 79/56 мм рт ст. Объясняется это несколькими причинами: во-первых, состояние многих пациентов было тяжелым. Печеночная недостаточность, независимо от её причины, часто связана с гемодинамической нестабильностью, при этом снижается системное сосудистое сопротивление и среднее артериальное давление, в этих условиях эксфузия крови в экстракорпоральный контур также оказывала негативное воздействие на гемодинамику. Во-вторых – имеются данные, что на колонке «Plasorba BR-350» сорбируется кортизол (патент на изобретение №2607193 «Способ лечения желтухи у больных острой печёночной недостаточностью», зарегистрированный в Государственном реестре изобретений РФ 10.01.2017 г). Возникающее в связи с этим снижение уровня кортизола крови может приводить к снижению артериального давления, которое может быть купировано внутривенным введением преднизолона. В-третьих, одной из причин снижения артериального давления может быть усиление ваготропного эффекта, связанного с дисбалансом между парасимпатическим и симпатическим отделами нервной системы у больных с механической желтухой [15, С. 22]. После окончания процедур у больных исследуемых групп стабилизировалась гемодинамика, скорее всего это было связано с коррекцией эндотоксикоза и адекватным лечением.

Таким образом можно утверждать, что селективная плазмосорбция и плазмообмен при печёночной недостаточности у пациентов с механической желтухой положительно влияют на динамику биохимических показателей. Улучшение влияния плазмообмена согласуется с литературными данными [16, С. 76]. Полученные результаты позволяют нам сделать вывод о снижении уровней билирубина, АСТ, АЛТ, желчных кислот после проведения СПС и ПО. Так, билирубин снизился на 39,8 ± 3,8% после СПС и на 38,5±6,4% после ПО. Динамика

снижения неконъюгированного билирубина отличалась на 5% в пользу СПС. Снижение желчных кислот признаны равнозначными в обеих группах и составляли немного больше 30%. В динамике некоторых биохимических показателей статистически значимых различий отмечено не было, возможно это обусловлено малым количеством наблюдений. При анализе предварительных результатов, была отмечена чётко однонаправленная тенденция к улучшению анализируемых показателей. Это позволяет нам считать, что предварительные результаты нашего исследования являются удовлетворительными. Следует отметить, что в целом при равнозначном эффекте, для достижения нужного уровня детоксикации необходимо соблюдение принципа достаточного объёма эксфузии плазмы при проведении плазмообмена, что, в свою очередь, требует адекватного восполнения СЗП и раствором альбумина. Увеличение объёма введения компонентов и препаратов крови может способствовать увеличению числа посттрансфузионных осложнений. В нашем исследовании отмечен больший процент (в 2-3 раза больше) снижения общего белка и альбумина при проведении плазмообмена, чем при плазмосорбции даже при адекватном его восполнении. Так, после проведения селективной плазмосорбции уровень общего белка снизился на $2,05 \pm 0,8\%$, уровень альбумина снижался на $3,9 \pm 2,4\%$. После плазмообмена уровень снижения общего белка составлял $6,6 \pm 1,0\%$, уровень снижения альбумина составлял $6,5 \pm 1,3\%$. Несмотря на отсутствие достоверного снижения уровня белка в обеих группах, содержание белка во 2 группе было более значимым и превышало уровень снижения белка в 1 группе.

При проведении плазмообмена мы не можем не рассматривать риски посттрансфузионных осложнений и аллергических реакций у данной категории больных, связанных с введением донорской плазмы и альбумина, что уже само по себе снижает уровень безопасности этой процедуры. Следует учитывать, что при плазмообмене для восполнения белковых и жидкостных потерь использовали 5% раствор альбумина и донорскую СЗП. Преимуществом селективной плазмосорбции является отсутствие необходимости в введении раствора альбумина и донорской плазмы, что уменьшает риск посттрансфузионных осложнений и повышает уровень безопасности по сравнению с плазмообменом. Кроме того, при СПС снижается риск заражения опасными инфекционными заболеваниями такими как ВИЧ, гепатиты В и С [17, С.105].

Смертность в нашем исследовании составила 5,5% и 7,14% в первой и во второй группах соответственно. Умерли по 1 пациенту из обеих групп после оперативного лечения, на 31 сутки - из I группы и на 28 сутки - из II группы. Причиной смерти в обеих группах было наличие у пациентов гнойного холангита, осложнившегося сепсисом и синдромом полиорганной недостаточности. Длительность желтухи этих пациентов варьировала от 10 до 12 недель. Смертности в обеих группах считается сопоставимой.

Выводы

1. Мы считаем, что селективная плазмосорбция и плазмообмен являются достаточно безопасными и эффективными экстракорпоральными методами при печёночной недостаточности у больных с механической желтухой, особенно при длительном желтушном периоде. Эти методы позволяют корригировать эндотоксикоз при высоком уровне билирубина перед операцией, а также в послеоперационном периоде.

2. Отмечено, что селективная плазмосорбция имеет преимущества в сравнении с плазмообменом. Потери белка и альбумина после селективной плазмосорбции минимальны и нет необходимости в дополнительной трансфузии донорской плазмы и альбумина, что повышает уровень безопасности этой процедуры и исключает возможность развития связанных с этим осложнений.

3. При проведении плазмообмена отмечалось снижение общего белка на 6,5% и альбумина на 3,9%, чего не отмечалось в ходе селективной плазмосорбции. Это говорит не только о селективности сорбента, но и о большей безопасности селективной плазмосорбции в сравнении с плазмообменом.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Хорошилов С. Е. Острая (молниеносная) и острая/хроническая печеночная недостаточность: возможности коррекции альбуминовым диализом на аппарате MARS. Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии / С. Е. Хорошилов, С. Г. Половников, В. Л. Асташев и др. 2007;17(2) С. 57–62.
2. Гальперин Э.И., Семендяева М.Н., Неклюдова Е.А.. М.: Медицина; 1978. 328 с.
3. Натальский А. А. Недостаточность печени. Современные представления о печёночной недостаточности в хирургии / А. А. Натальский, С. В. Тарасенко, О. В. Зайцев и др. // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2014;(4) С. 138–47.
4. Бокерия Л. А. . Руководство по экстракорпоральному очищению крови / Л. А. Бокерия М. Б. Ярустовский // ред. М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН; 2009. 468 с
5. Фомин А. М. Селективная плазмочистка при механической желтухе. Эфферентная терапия / А. М. Фомин, Л. С. Ладенкова, В. Ю. Бабушкин 2013;19(1) С. 108–9.
6. Симутич И. С. Экспериментально-клиническое обоснование применения озонмодифицированных гемосорбентов в интенсивной терапии механической желтухи. Диссертация на соискание учёной степени кандидата медицинских наук // И. С. Симутич. Нижний Новгород 2006: 8 - 28.
7. Семёнов В. Б. Метаболическая коррекция желчеоттока при механической желтухе. // Анестезиология и реаниматология / В. Б. Семёнов, А. Ю. Яковлев, Р. М. Зайцев. 2012;(2). С. 58 – 61.
8. Ивашкин В. Т. Болезни печени и желчевыводящих путей: руководство для врачей / В. Т. Ивашкин. М.: М-Вести; 2005. 416.
9. Еремеева Л. Ф. Экстракорпоральные методы лечения у пациентов с печеночно-клеточной недостаточностью. Актуальные проблемы транспортной медицины / Л. Ф. Еремеева, А. Ф. Ямпольский. 2010;(4). С. 139–49.
10. Садыков Р. А. Терапевтический плазмаферез на этапе экстракорпоральной детоксикации / Р. А. Садыков,

О. В. Ким, З. Р. Хайбуллина // Вестник интенсивной терапии. 2015;(4). С. 49-52

11. Ярустовский М. Б. Экстракорпоральные методы гемокоррекции при острой печёночной недостаточности у пациентов после кардиохирургических вмешательств. Анестезиология и реаниматология // М. Б. Ярустовский, М. В. Абрамян, Е. В. Комардина и др. 2014;(5). С. 4-10.

