

**АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
«ACADEMY OF NATURAL HISTORY»**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**INTERNATIONAL
JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL
RESEARCH**

Журнал основан в 2007 году
The journal is based in 2007
ISSN 1996-3955

Двухлетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,520

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,259

№ 5 2023

Научный журнал
Scientific journal

Журнал International Journal of Applied and Fundamental Research (Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований) зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС 77-60735.

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru
The electronic version takes places on a site www.rae.ru

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
к.м.н. *Н.Ю. Стукова*
Ответственный секретарь
к.м.н. *М.Н. Бизенкова*

EDITOR
Natalia Stukova
Senior Director and Publisher
Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.б.н., проф. Абдуллаев А. (Душанбе); к.б.н. Алиева К.Г. (Махачкала); д.х.н., к.ф.-м.н., проф. Алоев В.З. (Чегем-2); д.б.н., проф. Андреева А.В. (Уфа); к.географ.н., доцент Аничкина Н.В. (Липецк); к.ф.-м.н. Барановский Н.В. (Томск); д.б.н., доцент Белых О.А. (Иркутск); д.т.н., проф. Бурмистрова О.Н. (Ухта); д.т.н., доцент Быстров В.А. (Новокузнецк); д.м.н., проф. Гарбуз И.Ф. (Тирасполь); д.ф.-м.н., проф. Геворкян Э.А. (Москва); д.х.н., проф. Гурбанов Г.Р. (Баку); д.ветеринар.н., доцент Ермолина С.А. (Киров); к.т.н. Есенаманова М.С. (Атырау); к.ф.-м.н., д.п.н., проф. Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.м.н. Жураковский И.П. (Новосибирск); д.т.н., доцент Ибраев И.К. (Темиртау); к.т.н., доцент Исмаилов З.И. (Баку); д.б.н., с.н.с. Кавцевич Н.Н. (Североморск); д.т.н., проф. Калмыков И.А. (Ставрополь); д.б.н. Кокорева И.И. (Алматы); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); к.б.н., доцент Коротченко И.С. (Красноярск); к.с.-х.н., доцент Кряжева В.Л. (Нижний Новгород); д.ф.-м.н., доцент Кульков В.Г. (Волжский); д.б.н. Ларионов М.В. (Балашов); д.б.н., к.с.-х.н., доцент Леонтьев Д.Ф. (Иркутск); д.географ.н., к.б.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., с.н.с. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Несветаев Г.В. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н. Никитин С.Н. (п. Тимирязевский); д.фарм.н., доцент Олешко О.А. (Пермь); д.с.-х.н., с.н.с., проф. Партоев К. (Душанбе); к.п.н., доцент Попова И.Н. (Москва); д.т.н., проф. Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.м.н., с.н.с., доцент Розыходжаева Г.А. (Ташкент); д.г.-м.н. Сакиев К.С. (Бишкек); д.т.н., проф. Сугак Е.В. (Красноярск); д.ветеринар.н., проф. Трефилов Б.Б. (Санкт-Петербург); к.т.н., доцент Хайдаров А.Г. (Санкт-Петербург); д.м.н., проф. Чарышкин А.Л. (Ульяновск); д.географ.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.б.н., проф. Шалпыков К.Т. (Бишкек); к.х.н. Шарифуллина Л.Р. (Москва); д.п.н., проф. Щирин Д.В. (Санкт-Петербург)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals directory» в целях информирования мировой научной общественности.

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны и является рецензируемым.

Журнал представлен в НАУЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКЕ (НЭБ) –
головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ) и имеет импакт-фактор Российского индекса научного
цитирования (ИФ РИНЦ).

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,520.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,259.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя: 410056, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56

ISSN 1996-3955

Тел. редакции – 8-(499)-704-13-41

Факс (845-2)-47-76-77

E-mail: edition@rae.ru

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Е.Н. Доронкина

Корректор Е.С. Галенкина, Н.А. Дудкина

Подписано в печать – 31.05.2023

Дата выхода номера – 30.06.2023

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 8,5

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2023/5

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

- ИНТЕНСИВНОСТЬ ТРАНСПИРАЦИИ У ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ
В ЧУЙСКУЮ ДОЛИНУ КЫРГЫЗСТАНА ФОРМ И СОРТОВ АЛЫЧИ
Албанов Н.С. 5
- НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЭПИФИТНОМ ЛИШАЙНИКЕ
HYROGYMNA RHYSODES В СРЕДНЕТАЕЖНОМ СОСНЯКЕ
Катаева М.Н., Беляева А.И. 11
- ВЫДЕЛЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ
СОЛЕТОЛЕРАНТНЫХ БАКТЕРИЙ ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ РОСТА СОИ
Смирнова И.Э., Баймаханова Г.Б., Файзулина Э.Р., Татаркина Л.Г., Спанкулова Г.А. 18

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

- СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
И ОТДЕЛЬНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ СВЕТОВОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ
Зубарева Г.М., Суханова А.Д. 24
- ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
У БОЛЬНЫХ С COVID-19
Саркина А.К., Мукамбеткеримова Г.М., Джумагулова А.Ш., Эргешова А.Б. 29
- ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕРАПИИ МОНООКСИДОМ АЗОТА С УРОВНЯМИ
БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ И
ПЕРИТОНЕАЛЬНОМ ЭКССУДАТЕ У КРЫС С ЭШЕРИХИОЗНЫМ ПЕРИТОНИТОМ
Чукарев В.С., Жидовинов А.А., Луцева О.А., Коханов А.В., Сайдулаев В.А., Голубкина С.А. 35

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

- ПОСЛЕДСТВИЯ ПАНДЕМИИ COVID-19 ДЛЯ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ
И КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ
*Садертдинова А.Г., Валиуллина Л.А., Валеева Г.А., Минуллина А.А., Давыденко В.Д.,
Салатов Я.С., Дускаева Я.Ш., Султанова Э.И., Асфандиярова И.В.* 40

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

- ДИНАМИКА ПАТЕНТНОЙ АКТИВНОСТИ МАЛЫХ ГРУПП АВТОРОВ ПО
НАПРАВЛЕНИЮ «СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ» С 2017 ПО 2022 ГОДЫ
Никонова В.Г., Криштон В.В. 45

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

- ПОСТРОЕНИЕ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ
ВОЛЬТЕРРА ПЕРВОГО РОДА
Зуллукаров Ж.А., Алиева Ж.А. 52
- ПРИЧИНЫ АННИГИЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОНА И ПОЗИТРОНА
Карякин А.В., Карякина И.В. 61