12. Синьков С. В. Прогнозирование различных форм послеоперационной острой печеночной недостаточности. Анестезиология и реаниматология / С. В. Синьков, И. В. Жилин, И. Б. Заболотских. 2017;62(1). С. 73-76

13. Иоффе И. В. Печеночная недостаточность у больных с механической желтухой неопухолевого генеза / И. В. Иоффе, В. П. Потеряхин // Український журнал клінічної та лабораторної медицини. 2009;4(3). С. 130–2.

14. Морозов А. С. Сорбенты для экстракорпорального удаления токсических веществ и молекул с нежелательной биологической активностью (обзор) / А. С. Морозов, И. В. Бессонов, А. В. Нуждина и др. // Общая реаниматология. 2016;12(6). С. 82–107.

15. Бирюшев В. И. Оптимизированный плазмаферез в комплексном лечении механической желтухи. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата медицинских наук / В. И. Бирюшев 1992; 21-23 с.

16. Кутепов Д. Е. Использование экстракорпоральных методов лечения печёночной недостаточности / Д. Е. Кутепов // Казанский медицинский журнал. 2014; 95(1). С. 75-79.

17. Фомин А. М. Оценка эффективности плазмсорбции (Liver Support) при печёночной недостаточности у больных с механической желтухой. Альманах клинической медицины / А. М. Фомин, А. И. Лобаков, Г. В. Титова и др. 2015(40). С. 101-108.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Khoroshilov S. E. Ostraya (molnienosnaya) i ostraya/khronicheskaya pechenochnaya nedostatochnost': vozmozhnosti korrektsii al'buminovyim dializom na apparate MARS [Acute (lightning) and acute / chronic liver failure: the possibility of correction for albumin dialysis unit MARS] // S. E. Khoroshilov, S. G. Polovnikov, V. L. Astashev and others // Rossijskij zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii [Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology] 2007;17(2):57–62 [in Russian]

2. Gal'perin E. I. Nedostatochnost' pecheni [Liver failure] // E. I. Gal'perin, M. N. Semendyaeva, E. A. Neklyudova. Moscow: Meditsina; 1978. 328 p. [in Russian]

3. Natal'skiy A. A. Sovremennye predstavleniya o pechenochnoy nedostatochnosti v khirurgii [Modern understanding of liver failure in surgery] // A. A. Natal'skiy, S. V. Tarasenko, O. V. Zaytsev and others // Rossiyskiy mediko-biologicheskiy vestnik imeni akademika I. P. Pavlova [Russian Medical and Biological Bulletin named after academician I. P. Pavlov]. 2014;(4):138–47 [in Russian]

4. Bokeriya L. A. Rukovodstvo po ekstrakorporal'nomu ochishcheniyu krovi [Guidelines for extracorporeal blood purification] / L. A. Bokeriya, M. B. Yaroustovskiy. Moscow: NTSSKh im. A.N. Bakuleva RAMN [Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery]; 2009. 468 p. [in Russian]

5. Fomin A. M. Selektivnaya plazmofil'tratsiya pri mekhanicheskoy zheltukhe [Coupled plasma filtration adsorption in abdominal severe sepsis . Efferent Therapy] // A. M. Fomin, L. S. Ladenkova, V. Yu. Babushkin. 2013;19(1):108–9 [in Russian]

6. Simutis I. S. Eksperimental'no-klinicheskoe obosnovanie primeneniya ozonmodifitsirovannykh haemosorbentov v intensivnoy terapii mekhanicheskoy jeltukhi [Experimental-clinical substantiation of application of hemosorbents ozonedepleting in intensive therapy of obstructive jaundice]. Dissertatsiya na soiskaniye ucheonoy stepeny kandidata medicinskiykh nauk. Nijniy Novgorod 2006. P. 8 - 28. [in Russian]

7. Semeonov V. B. Metabolicheskaya korrektsiya jelcheottoka pri mekhanicheskoy jeltukhe [Metabolic correction of bile flow in mechanical jaundice] / V. B. Semeonov, A. Yu. Yakovlev, R. M. Zaytsev and others. // Anesteziologiya i reanimatologiya [Anesthesiology and reanimatology] 2012;(2):58 – 61[in Russian]

8. Ivashkin V. T. Bolezni pecheni i zhelchevyvodyashchikh putey: rukovodstvo dlya vrachey [Diseases of the liver and biliary tract: a guide for doctors] / V. T. Ivashkin. Moscow: M-Vesti; 2005. 416 p. [in Russian]

9. Eremeeva L. F. Ekstrakorporal'nye metody lecheniya u patsientov s pechenochno-kletochnoy nedostatochnost'yu [Extracorporeal methods of treatment in patients with hepatocellular insufficiency. Actual problems of transport medicine] // L. F. Eremeeva, A. F. Yampol'skiy. 2010;(4):139–49 [in Russian]

10. Sadykov R. A. Terapevicheskiy plazmaferes na etape ekstrakorporal'noy detoxikatsii [Therapeutic apheresis at the Stage of extracorporeal detoxification] / R. A. Sadykov, O. V. Kim, Z. R. Khaybullina // Vestnik intensivnoy terapii [The Bulletin of intensive therapy]. 2015(4) P. 49-52 [in Russian]

11. Yaroustovskiy M. B. Ekstrakorporal'nye metody haemokorrektsii pri ostroy pechenochnoy nedostatochnosti u patsientov posle kardiokhirurgicheskikh vmeshatelstv [Artificial liver support devices in patients with acute liver failure after cardiac surgery] / M. B. Yaroustovskiy, M. V. Abramyana, E. V. Komardina and others // Anesteziologiya i reanimatologiy Anesteziologiya i reanimatologiy [Anesthesiology and reanimatology]. 2014;(5). P. 4-10 [in Russian]

12. Sin'kov S. V. Prognozirovanie razlichnykh form posleoperatsionnoy ostroy pechenochnoy nedostatochnosti [The prediction of the various forms of postoperative acute liver failure] / S. V. Sin'kov, I. V. Jilin, I. B. Zabolotskiy // Anesteziologiya i reanimatologiy [Anesthesiology and reanimatology] 2017; 62(1). P. 73-76 (in Russian).

13. Ioffe I. V. Pechenochnaya nedostatochnost' u bol'nykh s mekhanicheskoy zheltukhoj neopukhlevogo geneza [Liver insufficiency in patients with mechanical jaundice caused by choledocholithiasis] // I. V. Ioffe, V. P. Poteryakhin // Ukrain's'kij zhurnal klinichnoy ta laboratornoy medicini [Ukrainian Journal of Clinical and Laboratory Medicine]. 2009;4(3):130–2 [in Russian]

14. Morozov A. S. Sorbenty dlya ekstrakorporal'nogo udaleniya toxischeskih veschestv i molecule s nejelatel'noy biologicheskoy aktivnost'yu (obzor) [Sorbents for extracorporeal removal of toxic substances and unwanted molecules with biological activity (review)] // A. S. Morozov, I. V. Bessonov, A. V. Nuzhdina // Obshchaya reanimatologiya [General reanimatology]. 2016;12(6):82–107 [in Russian]

15. Birushev V. I. Optimizirovanny plazmafers v complexnom lechenii mekhanicheskoy zheltukhi [Optimized apheresis in the complex treatment of mechanical jaundice] / V. I. Birushev // Autoreferat dissertatsii na soiskaniye ucheonoy stepeni kandidata meditsinskyh nauk [Abstract of the thesis for the degree of candidate of medical Sciences]. 1992; P. 21-23.
16. Kutepov D. E. Ispol'zovaniye ekstrakorporal'nyh metodov lecheniya pecheonochnoy nedostatochnosti [Use of extracorporeal methods of treatment of liver failure] / D. E. Kutepov // Kazanskiy medicinskiy zhurnal [Kazan medical journal] 2014: 95(1) P. 75-79. [in Russian]
17. Fomin A. M. Otsenka effektivnosti plasmosorbtsiyi (Liver Support) pri pecheonochnoy nedostatochnosti u bol'nyh s mekhanicheskoy zheltuchoy [Efficiency of plasma adsorption (liver support) in patients with mechanical jaundice complicated with liver failure] / A. M. Fomin, A. I. Lobakov, G. V. Titova and others // Almanac of Clinical Medicine [Almanac of clinical medicine]. 2015(40). P. 101-108. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.035>

НЕМАТОДОЗЫ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА У ЛОШАДЕЙ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ И ВЫЗЫВАЕМЫЙ ИМИ УЩЕРБ

Научная статья

Дашинимаев Б.Ц.^{1,*}, Боярова Л.И.²

¹ ORCID: 0000-0002-7833-3206;

² ORCID: 0000-0002-6474-0863;

^{1,2} Научно-исследовательский институт Ветеринарии Восточной Сибири – филиал Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук, Чита, Россия

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

Аннотация

Методами гельминтоооскопии, ПГВ и НГВ изучено распространение нематодозов пищеварительного тракта лошадей, содержащихся в условиях косячно-табунного коневодства в степной и лесостепной зонах Забайкальского края и вызываемый ими ущерб. Из нематодозов широкое распространение имеют стронгилятозы поражая лошадей с ЭИ до 88,2%, параскаридоз с ЭИ до 64,7% и оксиуроз с ЭИ до 27,5%. Молодняк лошадей за 2,5 месяца недополучает 5,5кг привеса.

Ключевые слова: лошади, гельминтозы, нематодозы, ооскопия, ПГВ, НГВ, пищеварительный тракт.

NEMATODOSIS OF DIGESTIVE TRACT IN HORSES OF TRANSBAIKAL AND DAMAGE CAUSED BY THEM

Research article

Dashinimaev B.Ts.^{1,*}, Boyarova L.I.²

¹ ORCID: 0000-0002-7833-3206;

² ORCID: 0000-0002-6474-0863;

^{1,2} Research Institute of Veterinary Medicine of Eastern Siberia – Branch of the Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnology RAS, Chita, Russia

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

Abstract

The article studies the spread of the nematodosis of the horse's digestive tract kept in horse herd farming in steppe and forest-steppe zones of the Transbaikal and the damage caused by them. The study was conducted with the help of helminthooscopy, complete helminthological exposure, incomplete helminthological exposure. Horses are mostly affected with strongylatosis with EI up to 88.2%, parascariosis with EI up to 64.7% and oxyurosis with EI up to 27.5%. Young horses lose 5.5 kg weight gain within 2.5 months.

Keywords: horses, bot (helminthoses), nematodosis, ooscopy, complete helminthological exposure, incomplete helminthological exposure, digestive tract.

В Забайкалье есть все необходимые условия для развития коневодства. С ростом фермерских хозяйств и конного спорта стали уделять большое внимание разведению лошадей. Кроме того, коневодство служит источником экологически чистого мяса. Основными причинами тормозящими развитие коневодства в этом регионе, являются паразитарные болезни, в частности нематодозы, которые встречаются повсеместно, поражая до 98,5 % поголовья животных [1, С. 54], [6, С. 113], [7, С. 27], [8, С. 17], [11]. Паразитозы пищеварительного тракта имеют особое место, если они не всегда приводят к гибели животных, но они резко снижают их продуктивность. Нематодозы – одна из наиболее распространенных групп паразитарных заболеваний лошадей, наносящих огромный ущерб коневодству [10, С. 92], [12, С. 36], [2, С. 33], [3, С. 13].

Материалы и методы

Распространение и степень поражения лошадей различными кишечными нематодозами определяли гельминтоооскопическими методами исследования проб фекалии животных по Фюллеборну и Дарлингу. А также методами полного и неполного гельминтологического вскрытия (ПГВ, НГВ) по К.И. Скрябину в модификации Н.С. Назаровой [9, С. 34] при убое различных половозрастных групп лошадей на мясокомбинатах, подворьях и павших животных в хозяйствах различных зонах края.

Собранных нематод консервировали в жидкости Барбагалло и 70⁰ спирте. Паразитов идентифицировали до вида с использованием определителя гельминтов лошадей [5] в отделе лабораторно-аналитических исследований научно-исследовательском институте ветеринарии Восточной Сибири – филиале СФНЦА РАН. Всего методами НГВ и ПГВ исследовали 34 лошади разного возраста из 13 районов Забайкальского края.

Результаты исследований

Гельминтоооскопическими методами исследования установили, что нематоды пищеварительного тракта лошадей, содержащихся в условиях косячно-табунного коневодства в Забайкальском крае, широко распространены, поражая животных стронгилятозами старше 2 лет с ЭИ до 80,5% в лесостепной зоне и с ЭИ до 72,0% в степной зоне (таблица 1).

Таблица 1 – Зараженность лошадей нематодозами пищеварительного тракта (по данным гельминтоовоскопических исследований)

Возрастная группа лошадей	Лесостепная зона				Степная зона					
	Обследовано лошадей, N	из них инвазировано			Обследовано лошадей, N		из них инвазировано			
		Параскаридоз	Стронгилятоз				Параскаридоз	Стронгилятоз		
гол,	ЭИ, %	гол,	ЭИ, %	гол,	ЭИ, %	гол,	ЭИ, %	гол,	ЭИ, %	
Старше 2 лет	388	107	27,6	329	61,8	442	102	23,1	332	75,1
Молодняк до 2 лет	89	13	14,6	55	61,8	124	26	21,0	75	60,5
Итого	477	120	25,2	384	80,5	566	128	22,6	407	72,0

Из таблицы видно, что в лесостепной и в степной зонах ЭИ по параскаридозу и по стронгилятозам у животных старше 2 лет выше, чем у молодняка лошадей до 2 лет. Если сравнивать зараженность животных по зонам, то по параскаридозу и по стронгилятозам ЭИ в лесостепной зоне выше, чем в степной, что у молодняка до 2 лет, и у взрослых.