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

ARTICLES

- TRANSPIRATION INTENSITY IN CHERRY PLUM FORMS AND VARIETIES
INTRODUCED INTO THE CHUI VALLEY OF KYRGYZSTAN
Albanov N.S. 5
- ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN EPIPHYTIC LICHEN
HYPOGYMNIA PHYSODES IN PINE FOREST OF THE MIDDLE TAIGA
Kataeva M.N., Belyaeva A.I. 11
- ISOLATION AND IDENTIFICATION OF PHOSPHATE SOLUBILIZING
SALT TOLERANT BACTERIA FOR STIMULATING OF SOYBEAN GROWTH
Smirnova I.E., Baimakhanova G.B., Faizulina E.R., Tatarkina L.G., Spankulova G.A. 18

MEDICAL SCIENCES

ARTICLES

- COMPARATIVE CHARACTERIZATION OF CHEMICAL COMPOSITION
AND SELECTED PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES
OF MODERN LIGHT-CURING COMPOSITE MATERIALS
Zubareva G.M., Sukhanova A.D. 24
- CHARACTERISTICS OF HEMATOLOGICAL PARAMETERS
IN PATIENTS WITH COVID-19
Sarkina A.K., Mukambetkerimova G.M., Djumagulova A.S., Ergeshova A.B. 29
- RELATIONSHIP OF NITRIC MONOXIDE THERAPY WITH LEVELS
OF BIOCHEMICAL PARAMETERS IN BLOOD SERUM AND PERITONIAL
EXSUDATE IN RATS WITH ESCHERICHIOUS PERITONITIS
Chukarev V.S., Zhidovinov A.A., Lutseva O.A., Kokhanov A.V., Saidulaeva V.A., Golubkina C.A. 35

REVIEW

- THE CONSEQUENCES OF THE COVID-19 PANDEMIC ON MENTAL
HEALTH AND IMPLICATIONS CLINICAL PRACTICE
*Sadertdinova A.G., Valiullina L.A., Valeeva G.A., Minullina A.A., Davydenko V.D.,
Salatov Ya.S., Duskaeva Ya.Sh., Sultanova E.I., Asfandiyarova I.V.* 40

ARCHITECTURE

ARTICLE

- DYNAMICS OF PATENT ACTIVITY OF SMALL GROUPS OF AUTHORS
IN THE FIELD OF «AGRICULTURAL SCIENCES» FROM 2017 TO 2022
Nikonorova V.G., Chrishtop V.V. 45

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

ARTICLES

- CONSTRUCTION OF A REGULARIZATION OF THE SOLUTION
FOR AN EQUATION VOLTERRA OF THE FIRST KIND
Zulpukarov Zh.A., Alieva Zh.A. 52
- CAUSES OF ELECTRON AND POSITRON ANNIHILATION
Karyakin A.V., Karyakina I.V. 61

СТАТЬИ

УДК 634.22(575.2)

ИНТЕНСИВНОСТЬ ТРАНСПИРАЦИИ У ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В ЧУЙСКУЮ ДОЛИНУ КЫРГЫЗСТАНА ФОРМ И СОРТОВ АЛЫЧИ

Албанов Н.С.

Ботанический сад им. Э. Гарева Национальной академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, e-mail: albanov.69@mail.ru

Приводятся результаты изучения летней транспирации у 17 интродуцированных сортов алычи из коллекции Ботанического сада Национальной академии наук Кыргызской Республики. Приведены результаты интродукции алычи дикорастущей и культурных сортов. Исследование интенсивности транспирации интродуцентов алычи различного происхождения как важного физиологического процесса имеет существенное значение в целях оценки степени их пригодности для производства и селекционного использования в Кыргызстане. Ранее проведенные исследования показали, что интенсивно транспирирующие сорта алычи, выращиваемые в условиях орошения, хорошо выдерживают жаркие, засушливые природно-климатические условия в Чуйской долине, приносят обильные урожаи высококачественных плодов. Исследования дневного хода транспирации показали, что интенсивность транспирации у большинства сортов алычи максимально высокая с утра или в полдень и спадает к вечеру, образуя однопиковую кривую. У некоторых сортов интенсивность транспирации с утра резко снижается к полудню и повышается к вечеру с образованием двухпиковых кривых, а именно у сортов: Малиновая, Аштаракская 2, Путешественница, Шатер, Румяная зорька. Премьера. Высокое положение по среднемесячной интенсивности транспирации занимают сорта: Румяная зорька, Путешественница, Аштаракская 2, Рубиновая, Лавина, Глобус, Вилора, Десертная, Комета поздняя. Среднее положение по значению занимают сорта: Южная красавица, Премьера, Сестренка, Шатер. Нижнее положение установлено у сортов: Малиновая, Крупная красная. Высокие значения амплитуды колебаний интенсивности транспирации с лабильным типом выделены у сортов: Согдийская желтая, Румяная зорька, Рубиновая, Лавина, Комета поздняя, Южная красавица, Десертная, Персидская. Средние значения амплитуды колебаний, с умеренно лабильным типом интенсивности транспирации, выделены у сортов: Аштаракская 2, Сестренка, Глобус, Премьера, Шатер, Вилора, Путешественница. Низкие значения амплитуды колебаний, со стабильным типом интенсивности транспирации, имеют сорта: Крупная красная, Малиновая.

Ключевые слова: интродукция, алыча согдийская, сорта алычи, летняя транспирация, экологические и биотические факторы среды

TRANSPIRATION INTENSITY IN CHERRY PLUM FORMS AND VARIETIES INTRODUCED INTO THE CHUI VALLEY OF KYRGYZSTAN

Albanov N.S.

Botanical Garden named after E. Gareev of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, e-mail: albanov.69@mail.ru

The results of the study of summer transpiration in 17 introduced varieties of cherry plum from the collection of the Gareev Botanical Garden of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic are presented. The results of the introduction of wild-growing cherry plum and cultivars are presented. The study of the intensity of transpiration of cherry plum introducers of various origins, as an important physiological process, is essential for assessing the degree of their suitability for production and breeding use in Kyrgyzstan. Our studies have shown that intensively transpiring varieties of cherry plum grown under irrigation can withstand hot, arid natural and climatic conditions in the Chui Valley and bring abundant harvests of high-quality fruits. Studies of the diurnal course of transpiration showed that the intensity of transpiration, in most varieties of cherry plum, is highest in the morning, or at noon, and decreases in the evening, forming a single peak curve. In some varieties, IT sharply decreases in the morning by noon and rises in the evening, with the formation of two peak curves: Crimson, Ashtaraksкая 2, Traveler, Shater, Ruddy Dawn, Premiere. A high position in the average monthly intensity of transpiration is occupied by the following varieties: Ruddy Zorka, Traveler, Ashtaraksкая 2, Rubinovaya, Lavina, Globus, Vilora, Dessertnaya, Late Comet. The average position in IT is occupied by varieties: Southern Beauty, Premiere, Sister, Shater. The lower position in IT is occupied by varieties: Raspberry, Large red. High values of the amplitude of fluctuations of IT with a labile type, varieties are distinguished: Sogdian yellow, Rudy Zorka, Rubinovaya, Avalanche, Comet late, Southern beauty, Dessertnaya, Persian. The average values of AF, with a moderately labile type of IT, varieties were distinguished: Ashtaraksкая 2, Sister, Globus, Premiere, Shater, Vilora, Traveler. Low AF values, with a stable IT type, are characteristic of the varieties Krupnaya Krasnaya and Malinovaya.