По результатам ПГВ и НГВ инвазированность лошадей еще более высокая, чем по результатам гельминтоовоскопии (таблицы 2 и 3). Так, в степной зоне стронгилятами инвазированы 88,2% животных, параскаридами 41,1%, а в лесостепной зоне 80,0% и 64,7% соответственно. Все обследованные молодые животные были заражены трихонематидами с ИИ от 24869 экз. до 163600 экз., а взрослые лошади были заражены с ИИ от 6130 до 83700 экз.

Таблица 2 – Зараженность лошадей нематодозами в районах степной зоны Забайкальского края (по данным ПГВ и НГВ)

Район	Параскаридоз	Стронгилятоз	Оксиуроз	Габронематоз	Драшейоз	Стронгилоидоз
	Экстенсивность инвазии, %					
Акшинский	46,4	89,5	36,6	-	-	-
Агинский	67,8	100,0	25,0	-	-	8,3
Борзинский	42,0	90,0	-	-	-	-
Кыринский	58,9	92,6	-	-	-	3,5
Могойтуйский	70,0	98,8	50,0	-	-	-
Приаргунский	-	86,8	-	-	-	-
Ононский	48,2	84,3	-	-	-	-
Нерчинский	36,8	68,4	-	-	-	-
Оловянинский	-	83,6	-	-	-	-
В среднем по зоне	41,1	88,2	12,3	-	-	1,3

Таблица 3 – Зараженность лошадей нематодами в районах лесостепной зоны Забайкальского края (по данным ПГВ и НГВ)

Район	Параскаридоз	Стронгилятоз	Оксиуроз	Габронематоз	Драшейоз	Стронгилоидоз
	Экстенсивность инвазии, %					
Алек-Заводский	61,4	55,6	-	-	-	-
Карымский	72,6	81,5	25,0	11,7	-	-
Улетовский	66,5	93,8	25,0	8,8	5,8	-
Читинский	58,3	92,3	60,0	-	-	-
В среднем по зоне	64,7	80,0	27,5	5,1	1,4	-

Все собранные нематоды желудочно-кишечного тракта лошадей отнесены к 44 видам [4, С. 42].

Из всех обнаруженных нематод самыми многочисленными оказались представители семейств Trichonematidae (93,6 %) и Strongylidae (6,4 %). Среди последних наиболее часто встречали стронгилят рода *Delafondia* и значительно реже – рода *Alfortia*. В лесостепной зоне и чаще у взрослых животных регистрируется *Oxyuris equi* с ЭИ – 27,5%, а в степной с ЭИ – 12,3%. *Drasheia megastoma* и нематоды из семейства *Habronematidae* (*H.muscae*, *H.micrustoma*) нами впервые зарегистрированы в лесостепной зоне с ЭИ – 1,4%, ИИ – 9экз. и с ЭИ – 5,1%, ИИ – от 2 до 1313 экз.,

соответственно. *Strongyloides westeri* мы обнаружили впервые в двух районах степной зоны Забайкальского края с ЭИ – 1,3%.

При выявлении наносимого ущерба нематодозами пищеварительного тракта коневодству, нами были подобраны опытная и контрольная группы, в которых отобрали по 6 голов лошадей разного возраста в селе Новодоронинское Карымского района Забайкальского края. За два дня до начала опыта у всех лошадей отобрали пробы фекалий и исследовали на зараженность гельминтами методом гельминтоооскопии. У каждого животного из этих групп была определена масса тела. Для контроля над эффективностью препарата от гельминтозов, через 7 дней произвели отбор проб фекалий от опытных и контрольных животных и исследовали методом гельминтоооскопии. Такие же исследования провели при окончании опыта по определению ущерба 24 апреля 2018г.

Во всех пробах фекалий, отобранных до опыта, отмечали сильное заражение стронгилидами и параскарисами; ЭИ стронгилидами была 100% и параскарисами – до 50%.

При исследовании проб фекалий на 7 сутки в опытной группе яиц нематод мы не находили.

При исследовании 24 апреля 2018 года и повторном взвешивании животных после опыта результаты были также отрицательными, кроме жеребенка № 2, у которого обнаружены единичные яйца параскариды и стронгилид, в то время как в опытной группе ЭИ оставались примерно на том же уровне (таблица 4).

Таблица 4 – Прирост массы тела животных

№ животного и возраст	Дата исследования	Вес до опыта	Дата исследования	Вес после опыта	Разница в привесе
Опытная группа					
1 – взрослая	09.02.2018г.	535,0	24.04.2018г.	541,0	+ 6 кг
2 – взрослая		450,0		456,0	+ 6 кг
3 – взрослая		520,0		523,0	+ 3 кг
4 – взрослая		486,0		492,0	+ 6 кг
5 – 1 год		187,0		201,0	+ 14 кг
6 – 1 год		170,0		183,0	+ 13 кг
Прирост массы тела в среднем по группе				+ 8,0кг	
Контрольная группа					
1 – взрослая	09.02.2018г.	527,0	24.04.2018г.	532,0	+5 кг
2 – взрослая		483,0		480,0	-3 кг
3 – взрослая		476,0		478,0	+2 кг
4 – взрослая		486,0		493,0	+7 кг
5 – 1 год		189,0		175,0	+9 кг
6 – 1 год		167,2		174,0	+7кг
Прирост массы тела в среднем по группе				+4,50 кг	

Из таблицы видно, что разница в привесе в среднем на 1 голову составила на 3,5 кг выше в опытной группе, чем в контрольной. У взрослых животных разницы в привесе мы не отмечали, но заметна разница в привесе жеребят. Так, в опытной группе за 2,5 месяца привес составил в среднем 13,5 кг, а в контрольной он равнялся 8,0 кг, т.е. привес в опытной группе на 5,5кг выше. Следует сказать, что опыт проводили в индивидуальном хозяйстве, где основным и единственным кормом для животных служило сено, и опыт длился короткое время. Поэтому считаем, что у взрослых лошадей разница в привесах не так заметна для наблюдателя, как у растущего животного. Поэтому дегельминтизация лошадей от нематод желудочно-кишечного тракта крайне необходима.

Заключение

Наши исследования подтверждают данные ветеринарной службы края о широком распространении нематодозов желудочно-кишечного тракта лошадей в Забайкальском крае и можно сделать вывод, что меры борьбы с ними проводятся недостаточно.

Наиболее широкое распространение в табунном коневодстве имеют стронгилятозы, поражая животных с ЭИ до 88,23% в степной зоне и до 80,0% в лесостепной зоне и параскаридозы заражая лошадей с ЭИ до 64,7% в лесостепной зоне и до 41,13% в степной зоне. Так же имеет место и особенно в лесостепной зоне оксиуроз лошадей поражая животных с ЭИ до 27,5%. Молодняк лошадей за 2,5 месяцев недополучает привес 5,5 кг.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Дашинимаяев Б. Ц. Гельминтофауна пищеварительного тракта лошадей Читинской области. / Б. Ц. Дашинимаяев, П. В. Тимофеев, И. М. Мигунов и др. // Актуальные вопросы теоретической и практической паразитологии. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Заслуженного деятеля науки РФСР, доктора вет. наук, профессора А.Н.Каденации. Омск. – 2004. – С. 53-57.
2. Дашинимаяев Б. Ц. Экономический ущерб при смешанных инвазиях желудочно-кишечного тракта у молодняка

лошадей в Забайкалье / Б. Ц. Дашинимаев, Б. З. Базарон, В. С. Потаев и др. // Коневодство и конный спорт. – 2015. – №6. – С. 33-35.

3. Дашинимаев Б. Ц. Эпизоотология гельминтозов лошадей в условиях косячно-табунного содержания в Забайкальском крае. / Б. Ц. Дашинимаев // Проблемы коневодства. Материалы четвертой международной научно-практической конференции. Чита, 1-3 ноября 2011 г. – 202 с.

4. Дашинимаев Б. Ц. Видовой состав паразитов пищеварительного тракта лошадей в Забайкальском крае. / Б. Ц. Дашинимаев, Л. И. Боярова // Ветеринария. – 2017. – №11. – С. 39-43.

5. Ивашкин В. М. Определитель гельминтов лошадей / В. М. Ивашкин, Г. М. Двойнос. Киев. – 1984. – 164с.

6. Исаков С. И. Гельминтозы лошадей в условиях косячно-табунного содержания в Якутии и терапия этих заболеваний / С. И. Исаков // Сб. ин-та биологии ЯФСОАН СССР «Вредные насекомые и гельминты Якутии». – 1971. – С. 109-115.

7. Кленова И. Ф. Гельминтозы лошадей и меры борьбы с ними. / И. Ф. Кленова // Ветеринария. – 2001. – № 10. – С.26-29.

8. Михайлов В. И. Усовершенствование мер борьбы со стронгилятозами лошадей в Алтайском крае. - Автореф. дис. канд. вет. Наук: -Михайлов Владимир Иванович – Тюмень, 2004. – 19 с.

9. Назарова Н. С. Методика гельминтологического вскрытия копытных животных / Н. С. Назарова // Бюл. Всесоюзного ин-та гельминтологии. – 1977. – № 19. – С. 34-36.

10. Пономарев Н. М. Видовой состав гельминтов лошадей в Алтайском крае / Н.М. Пономарев // Паразиты в природных комплексах и рискованные ситуации. Сборник научных трудов. – Новосибирск, 1998. – С.90-93

11. Сафронов М. Г. Гельминты и гельминтозы животных Якутии / М. Г. Сафронов // РАСХН. Сиб. отделение. НПО «Якутское». Якут. НИИСХ. – Новосибирск. – 1994. – 112с

12. Якубовский М. В. Нематодозы лошадей Белоруссии / М. В. Якубовский, В. И. Длубаковский // Ветеринария. – 2005. – №1. – С.35-39.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dashinimaev B. Ts. Gelminthofauna pishchevaritel'nogo trakta loshadei Chitinskoi oblasti. [Helminthofauna of the Digestive Tract of Horses of the Chita Region] / B. Ts. Dashinimaev, P. V. Timofeev, I. M. Migunov and others // Aktual'nyye voprosy teoreticheskoy i prakticheskoy parazitologii. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu Zasluzhennogo deyatelya nauki RSFSR, doktora vet. nauk, professora A.N.Kadenatsii [Topical Questions of Theoretical and Practical Parasitology. Materials of the International Scientific-Practical Conference Dedicated to 100th anniversary of Professor A.N. Kadenatsii, Honored Worker of Science of the the Russian SFSR, PhD in Veterinary Medicine and Science]. Omsk. – 2004. – P. 53-57. [In Russian]

2. Dashinimaev B. Ts. Ekonomicheskii usherb pri smeshannykh invazyakh zheludochno-kishechnogo trakta u molodnyaka loshadei v Zabaikal'ye [Economic Damage from Mixed Invasions of the Gastrointestinal Tract in Young Horses of Transbaikalia] / B. Ts. Dashinimaev, B. Z. Bazaron, V. S. Potaev and others // Konevodstvo i konnyy sport [Horse Breeding and Equestrian Sport]. – 2015. – No.6. – P. 33-35. [In Russian]

3. Dashinimaev B. Ts. Epizootologiya gelmintozov loshadei v usloviyakh kosyachno-tabunnogo sodержaniya v Zabaikalskom krae [Epizootology of Helminthism in Horses under Conditions of Horse Herd Farming in Transbaikalia] / B. Ts. Dashinimaev // Problemy konevodstva. Materialy chetvertoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Problems of Horse Breeding. Materials of the Fourth International Research-to-Practical Conference]. Chita, 1-3 November 2011. – P. 12-17. – 202 p. [In Russian]

4. Dashinimaev B. Ts. Vidovoi sostav parazitov pishchevaritel'nogo trakta loshadei v Zabaikalskom krae. [Species Composition of Parasites of the Digestive Tract of Horses in Transbaikalia] / B. Ts. Dashinimaev, L. I. Boyarova // Vetirenarnay meditsina [Veterinary Medicine]. – 2017. – No.11. – P. 39-43. [In Russian]

5. Ivashkin V. M. Opredelitel gelmintov loshadei [Determinant of Helminths in Horses] / V. M. Ivashkin, G. M. Dvoinos. Kyiv. – 1984. – 164 p. [In Russian]

6. Isakov S. I. Gelmintozy loshadei v usloviyakh kosyachno-tabunnogo sodержaniya v Yakutii i terapiya etikh zaboлевanii [Helminthism of Horses in the Conditions of Horse Herd Farming in Yakutia and the Treatment of these Diseases] / S. I. Isakov // Coll. of Inst. of Biology YFSOANSSSR "Harmful Insects and Worms of Yakutia." – 1971. – P. 109-115. [In Russian]

7. Klenova I. F. Gelmintozy loshadei i mery borby s nimi. [Horse Helminth Infections and Control Measures] / I. F. Klenova // Vetirenarnay meditsina [Veterinary Medicine]. – 2001. – No. 10. – P.26-29. [In Russian]

8. Mikhailov V. I. Usovershenstvovanie mer borby so strongilyatozami loshadei v Altaiskom krae. [Improving Measures to Combat Strongylosis of Horses in the Altai Territory] / V. I. Mikhailov // Thesis of Abstr. of PhD in Vet. Med. and Science: Mikhailov Vladimir Ivanovich – Tyumen, 2004. – 19 p. [In Russian]

9. Nazarova N. S. Metodika gelmintologicheskogo vskrytiya kopytnykh zhivotnykh [Method of Helminthological Dissection of Ungulates] / N. S. Nazarova // Byul.Vsesoyuznogo in-ta gel'mintologii [Bul. of All-Union Institute of Helminthology]. – 1977. – No.19. – P. 34-36. [In Russian]

10. Ponomarev N. M. Vidovoi sostav gelmintov loshadei v Altaiskom krae [Species Composition of Horse Helminths in the Altai Territory] / N. M. Ponomarev // Parazity v prirodnykh kompleksakh i riskovyye situatsii. Sbornik nauchnykh trudov [Parasites in Natural Complexes and Risky Situations. Collection of Scientific Works]. – Novosibirsk, 1998. – P.90-93 [In Russian]

11. Safronov M. G. Gelminty i gelmintozy zhivotnykh Yakutii [Helminths and Helminth Infections of Animals in Yakutia] / M. G. Safronov // RAAS. Sib. Branch. "Yakutsk" Scientific Development and Production Center. Yakutsk Agricultural Research Institute. – Novosibirsk. – 1994. – 112 p. [In Russian]

12. Yakubovskii M. V. Nematodozy loshadei Belorussii [Nematodoses of Horses of Belarus] / M. V. Yakubovskii, V. I. Dlubakovskii // Veterinariya [Veterinary Science]. – 2005. – No.1. – P.35-39. [In Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.77.11.036>