Keywords: Sogdian cherry plum, cherry plum varieties, summer transpiration, ecological and biotic environmental factors

Одним из интереснейших представителей рода *Prunus* является алыча *Prunus cerasifera Ehrh.* В природе она занимает обширный ареал, простирающийся от Средней Азии через Кавказ и Малую Азию до Балканского полуострова. В Кыргызской Республике алыча представлена подви-

дом *Prunus sogdiana Vass.* [1]. В настоящее время наибольшее формовое разнообразие алычи согдийской наблюдается на лесных территориях Южного Кыргызстана, где она в изобилии произрастает в орехово-плодовых лесах. В культуре алыча согдийская распространилась повсеместно и исполь-

зается населением в пищу в свежем виде, при изготовлении различных продуктов переработки, а также как подвой для сливы домашней. До настоящего времени селекционное улучшение алычи в Кыргызской Республике проводилось в небольшом объеме. В настоящее время в Кыргызской Республике районированы такие сорта гибридной алычи, как: Десертная, Лето, Малиновая, Обильная, Фиолетовая десертная, Южная красавица [2]. Родина алычи – регионы с засушливым климатом (Средняя Азия, Кавказ, Иран, Турция, Балканский полуостров), поэтому культура засухоустойчива и превосходит по этому признаку черешню и сливу, но немного уступает абрикосу и персику. Алыча характеризуется наиболее высокой транспирацией, низкой водоудерживающей способностью, невысоким содержанием воды в листьях. Дневной ход транспирации алычи колеблется, даже если влажность почвы высокая. К концу вегетации транспирация снижается [3].

Одним из показателей водного режима растений является интенсивность транспирации (ИТ), под которой понимают количество воды, испаряемое листьями за единицу времени с единицы листовой поверхности. Процесс транспирации зависит от структурных показателей растений, фазы развития, а также от изменения факторов среды. К важнейшим функциональным характеристикам транспирации наряду с транспортом питательных веществ относится защита растений от перегрева [3]. Отрицательное значение перегрева, происходящего в результате ослабления интенсивности транспирации, указывает, что длительный перегрев вызывает глубокие нарушения в обмене веществ. Роль транспирации особенно велика для древесных растений юга, которые в течение сравнительно длительного срока вегетации испытывают губительное действие высокой температуры. Охлаждение ассимилирующей поверхности растений в знойные дни усиленной транспирацией оказывает положительное влияние и на фотосинтетическую деятельность растений. С ее помощью происходит передвижение веществ, синтезируемых корневой системой, воды и элементов минерального питания к точкам роста растений. Транспирация является генотипическим и видовым показателем, поскольку отражает экологические особенности организации вида.

Изучению транспирации посвящены работы многих исследователей. Установлено, что ее величина зависит от биологических особенностей организма и внешних факторов: солнечной радиации, температуры воздуха, влажности воздуха и почвы, силы ветра.

Цели исследования – изучение интенсивности летней транспирации интродуцированных в Чуйскую долину форм и сортов алычи согдийской (*Prunus cerasifera Ehrh*) в дневной и сезонной динамике и классификация их по лабильности протекания водного режима.

Материал и методы исследования

Материалом для исследований служили 17 форм и сортов алычи согдийской, выращиваемых в условиях Чуйской долины Кыргызстана. Интенсивность летней транспирации у сортов алычи, гибридных по своему происхождению, интродуцированных из Узбекистана, Крыма, Северного Кавказа, изучали по методике Г.А. Евтушенко в модификации Л.А. Шпоты [4]. Транспирацию определяли в течение наиболее жаркого и засушливого периода лета – июль, август через каждые 15 дней. Замеры производили утром, в полдень и вечером, транспирометры помещали на средние листья кольчаток, расположенных с южной стороны кроны дерева.

Результаты исследования и их обсуждение

Ранее авторами статьи также были установлены некоторые сведения по засухоустойчивости интродуцированных сортов алычи согдийской [5]. Данные исследования дневного хода транспирации показали, что дневной ход интенсивности транспирации у сортов алычи резко различается (табл. 1): максимально высокая с утра, с образованием одной пиковой кривой у сортов: Румяная зорька, Согдийская желтая, Комета поздняя, Сестренка, Аштаракская 2, Персидская, Рубиновая, Лавина, Премьера, Шатер. Максимально высокая ИТ отмечается в полдень и спадает к вечеру, образуя однопиковую кривую у сортов: Путешественница, Глобус, Вилора, Южная красавица, Крупная красная, Десертная. У некоторых сортов ИТ резко снижается к полудню и повышается к вечеру, с образованием двухпиковых кривых, что отмечалось у сортов: Малиновая, Аштаракская 2, Путешественница, Шатер, Румяная зорька и Премьера.

Интенсивность транспирации свидетельствует о степени влагообеспеченности: если растения плохо обеспечены водой, активная транспирация отмечается в утренние часы и дневной ход интенсивности транспирации имеет вид одновершинной, резко ниспадающей кривой. В оптимальных условиях влагообеспеченности максимальная ИТ приходится на полуденные часы.

Таблица 1

Среднемесячная интенсивность дневной транспирации у алычи
(мг/час дм. квадрат)

№	Сорт	Месяц	Часы наблюдений		
			8.00	13.00	18.00
1	Румяная зорька	июль	5463	2909	1590
		август	3091	2727	3318
2	Согдийская желтая	июль	6927	3091	2727
		август	–	–	–
3	Комета поздняя	июль	4409	3272	1997
		август	5454	1817	2726
4	Сестренка	июль	4045	3500	2045
		август	3364	3364	2545
5	Путешественница	июль	4545	5545	4090
		август	2664	2273	5245
6	Шатер	июль	4091	4000	2636
		август	2182	3091	2636
7	Аштаракская 2	июль	5484	5151	2788
		август	3563	4145	3581
8	Персидская	Июль	627	4273	3818
		август	–	–	–
9	Рубиновая	июль	5545	3091	2273
		август	2636	4091	1818
10	Лавина	июль	5454	3454	1545
		август	3908	4726	2000
11	Глобус	июль	3273	5182	4454
		август	3635	1818	3635
12	Премьера	июль	4727	4545	2636
		август	4545	3635	4545
13	Вилора	июль	3273	3545	2636
		август	5273	3364	2817
14	Южная красавица	июль	1209	4000	3454
		август	4726	4817	2545
15	Малиновая	июль	3273	2545	3454
		август	2182	2091	1910
16	Крупная красная	июль	3182	3364	2273
		август	2091	2364	2000
17	Десертная	июль	2727	5000	2454
		август	5494	3091	3091

Из числа сортов с максимальной интенсивностью транспирации (табл. 2): высокое положение занимают сорта с ИТ от 6927 до 5000 мг/час дм. квадрат. К данным сортам относятся: Согдийская желтая, Румяная зорька, Путешественница, Аштаракская 2, Персидская, Рубиновая, Лавина,

Глобус, Вилора, Десертная, Комета поздняя. Среднее положение занимают сорта с ИТ от 4817 до 3000 мг/час дм. квадрат: Южная красавица, Премьера, Сестренка, Шатер. Нижнее положение занимают такие сорта, как Малиновая, Крупная красная, имеющие ИТ от 3000 мг/час дм. квадрат.