РЕЗУЛЬТАТЫ ДОКЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НОВОГО РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ОСТРЫХ РАССТРОЙСТВ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА ПОРОСЯТ

Научная статья

Савельева Л.Н.^{1,*}, Бондарчук М.Л.², Куделко А.А.³

¹ ORCID: 0000-0002-9196-4731;

² ORCID: 0000-0002-4542-3344;

³ ORCID: 0000-0002-1980-3554;

^{1,2,3} Научно-исследовательский институт Ветеринарии Восточной Сибири - филиал Сибирского Федерального Научного Центра Агробиотехнологий, Чита, Россия

¹ Забайкальский аграрный институт-филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Чита, Россия

* Корреспондирующий автор (luba.saveleva[at]mail.ru)

Аннотация

С целью изучения некоторых иммуномодулирующих свойств нового растительного препарата были проведены доклинические исследования. Проведен анализ гематологических (лейкоцитов, эритроцитов, гемоглобина, тромбоцитов, гематокрита и др.) и биохимических (процентное соотношение альбуминов, α , β , γ – глобулинов) показателей крови кроликов. По результатам исследований установлено, что новый препарат достоверно увеличивает количество общего белка в сыворотке крови на 15,5 % и гамма глобулинов на 21,6 %.

Ключевые слова: экстракты, препарат, желудочно-кишечные расстройства, биохимия, гематология.

RESULTS OF PRE-CLINICAL STUDIES OF NEW MEDICAL PREPARATION UNDER DEVELOPMENT ON THE BASIS OF PLANT EXTRACTS FOR PREVENTION AND TREATMENT OF ACUTE DISEASES OF GASTROINTESTINAL TRACT OF PIGLETS

Research article

Savelieva L.N.^{1,*}, Bondarchuk M.L.², Kudelko A.A.³

¹ ORCID: 0000-0002-9196-4731;

² ORCID: 0000-0002-4542-3344;

³ ORCID: 0000-0002-1980-3554;

^{1,2,3} Scientific Research Institute of Veterinary Medicine of Eastern Siberia - Branch of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies, Chita, Russia;

¹ Transbaikal Agrarian Institute - Branch of the Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Chita, Russia

* Corresponding author (luba.saveleva[at]mail.ru)

Abstract

Pre-clinical studies were conducted to consider some immune-modulating properties of a new herbal preparation. The analysis of hematological (leukocytes, erythrocytes, hemoglobin, platelets, hematocrit, etc.) and biochemical (percentage ratio of albumin, α , β , γ - globulins) indicators of blood of rabbits was carried out. According to the results of the research, it was established that new preparation significantly increases the amount of total protein in the blood serum by 15.5% and gamma globulins by 21.6%.

Keywords: extracts, medical preparation, gastrointestinal disorders, biochemistry, hematology.

Актуальность

Несмотря на успехи ветеринарной и фармацевтической науки в лечении массовых гастроэнтеритов новорожденного молодняка с использованием биопрепаратов, комплексных вакцин, гипериммунных сывороток, пробиотиков, бактериальные гастроэнтериты новорожденных животных остаются проблемой требующей безотлагательного решения [7, С.11].

За последние годы отмечается увеличение числа желудочно-кишечных болезней молодняка свиней, обусловленных различными факторами [5, С. 143-144].

Учитывая, что этиологией являются микробы, вирусы, условно-патогенная микрофлора, применяется достаточное количество антибиотиков которые снижают резистентность растущего организма, поэтому актуальным и безопасным является применение фитопрепаратов [6, С. 58].

Цель исследований: провести доклинические исследования нового лечебно-профилактического препарата на основе сухих экстрактов растительного происхождения с иммуномодулирующими свойствами при острых расстройствах желудочно-кишечного тракта поросят. Были определены следующие задачи:

- провести гематологические исследования крови;
- изучить биохимические показатели в сыворотки крови (исследование общего белка и белковых фракций).

Материал и методы

Исследования проводились в НИИВ Восточной Сибири - филиале СФНЦА РАН.

Для изготовления препарата использовали сухие экстракты растительного происхождения: плоды лимонника - schisandra berry, плоды шиповника - surrexit coxis, плоды черемухи - cerasis fructus, цветы ромашки - pyrethri flores (отвар), корневище элеутерококка - rhizome de Siberian ginseng, пребиотик.

Краткая характеристика компонентов препарата:

Плоды лимонника – *schisandra berry* – с лечебной целью используют плоды и семена лимонника. В них содержатся флавоноиды, катехины, эфирное масло, схизандрин. Также в плодах содержатся витамины и минеральные соли. Экстракт лимонника оказывает тонизирующее действие на организм, повышает иммунитет.

Плоды шиповника – *surrexit coxis* – известно, что шиповник содержит большое количество аскорбиновой кислоты (или витамина С), витамины В, К, Р, каротин, железо, кальций, соли калия, фосфор, магний, марганец, и т. п.

Содержащийся в шиповнике каротин положительно сказывается на иммунитете организма. Кроме того, ягоды шиповника являются отличным бактерицидным средством.

Плоды черемухи – *cerasis fructus* – плоды отличаются содержанием аскорбиновой, яблочной и лимонной кислот, рутина, антоциана, флавоноидов, сахаров и эфирного масла. В растении присутствуют дубильные вещества, действие которых помогает снимать воспаление. Зрелые плоды черемухи оказывают закрепляющее действие при диарее, имеют бактерицидные свойства, насыщают организм витаминами, укрепляют иммунную систему [9, С. 2].

Цветы ромашки – *rugethri flores* – в идеальных пропорциях в цветах сочетаются бисаболл оксид и эфирное масло, кадинен, фарнезен, кумарин, холин, полисахариды, фитостерин, а также глицерид жирных кислот, ноиловую и изовалериановую кислоту. Этот цветок также имеет антибактериальные свойства благодаря наличию флавоноидов в её составе.

Корневище элеутерококка – *rhizome de Siberian ginseng* – элеутерококк по праву считается одним из самых сильных адаптогенов. Экстракт и другие препараты из данного растения помогают намного быстрее и легче адаптироваться к различным неблагоприятным факторам внешней среды. Элеутерококк показан после хронических заболеваний, а также он прекрасно восстанавливает иммунитет.

Пребиотики – способствуют нормализации кишечной микрофлоры, являются эффективной заменой антибиотикам. Пребиотики назначают для восстановления микрофлоры кишечника, при заболеваниях желудочно-кишечного тракта: запоры, диарея, ферментативная недостаточность; рецидивирующих инфекциях для нормализации иммунного статуса [10, С.7].

В перечне ветеринарных иммуностимулирующих препаратов пребиотики занимают важное место, которые способствуют защитных функций организма животных за счет конкурентного взаимодействия с секундарной микрофлорой кишечника, повышающие продуктивные качества свиней, профилактирующие дисбактериозы [3, С. 60].

Из вышеперечисленного растительного сырья нами были приготовлены экстракты. В качестве экстрагента применяли спирт различной концентрации - от 40 % до 70 процентов [3, С. 165].

Процесс экстрагирования включал следующие этапы:

1. Подготовка растительного сырья; 2. Подготовка экстрагента (водно-спиртовые смеси); 3. Получение первичной вытяжки; 4. Очистка вытяжки от балластных веществ; 5. Выпаривание; 6. Высушивание 7. Фасовка и упаковка. [3, С. 226].