Таблица 2

Максимальные значения средневневной интенсивности транспирации сортов алычи
(мг/час дм. квадрат)

№ п/п	Название сорта	Максимум		Минимум	
		июль	август	июль	август
1	Согдийская желтая	6927	–	2727	–
2	Персидская	6273	–	3818	–
3	Румяная зорька	5463	3318	1590	2727
4	Аштаракская 2	5484	4145	2788	3563
5	Рубиновая	5545	4091	2273	1818
6	Лавина	5454	4726	1545	2000
7	Премьера	4727	4545	2636	3635
8	Путешественница	5545	5245	4090	2273
9	Комета поздняя	4409	5454	1997	1817
10	Сестренка	4045	3364	2045	2545
11	Шатер	4091	3091	2636	2182
12	Глобус	5182	3635	3273	1818
13	Вилора	3545	5273	2636	2817
14	Малиновая	3454	2182	2545	1910
15	Десертная	5000	5494	2454	3091
16	Южная красавица	4000	4817	1209	2545
17	Крупная красная	3364	2364	2273	2000

Таблица 3

Среднемесячная амплитуда колебаний интенсивности транспирации сортов алычи
(мг/час дм. квадрат)

№	Сорт	Амплитуда среднемесячная		Сезонная амплитуда
		июль	август	
1	Румяная зорька	3873	364	2118
2	Комета поздняя	2412	3637	3024
3	Сестренка	2000	819	1409
4	Путешественница	455	2972	1713
5	Шатер	1455	909	1180
6	Аштаракская 2	2696	582	1639
7	Персидская	2455		
8	Рубиновая	3272	2273	2772
9	Лавина	3909	2726	1186
10	Глобус	1909	1817	1863
11	Премьера	2091	910	1500
12	Вилора	909	2456	1682
13	Комета поздняя	1091	3637	2364
14	Южная красавица	2791	2272	2531
15	Малиновая	909	272	590
16	Крупная красная	1091	364	727
17	Десертная	2546	2403	2474

Из числа сортов с максимальной интенсивностью транспирации (табл. 2) самое высокое положение занимают сорта с ИТ от 6927 до 5000 мг/час дм. квадрат: Согдийская желтая, Румяная зорька, Путешественница, Аштаракская 2, Персидская, Рубиновая, Лавина, Глобус, Вилора, Десертная, Комета поздняя. Среднее положение установлено у сортов Южная красавица, Премьера, Сестренка, Шатер с ИТ от 3000 до 4817 мг/час дм. квадрат. Нижнее значение зафиксировано у сортов Малиновая и Крупная красная (ИТ от 3000 мг/час дм. квадрат).

Сорта с минимальной интенсивностью транспирации: сортов с высоким значением ИТ нет. Это указывает о том, что все изученные сорта имеют высокий запас засухоустойчивости по показателям ИТ. Оказалось, что среднее значение ИТ, до 3000 мг/час дм. квадрат, у сортов Путешественница, Персидская, Глобус, Аштаракская 2, Премьера, Десертная. Это указывает на относительно среднюю засухоустойчивость.

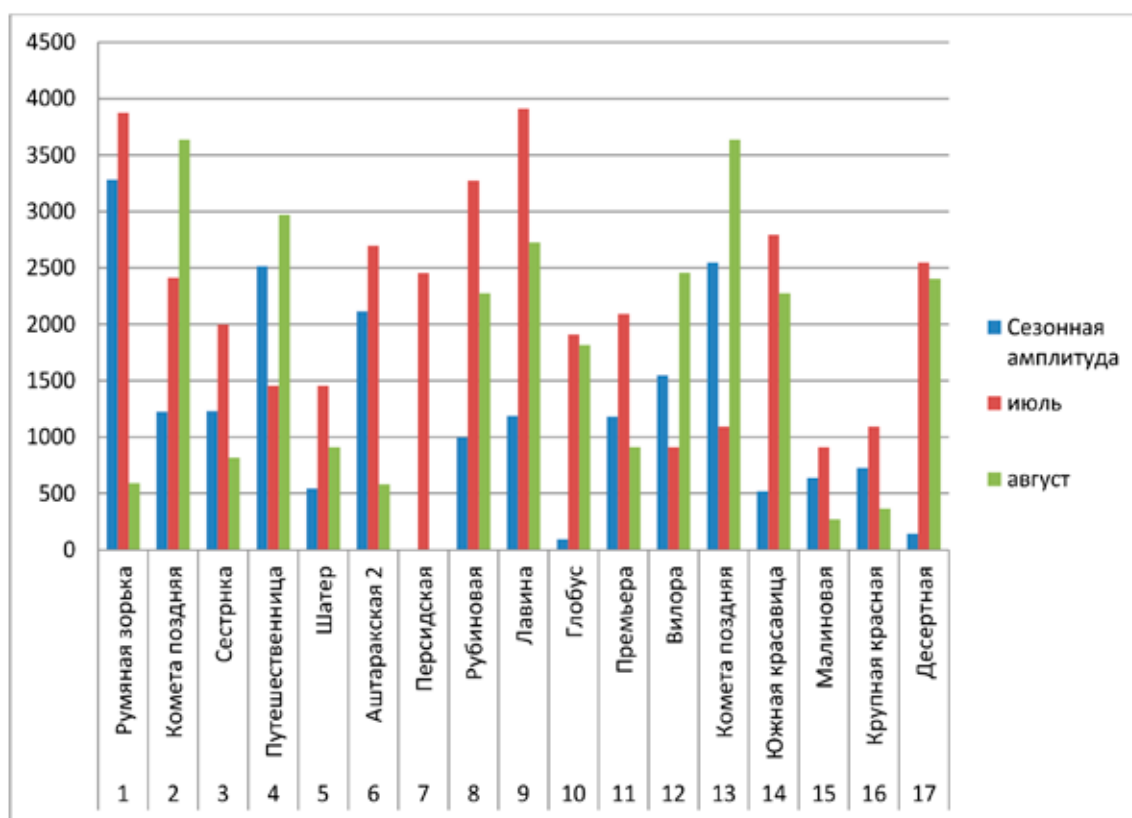
Также нам было интересно изучить амплитуды колебаний ИТ, так как этот показатель указывает на толерантность сортов к климатическим факторам, в частности к засухоустойчивости. В таблице 3 пред-

ставлены данные среднемесячной амплитуды колебаний ИТ сортов алычи. Их можно распределить на 3 группы: с лабильным типом, умеренно лабильным типом и стабильным типом транспирации.

К лабильному типу относят следующие сорта алычи с высоким значением среднемесячной амплитуды колебаний ИТ и степенью подвижности – гидролабильности от 2118 до 3317 мг/час дм квадрат: Согдийская желтая, Румяная зорька, Рубиновая, Лавина, Комета поздняя, Южная красавица, Десертная, Персидская.

Средние значения месячной амплитуды колебаний ИТ указывают на лабильность реагирования на изменения факторов среды (рисунок). Умеренно лабильный тип характерен для сортов алычи с подвижной кривой степени подвижности – гидролабильности: от 1180 до 1863 мг/час дм. квадрат: Аштаракская 2, Сестренка, Глобус, Премьера, Шатер, Вилора, Путешественница.

Нижние значения среднемесячной амплитуды колебаний ИТ – стабильный тип сортов алычи, характеризуют гидростабильный тип водного обмена: от 590 до 727 мг/час дм. квадрат: Крупная красная, Малиновая.



Средние значения сезонной амплитуды колебания интенсивности транспирации интродуцированных сортов алычи в июле и августе

Заключение

Научные основы селекции абрикоса и алычи для засушливых климатических зон обсуждаются в современной научной литературе [6].

Исследование интенсивности транспирации интродуцентов алычи различного происхождения как важного физиологического процесса имеет существенное значение для оценки степени их пригодности для производства и селекционного использования в Кыргызстане.

Таким образом, наши исследования показали, что интенсивно транспирирующие сорта алычи, выращиваемые в условиях орошения, хорошо выдерживают жаркие, засушливые природно-климатические условия в Чуйской долине, приносят обильные урожаи высококачественных плодов. Исследования дневного хода транспирации показали, что интенсивность транспирации (ИТ) у большинства сортов алычи максимально высокая с утра или в полдень и спадает к вечеру, образуя однопиковую кривую. У некоторых сортов ИТ с утра резко снижается к полудню и повышается к вечеру с образованием двухпиковой кривой: Малиновая, Аштаракская 2, Путешественница, Шатер, Румяная зорька, Премьера. Высокое положение по среднемесячной интенсивности транспирации занимают сорта: Румяная зорька, Путешественница, Аштаракская 2, Рубиновая, Ла-

вина, Глобус, Вилора, Десертная, Комета поздняя. Среднее положение по ИТ занимают сорта: Южная красавица, Премьера, Сестренка, Шатер. Нижнее положение по ИТ занимают сорта: Малиновая, Крупная красная. Высокие значения амплитуды колебаний ИТ с лабильным типом имеют сорта: Согдийская желтая, Румяная зорька, Рубиновая, Лавина, Комета поздняя, Южная красавица, Десертная, Персидская. Средние значения АК, с умеренно лабильным типом ИТ, характерны для сортов: Аштаракская 2, Сестренка, Глобус, Премьера, Шатер, Вилора, Путешественница. Низкие значения АК, со стабильным типом ИТ, характеризуют сорта Крупная красная, Малиновая.

Список литературы

1. Ерёмин Г.В. Алыча. М.: Колос, 1969. 168 с.
2. Государственный реестр сортов и гибридов растений, допущенных к использованию на территории Кыргызской Республики. Бишкек, 2022. 50 с.
3. Шалпыков К.Т. Экологическая толерантность галоксерофитов каменистых гаммад Иссык-Кульской котловины. Бишкек, 2013. 140 с.
4. Шпота Л.А. Полевые методы и приборы для изучения физиологии сельскохозяйственных растений. Фрунзе, 1971. 79 с.
5. Албанов Н.С. Результаты интродукции алычи (*Prunus sogdiana* Vass.) в Чуйскую долину Кыргызстана // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 2. С. 24-28.
6. Горина В.М. Научные основы селекции абрикоса и алычи для Крыма и юга Украины: автореф. дис. ... докт. сельхоз. наук. Мичуринск-наукоград, 2014. 50 с.

УДК 574.472:582.29

**НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ЭПИФИТНОМ ЛИШАЙНИКЕ *HYPOGYMNINGIA PHYSODES*
В СРЕДНЕТАЕЖНОМ СОСНЯКЕ**

Катаева М.Н., Беляева А.И.

*Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук, Санкт-Петербург,
e-mail: mkmarikat@gmail.com*

Изучены концентрации микроэлементов в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Parmeliaceae) и его субстратах в лесных сообществах подзоны средней тайги на северо-востоке Ленинградской области. Содержание микроэлементов в лишайнике *H. physodes* изменяется в связи с влиянием крон форофитов, ели европейской, березы повислой, можжевельника и сосны. Содержание Mn в талломах лишайника на ветвях в кроне ели и на березе выше по сравнению с лишайниками на стволах сосны. Концентрации Mn в талломах лишайника в кронах молодых деревьев ели на живых ветвях до 1,9–4,4 раза выше, чем в кронах можжевельника и стволах сосны. Концентрации Zn в талломах лишайников на стволах березы в 1,5–2,0 раза более высокие по сравнению с местообитаниями на хвойных породах. По сравнению с хвоей ели, сосны и можжевельника, в *H. physodes* содержание микроэлементов выше (Cd в 6,4–11, Pb в 6,2–15, и Fe в 11,8–17 раз). В лишайнике выше концентрации Cd, чем в корке можжевельника, в 2,4 раза, и Cd гораздо выше в лишайнике, чем в сухих ветвях ели (в 4,4 раза). *H. physodes* накапливает больше тяжелых металлов, по сравнению с этими субстратами, с различиями Pb – 1,5–1,9, Fe 2,6–13 раза. В изученных фитоценозах в *H. physodes* определены низкие содержания тяжелых металлов.

Ключевые слова: эпифитные лишайники, средняя тайга, микроэлементы, *Hypogymnia physodes*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*

Работа выполнена по плановой теме НИР 2021–2023 гг. № 121032500047-1 «Растительность европейской части России и северной Азии: разнообразие, динамика и принципы организации».

**ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN EPIPHYTIC LICHEN
HYPOGYMNINGIA PHYSODES IN PINE FOREST OF THE MIDDLE TAIGA**

Kataeva M.N., Belyaeva A.I.