Из полученных растительных экстрактов приготовлен новый экспериментальный лечебно-профилактический препарат. Определена его форма-раствор, действие, которого направлено на повышение иммунологических свойств при острых расстройствах желудочно-кишечного тракта животных.

Для апробации комплексного препарата были сформированы 3 группы по 10 животных в каждой группе в возрасте 2 месяца. Группа №1 – контроль (животным не задавали препараты, выпаивали кипяченую воду), группа №2 – опытная I животным задавали препарат №1 – ранее разработанный нами аналог, с интервалом 12 ч/сут), группа №3 опытная II (животным выпаивали разработанный препарат №2 – 2 раза в сутки с интервалом 12 ч по 3,5 мл).

Клинический статус животных находился в пределах физиологической нормы.

Перед началом опыта, и в ходе испытания препарата с интервалом 10 и 21 день, до кормления, был произведен отбор проб крови из краевой ушной вены в вакуумные системы забора крови Vacuette на морфологические исследования с консервантом К₂ЭДТА и биохимические исследования (на показатели: общий белок и процентное содержание белковых фракций) в пробирки с активатором свертывания. Лабораторные исследования проводились на гематологическом анализаторе PCE 90 Vet и биохимическом анализаторе Stat Fax 1904+ в лаборатории лабораторно-аналитических исследований и ГУ Забайкальская краевая ветеринарная лаборатория.

Характеристика определяемых показателей крови:

Иммуноглобулины – это антитела, которые вырабатываются клетками иммунной системы для уничтожения болезнетворных бактерий. Увеличение количества иммуноглобулинов наблюдается при активации иммунитета, то есть при вирусной и бактериальной инфекциях, а также при воспалении и разрушении тканей.

Альбумины и глобулины – это белки, которые имеются во всех клетках. На долю альбуминов приходится более половины белков плазмы крови.

Альбумины – белки относительно небольшой молекулярной массы (15-70 тыс. Это неспецифические переносчики. Они транспортируют гормоны, билирубин, лекарственные вещества, ионы кальция [7, С. 41-42].

Глобулины – белки с большей, чем альбумины молекулярной массой. Некоторые из глобулинов обладают способностью к специфическому связыванию веществ (специфические переносчики).

Содержание глобулинов увеличивается при хронических инфекционных процессах.

Результаты исследований: Морфологические и биохимические исследования крови дают возможность объективно оценить физиологическое состояние организма животных. Результат общего анализа крови показал, что применение комплексных препаратов №1 и №2 оказывает благоприятное влияние на содержание основных показателей крови (лимфоциты, гематокрит, гемоглобин).

Известно, что гемоглобин состоит из белка-глобина (на 98%) и гемма-небелковой части (2%) По нашим данным содержание гемоглобина в крови кроликов, во все дни опыта, в разных группах находился в пределах нормативного диапазона, средний показатель наблюдался при применении препарата №2 и составил 103 г/л.

Так же нами был определен цветовой показатель крови – это соотношение между количеством гемоглобина крови и числом эритроцитов, который позволяет определить степень насыщения эритроцитов гемоглобином. В наших

исследованиях средний показатель ЦП составил 18,4%. Что свидетельствует о нормальном физиологическом значении.

Средний показатель гематокритной величины во всех группах была приближена к нижнему порогу нормального значения от 32,24% до 35,48% (см. табл.1).

Таблица 1 – Гематологические показатели крови кроликов (n=30)

Гематологические показатели	Нормативный диапазон	Группа		
		№1	№2	№3
Лейкоциты (WBC, 10^9 г/л)	3-11,5	4,91	3,82	4,76
Лимфоциты (LYM, 10^9 г/л)	2-9,1	4,30	3,05	3,10
Моноциты, эозинофилы (MID, 10^9 г/л)	-0,5	0,68	0,07	0,43
Гранулоциты (GRA, 10^9 г/л)	0-2,8	0,07	0,71	1,43
% Лимфоцитов (LY, %)	55-98	87,7	79,8	65,2
% моноцитов, эозинофилов (MI, %)	0-6	13,8	1,7	4,8
Гранулоцитов (GR, %)	0-40	1,0	18,5	30,0
Эритроциты (RBC, 10^{12} г/л)	5-9	5,22	5,20	5,54
Гемоглобин (HGB, г/л)	127-163	95	96	103
Гематокрит (HCT, %)	36-50	32,24	33,73	35,48
Средний объем эритроцитов (MCV, fl)	57-70	62	65	64
Среднее содержание гемоглобина в эритроците (MCH, pg)	17,5-23,5	18,2	18,5	18,6
Средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах (MCHC г/л)	300-380	295	285	290
Тромбоциты (PLT, 10^9 г/л)	218-641	320	264	313

Белки в организме животного выполняют множество функций: поддерживают постоянство крови, принимают участие в процессах свертывания крови, входят в состав гормонов, ферментов, принимают участие в иммунных процессах. Нами было определено содержание в сыворотке крови общего белка, среднее значение которого составило при применении препарата №1 – $65,6 \pm 10,96$ и препарата №2 – $75,8 \pm 0,01$ г/л, а так же процентное отношение белковых фракций: альбумины, альфа, бета и гамма – глобулины. Процент γ -глобулинов - показатель белковых фракций сыворотки крови, особенно определяющий иммунологический статус организма животных (иммуноглобулины), при применении нового препарата показал результаты выше, чем у контрольной группы на 21,6 %.

Данные отражены на рис. 1.

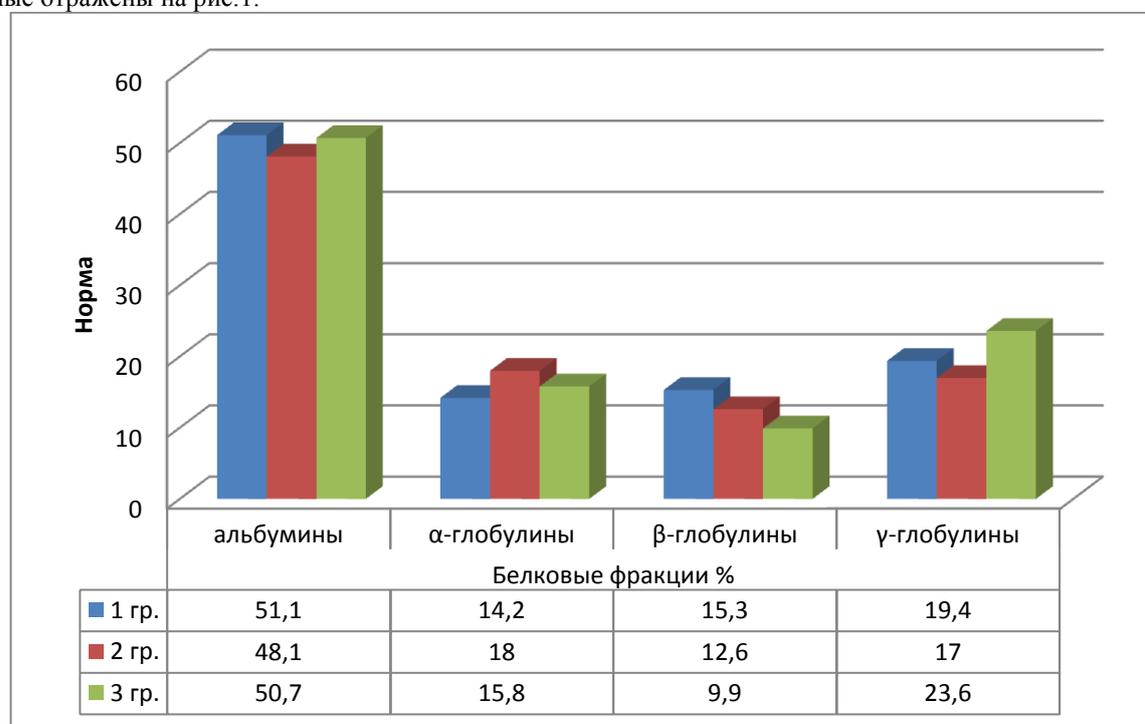


Рис. 1 – Показатели белковых фракций крови кроликов

Из диаграммы видно, что среднее содержание γ -глобулинов сыворотки крови кроликов в 1 опытной группе было выше чем, № 2 и № 3 и находятся в пределах физиологических норм.