Komarov Botanical Institute RAS, Saint Petersburg, e-mail: mkmarikat@gmail.com

Concentrations of microelements in epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Parmeliaceae) and its substrates in the forest communities in the middle taiga subzone the North-East of the Leningrad Region have been studied. The content of chemical elements in lichen is changed under influence of phorophytes crowns, European spruce, silver birch, common juniper, and Scots pine. The lichen thalli growing on spruce branches and birch trunks contain higher concentration of Mn as compared to lichens on pine trunks. Concentration of Mn in lichen thalli on the living branches of young spruce crowns was higher up to 1.9–4.4 times than that in the juniper crown and on pine trunks. The content of Zn in lichen thalli on birch trunks was 1.5–2.0 times higher as compared to lichens in habitats on conifers. The concentration microelements in lichen *H. physodes* increases as compared to the needles of juniper, pine and spruce (Cd 6.4–to–11, Pb 6.2– to–15, and Fe 11.8– to–17 fold). The concentration of Cd in lichen higher to 2.4 fold than that in outer bark of juniper, and Cd is much higher in lichen (to 4.4 fold) than that of dry branches of spruce. *H. physodes* accumulates higher concentrations of metals than these substrates with differences: Pb – 1.5–to–1.9, Fe – 2.6–to–13 fold. In phytocenoses studied low concentrations of metals in *H. physodes* were found.

Keywords: epiphytic lichens, middle taiga, microelements, *Hypogymnia physodes*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*

The work was carried out on the planned research topic for 2021–2023. № 121032500047-1 "Vegetation of the European part of Russia and northern Asia: diversity, dynamics and principles of organization".

Лишайники – информативные и чувствительные объекты при исследованиях влияния промышленного загрязнения. В лесных фитоценозах в регионе северо-запада европейской части России сравнительно мало изучены уровень загрязнения и состояние эпифитных лишайников. Загрязнение тяжелыми металлами разных сред представляет собой результат антропогенной деятельности, такой как использование и переработка полезных ископаемых предприятиями цветной металлургии, химической промышленности, производство минеральных удобрений. Тяжелые металлы поступают в лес-

ные сообщества при осаждении аэрозолей, пыли, с осадками в растворенных соединениях, в том числе с дальним переносом выбросов. Промышленное загрязнение является лимитирующим фактором в распространении лишайников. Действие загрязнения как фактора внешней среды на состав лишайников более подробно изучено.

На лишайники влияют не только внешние ландшафтно-климатические условия, но и условия внутренней среды лесного сообщества. Как известно, атмосферные осадки переносят растворенные вещества, участвуют в минеральном обмене лесных

сообществ и в биогенных циклах элементов. При взаимодействии с кронами леса изменяется химический состав осадков. В них возрастает содержание органических веществ и неорганических ионов, изменяется кислотность. В пологе леса осадки задерживаются.

Известно, что для роста и развития лишайников важным условием является влагообмен с атмосферой и водный режим, фотосинтетическая активность, которые могут изменяться в разных типах леса. Ель европейская регулирует экологические факторы и способна к сильному преобразованию среды фитоценоза. Сообщества неоднородны по составу и строению. В среднетаежной подзоне древесный ярус лесных сообществ могут образовывать разные поколения. Представляет интерес изучение условий крон ели в зависимости от возраста, режима поступления и перераспределения осадков на состав эпифитных лишайников.

Возможность изучения влияния факторов среды и биотических условий на состав лишайников дает высокое разнообразие видов. В бассейне р. Свирь на северо-востоке Ленинградской области в ненарушенных лесных сообществах обнаружены редкие виды лишайников, получены данные по разнообразию видов [1–3]. Концентрации тяжелых металлов в лишайниках не установлены.

Техногенное влияние на леса на севере и северо-западе европейской части связано с поступлением кислых осадков и тяжелых металлов в твердой форме аэрозолей и в растворимой форме. Кислая реакция осадков способствует вымыванию химических элементов из хвои и листьев. При биоиндикации загрязнения тяжелыми металлами представляет интерес изучение содержания высокотоксичных Cd и Pb. В лишайниках на разных видах форофитов нужно оценить содержание Cd в связи со свойствами этого элемента, подвижности и токсичности при низких концентрациях и накопления биотой.

Известно, что более сложная возрастная и видовая структура древостоя лесного сообщества обуславливает большее видовое разнообразие лишайников. На березе возрастает число видов лишайников во влажных типах лесов. При типе кроны березы, собирающей осадки, интенсивный сток осадков по стволам может способствовать аккумуляции микроэлементов в лишайниках.

Цель исследования – определить содержание тяжелых металлов в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., сем. Parmeliaceae, в кроне на ели европейской в условиях соснового кустарничково-зеленомошного леса в подзоне средней тайги.

Материалы и методы исследования

Образцы эпифитного лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. собирали в двух сообществах: в сосняке кустарничково-зеленомошном, в дренированных условиях и в ельнике кустарничково-зеленомошном в июле – августе 2018 г. Район исследования – подзона средней тайги, северо-запад европейской части, в южной части Ладожско-Онежского перешейка, юго-восток побережья Ладожского озера, бассейн р. Свирь, северо-восток Ленинградской области, Лодейнопольский район. Высота над уровнем моря 24 м. Локальные источники атмосферного загрязнения в районе отсутствуют.

В сосняке кустарничково-зеленомошном древостой образован сосной обыкновенной *Pinus sylvestris* L., березой повислой *Betula pendula* Roth., елью *Picea abies* (L.) Karst. В подлеске – можжевельник обыкновенный, сосна, ель, береза. Возраст около 100–110 лет, без повреждения пожаром. В сосняке кустарничково-зеленомошном образцы эпифитных лишайников собирали непосредственно в кронах ели на живых охвоенных ветвях на высоте 1,30–1,50 м. В сосняке возраст ели определен по радиальным спилам оснований стволов. Ель – 70 и 35 лет, диаметр оснований стволов – 7,8–6,4 см, на 1,3 м – 6,0–4,4 см соответственно. Высота ели – 4,3 и 4,1 м. В сосняке лишайники собраны на гладкой корке стволов березы, диаметр на 1,3 м – 25–30 см. В ельнике кустарничково-зеленомошном в древесном ярусе – ель и береза с развитыми кронами.

Размер талломов *H. physodes* – 4–5 см. В местообитаниях лишайников собирали субстрат на двух-трех экземплярах вида форофита, пробы корки стволов и ветвей, листьев березы, хвои ели и можжевельника (текущего года и однолетней), сосны. На сосне образцы *H. physodes* и корку собирали с 20 деревьев, с диаметром стволов: на 1,3 м – 27 см, основания – 33 см. Диаметр стволов можжевельника – 2,9 и 11 см соответственно, h = 2,5 м. Образцы помещали в бумажные пакеты, сушили в лаборатории до воздушно-сухого веса, затем в термостате до постоянного веса (70 °C). Пробы озоляли при 450 °C в муфеле, золу растворяли при нагревании в 2N HCl, фильтровали через фильтр «синяя лента». Концентрации химических элементов определяли на АС Квант-АФА, Россия, в двух аналитических повторностях, с использованием государственных стандартных образцов. Данные обрабатывали в Microsoft Excel 2010.

Таблица 1

Средние концентрации металлов в лишайниках в сосняке и ельнике, мг/кг сухой массы

Тип	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Сосняк кустарничково-зеленомошный, крона молодых деревьев ели, ветви							
Живые с хвоей 70 лет	2,3±0,02	3,2±0,01	0,383±0,01	6,3±0,03	470±27	1054±17	69±4
Живые 35 лет	2,2±0,18	3,5±0,05	0,344±0,01	4,9±0,46	420±38	629±50	57±10
Среднее, крона молодых деревьев ели 35–70 лет, ветви							
Живые ветви	2,3±0,04	3,4±0,16	0,363±0,03	5,6±0,95	446±45	842±301	63±8
Сосняк кустарничково-зеленомошный, крона можжевельника							
Живые ветви	2,2±0,01	3,3±0,3	0,496±0,01	4,6±0,70	378±32	431±255	48±9
Сосняк кустарничково-зеленомошный							
Сосна, ствол	0,9±0,10	3,0±0,08	0,332±0,02	2,2±0,10	189±13	191±5	48±2
Береза, ствол	1,4±0,31	3,3±0,22	0,581±0,04	5,3±0,73	197±30	925±150	96±2
Ельник кустарничково-зеленомошный, в кронах ели							
Сухие ветви	1,5±0,7	2,9±0,7	0,244±0,06	5,2±2,8	290±97	525±150	47±17
Живые ветви	1,9±0,02	3,9±0,01	0,386±0,01	4,70±0,1	301±7	735±5	51±8

Результаты исследования и их обсуждение

Лишайник *H. physodes* заселяет свободный древесный субстрат одним из первых видов, что дает возможность оценить изменения концентраций в талломах на деревьях ели с установленным возрастом. Содержание химических элементов в лишайнике *H. physodes* изменяется на разных видах и типах субстратов. Концентрации Ni, Cu, Pb, Cd в лишайниках на разных форофитах, на живых охвоенных ветвях в кроне молодых деревьев ели довольно низкие, они являются фоновыми (табл. 1).

На живых ветвях ели с хвоей в талломах *H. physodes* в сосняке высокое содержание Mn – 842 мг/кг, что в 1,6 раза выше концентрации в лишайнике на сухих ветвях ели, 525 мг/кг. На живых ветвях в кроне ели, в сосняке и в ельнике, состав лишайника отличается мало. В особенности высокое содержание Mn (1054 мг/кг) в *H. physodes* на живых ветвях ели, в кроне молодой ели и на стволах березы сопоставимое количество – 735–925 мг/кг. На березе содержание Mn в талломе выше в 4,8 раза, чем на стволах сосны. Кроны березы в сосняке способствуют большему обогащению состава лишайника биогенными Mn и Zn. Концентрации Zn в *H. physodes* на стволах березы – 96 мг/кг, что в 2 и 1,5 раза выше,

по сравнению с содержанием на хвойных – 47–63 мг/кг. На видах хвойных и березе в *H. physodes* сильнее изменяются концентрации Mn и Zn, чем содержание более токсичных тяжелых металлов – Ni, Cu, Pb.

Более резкие изменения в составе лишайника обнаружены по содержанию биогенных элементов. По мере увеличения возраста ели, выше концентрации биогенного Mn, также Zn, и Cd, Fe, Pb (на 11–21%), что заметно и при небольшой выборке. На состав лишайника, вероятно, влияет возраст ели, прирост массы кроны, поступление осадков с большей поверхности хвои. Концентрация Mn в талломе выше на ели 70 лет.

На ствол сосны под кронами попадает относительно немного осадков, и сток по стволам более возрастает при сильных дождях. Слабое накопление микроэлементов в *H. physodes* на сосне связано с более сухими условиями, с вертикальным расположением местообитаний на стволах. Кроме этого, стволы сосны – это более освещенные местообитания. От действия светового стресса при интенсивном УФ-излучении в талломах лишайников защитную функцию выполняет пигмент меланин [4]. Механизмы эколого-физиологической адаптации лишайников направлены на максимальную фотосинтетическую активность компонентов. В благоприятных климатических условиях определены различия роста био-

массы талломов. Более интенсивный прирост обнаружен в благоприятных условиях у кустистых видов лишайников со светлой окраской талломов (*Usnea*, *Alectoria*), чем у вида более сухих местообитаний с темной окраской *Bryoria fuscescens* [5]. Экологическая приспособленность видов лишайников в сообществе оценивается на основе функциональных признаков. Морфологические особенности талломов лишайников тесно связаны с функциональными показателями, с водоудерживающей способностью талломов (WHC) и удельной массой (STM) [6].

Под полог леса к нижним ярусам поступают осадки, прошедшие сквозь кроны. В малонарушенных сообществах поступление Fe и Pb связано главным образом с выпадениями пыли, для Ni, Cu, Cd – более характерно в растворимой форме. При химическом анализе выявлено, что в лишайнике на живых ветвях в кроне ели и на сухих ветвях в нижней части кроны различается содержание Mn. Содержание микроэлементов в кронах ели на живых ветвях отличается меньше, чем на разных форофитах, березе и на ветвях ели. В кроне на ветвях ели в лишайнике содержание Mn сопоставимо с концентрацией на стволах березы. В двух сообществах концентрации Mn выше содержания Fe в *H. physodes* на всех видах форофитов (березе, ели, сосне), что обычно при влиянии древесного полога ненарушен-

ных лесов. Марганец – физиологически необходимый элемент в составе фотосинтезирующих организмов.

В листьях березы выше концентрации Zn, чем в корке стволов, сухих ветвях, хвое. Из разных типов субстратов лишайников – в растущей живой древесине ели, с низкой зольностью, самые низкие концентрации микроэлементов (следы Fe, Pb), по сравнению с хвоей, коркой можжевельника, сосны и корой живых ветвей ели (табл. 2).

Концентрация Cd в хвое ели текущего года – 1 год ниже. Низкие концентрации металлов в талломах лишайника (Ni, Cu, Cd, Pb) и субстрате характеризуют естественное состояние лесных сообществ. В лишайниках соседней территории южной Карелии не имеется современных оценок концентраций тяжелых металлов. Видовой состав лишайников изучен в заповеднике «Кивач». Содержание тяжелых металлов в *H. physodes* изучено на сосне [7], распределение осадков под кронами разных древесных пород [8].