Таким образом, результаты доклинических исследований нового комплексного фитопрепарата дают сделать вывод, что наибольшим иммуномодулирующим эффектом (на 21,6%) обладает препарат № 2.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Банный И. П. Фармакологический анализ лекарственного растительного сырья / И. П. Банный, М. М. Литвиненк и др. // Учебное пособие. - Х.: Золотые страницы, 2003. – 86 с.
2. Буяров В. С. Пробиотики и пребиотики в промышленном свиноводстве и птицеводстве / В. С. Буяров, И. В. Червонова, Н. И. Ярован и др. — Орёл: Изд-во ОрёлГАУ, 2014. — 164 с. — ISBN 978-5-93382-214-1.
3. Милованова Л. Н. Технология изготовления лекарственных форм / Л. Н. Милованова – Ростов на Дону: Медицина, 2002 - 448 с.
4. Лыснյанский М. В. Лекарственные растения тысячелетия / М. В. Лыснյанский // Провизор №19, октябрь 2004, С. 27-37.
5. Савельева Л. Н. Этиологические факторы острых расстройств желудочно-кишечного тракта у свиней на территории Забайкальского / Л. Н. Савельева, М. Л., Бондарчук, А. А. Куделко // Дальневосточный аграрный вестник - Благовещенск: 2017 - №3(43) С. 142-146.
6. Зирук И. В. Влияние комплекса микроэлементов на основе L- аспарагиновой кислоты на гематологические показатели и микрофлору кишечника подсвинков / И. В. Зирук // Ветеринарный врач, №1. 2013 С. 57-59.
7. Утянов А. М. Динамика гематологических показателей и белкового состава сыворотки крови кроликов под влиянием оварио-цитотоксической сыворотки / А. М. Утянов, М. М. Шахматов, Н. А. Заманбеков // Эффектив. методы диагностики и орг. леч.-профилактик. мероприятий при незараз. болезнях. – Алма-Ата, 1990. – С. 45–50.
8. Черёмина Н. А. Лейкоцитарная формула и ее значение для клиник: методические рекомендации / Н. А. Черёмина, К. А. Сидорова, О. А. Драгич. – Тюмень. – 2009. 39 с.
9. Соколова Н. В. Полезные свойства и применение плодов черемухи [Электронный ресурс] / Н. В. Соколова // Травник.-2008. С.1-2.-URL. https://www.ayzdorov.ru/tvtravnik_ceremyha.php (дата обращения: 03.09.2018).
10. Лэйн Д. Краткий словарь ветеринарных терминов [Электронный ресурс] / Д. Лэйн, С. Гудри // -2007.-С.37.-URL. <https://www.labyrinth.ru/books/588282/> (дата обращения: 22.09.2018).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bannyi I. P. Farmakologicheskii analiz lekarstvennogo rastitel'nogo syrya [Pharmacological Analysis of Medicinal Plant Materials] / I. P. Bannyi, M. M. Litvinenk // Study Guide. – X.: Golden Pages, 2003. – 86 p. [in Russian]
2. Buyarov V. S. Probiotiki i prebiotiki v promyshlennom svinovodstve i ptitsevodstve [Probiotics and Prebiotics in Industrial Pig and Poultry Farming] / V. S. Buyarov, I. V. Chervonova, N. I. Yarovan and others - Orel: Publishing House of OrelSAU, 2014. – 164 p. – ISBN 978-5-93382-214-1. [in Russian]
3. Milovanova L. N. Tehnologiya izgotovleniya lekarstvennykh form [Manufacturing Technology Dosage Forms] / L. N. Milovanova - Rostov-on-Don: Medicine, 2002 - 448 p. [in Russian]
4. Lysnyanskiy M. V. Lekarstvennye rasteniya tysyacheletiya [Medicinal Plants of the Millennium] / M. V. Lysnyanskiy // Provizor [Pharmacist] – No.19, October 2004, pp. 27-37. [in Russian]
5. Savelyeva L. N. Etiologicheskie faktory ostrykh rasstroystv zheludochno-kishechnogo trakta u svinei na territorii Zabaikalskogo kraya [Etiological Factors of Acute Gastrointestinal Disorders in Pigs in the Territory of Transbaikal] / L. N. Savelyeva, M. L. Bondarchuk, A. A. Kudelko // Far Eastern Agrarian Bulletin – Blagoveshchensk: 2017 – No.3 (43) pp. 142-146. [in Russian]
6. Ziruk I. V. Vliyaniye kompleksa mikroelementov na osnove L-asparaginovoi kisloty na gematologicheskie pokazately i mikrofloru kishchnika podsvinkov [Effect of Complex Microelements based on L-aspartic Acid on Hematological Indicators and Gut Microflora] / I. V. Ziruk // Vetirearniy vrach [Veterinarian], No.1. 2013. P. 57-59. [in Russian]
7. Utyanov A. M. Dinamika gematologicheskikh pokazatelei i belkovogo sostava syvorotki krovi krolikov pod vliyaniem ovario-tsitotoksicheskoi syvorotki [Dynamics of Hematological Parameters and Protein Composition of Blood Serum of Rabbits under Influence of Ovario-Cytotoxic Serum] / A. M. Utyanov, M. M. Shakhmatov, N. A. Zamanbekov // Effektiv. metody diagnostiki i org. lech.-profilakt. meropriyatiy pri nezaraz. boleznyakh [Effective Diagnostic Methods and Org. of Treat. and Prev. Measures for Non-infectious Diseases]. – Al \ma-Ata, 1990. – P. 45–50. [in Russian]
8. Cheryomina N. A. Leikotsitarnaya formula i ee znachenie dlia klinik: metodicheskie rekomendatsii [Leukocyte Formula and its Value for Clinics: Guidelines] / N. A. Cheryomina, K. A. Sidorova, O. A. Dragich and others – Tyumen. – 2009. – 39 p. [in Russian]
9. Sokolova N. V. Poleznye svoystva i primeneniye plodov cheremukhi [Useful Properties and Use of Bird Cherry] [Electronic resource] / N. V. Sokolova // Travnik. – 2008. P.1-2.-URL. https://www.ayzdorov.ru/tvtravnik_ceremyha.php (accessed: 03.09.2018). [in Russian]
10. Lane D. Kratkii slovar veterinarnykh terminov [Concise Dictionary of Veterinary Terms] [Electronic resource] / D. Lane, S. Goodry // - 2007.- P.37.-URL. <https://www.labyrinth.ru/books/588282/> (accessed: 22.09.2018). [in Russian]