Определяли состав и отличия сухой древесины как субстрата лишайников – видов факультативных и облигатных эпиксиллов. В растущей древесине ели обнаружены низкие концентрации металлов, кроме Mn. В сухих ветвях ели также низкое содержание, при этом в них выше Pb, 2,7 мг/кг, вероятно, из-за пылевого загрязнения (табл. 3).

Таблица 2

Концентрации металлов в листьях, хвое и субстрате лишайников в сосняке, мг/кг

Тип	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Сосняк кустарничково-зеленомошный							
Береза							
Корка ствола	0,22±0,01	3,7±0,16	0,180±0,01	0,79±0,3	30±11	408±60	42±1
Листья березы	1,30±0,02	2,3±0,08	0,188±0,01	0,53±0,0	43±4	1825±100	106±9
Ель, хвоя текущего года – 1 год							
Хвоя	0,82±0,10	1,2±0,02	0,032±0,01	0,37±0,1	26±15	2450±300	30±9
Ель, побег текущего года – 1–2 года							
Побеги	1,4±0,2	5,9±0,2	0,263±0,10	2,5±0,2	35±5	775±10	73±5
Ель, живые ветви деревьев 35–70 лет							
Древе-сина	0,09±0,01	1,66±0,1	0,050±0,0	0,19±0,1	1±0,2	236±21	12±2
Кора ветвей	0,93±0,04	4,0±0,7	0,138±0,01	3,3±0,72	209±24	235±28	17±3
Можжевельник							
Хвоя	1,3±0,03	1,7±0,03	0,078±0,01	0,74±0,0	29±2	1380±70	15±1
Корка	1,5±0,4	3,6±0,2	0,204±0,05	3,0±1,3	143±64	390±80	22±4
Ветви сухие	0,25±0,2	1,6±0,4	0,050±0,01	0,81±0,7	6±0,5	36±10	3±0,2
Сосна							
Корка ствола	0,37±0,02	2,5±0,02	0,355±0,04	2,4±0,1	79±2	101±22	14±1
Хвоя, 1–2 лет	1±0,3	1,9±0,05	0,050±0,01	0,35±0	16±1	1050±20	34±2

Таблица 3

Концентрации металлов в хвое ели и субстрате лишайников в ельнике, мг/кг

Тип	Ni	Cu	Cd	Pb	Fe	Mn	Zn
Молодая ель, хвоя текущего года – 1 год							
Хвоя	1,5±0,04	1,5±0,01	0,019±0,01	0,40±0,1	14±0,1	640±14	17±1
Ель в 1 ярусе, нижняя часть кроны							
Сухие ветви	0,27±0,09	0,9±0,1	0,055±0,01	2,7±0,5	22±8	63±4	11±3
Хвоя ели, 1–2 года	0,80±0,10	1,2±0,10	0,020±0,01	<<	14±0,5	1440±90	31±1

Полог леса снижает интенсивность излучения, испарения, сглаживает колебания температуры воздуха и почвы, под ним образуются благоприятные условия микроклимата и атмосферного питания лишайников. Состав осадков под пологом леса связан с содержанием химических элементов в листьях и хвое, вымыванием и выщелачиванием из крон. Состав осадков под пологом леса изменяется. По сравнению с атмосферными осадками, под кронами древостоя в осадках особенно характерно вымывание Mn [8], и в осадках возрастают концентрации Zn, Ni, Cu [9].

Минеральный состав растений и их отдельных частей зависит от избирательной способности растений поглощать химические элементы [10]. В листьях березы более высокая зольность и более высокие концентрации микроэлементов, по сравнению с хвоей сосны и ели [10, 11]. Осадки и состав опада листьев березы обогащены микро- и макроэлементами, и при поступлении их в почву березовых лесов увеличивается запас элементов минерального питания. Береза отличается более быстрым разложением опада и большей скоростью оборота элементов биогенов, чем ель и сосна, на прирост березы потребляется значительное количество минеральных элементов [10]. Листья берез, хвоя сосны и ели накапливают Mn [10–12]. В фоновых условиях листья березы содержат высокие концентрации Mn, до 1600 мг/кг, листья березы пушистой – высокий Zn, 156 мг/кг [11]. Листья березы аккумулируют Cd интенсивнее, чем хвоя, – до 0,67 мг/кг [12]. Из листьев березы интенсивно вымываются макроэлементы, изменяется кислотность.

Древесный ярус влияет на концентрацию ионов в составе осадков под кронами [8, 9]. Состав эпифитных лишайников в значительной степени зависит от вида форофита, на березе он в определенной степени зависит от концентраций в листьях. В составе подкрупных осадков березы в среднетаежных лесах более высокое содержание водо-

растворимых форм Zn и Mn [8]. По сравнению с атмосферными осадками, под кронами молодых лиственных лесов выше концентрация Mn, Zn, Ni, Cu [9].

В фитоценозе дождевые и снеговые осадки распределяются в зависимости от типа кроны древесных пород и их возраста. Крона березы представляет тип кроны, собирающей осадки. Для березы характерен интенсивный стволовой сток. Осадки распределяются в кроне, часть из них фильтруется через листья и ветви в кроне, более концентрированные осадки со стоком по стволам поступают к почве. На березе *H. physodes* содержит более высокую концентрацию Zn, 96 мг/кг, что в 1,4–2,0 раза выше, чем в этом лишайнике на видах хвойных – стволах сосны, разных типах ветвей ели и в кроне можжевельника. Содержание Zn ниже в коре ветвей и хвое ели (17–30 мг/кг), можжевельника. Под пологом соснового леса на стволах березы повислой в лишайнике более высокий уровень Mn, чем на хвойных (в 1,1–4,8 раза). В лишайнике на березе в 1,2–2,4 раза выше содержание Cd – 0,581 мг/кг. Вероятно, накопление этих элементов происходит при интенсивном стоке осадков по стволам березы. Более высокое содержание Zn, Mn, также Cd в лишайнике на березе соответствует составу листьев. В листьях берез в Карелии фоновые концентрации Cd – 0,67 мг/кг [12]. В листьях березы изученного сосняка концентрации Cd немного ниже (0,188 мг/кг). Содержание Cd в листьях березы в 2,4–5,9 раза выше низких концентраций в хвое ели и можжевельника в сосняке – 0,032–0,078 мг/кг. По сравнению с листьями березы, в *H. physodes* Cd в 3,1 раза выше, и в 6,4–11,3 раза выше – хвое можжевельника, сосны и ели. Крона березы способствует концентрированию Cd с осадками из пыли, вымыванию из листьев, стоку по стволам.

Листья березы содержат более высокие концентрации Mn, 1825 мг/кг, что выше содержания в лишайнике *H. physodes* в 1,97 раза. Листья березы накапливают

на 10% более высокие концентрации Zn – 106 мг/кг, относительно лишайника, 96 мг/кг. По сравнению с листьями *H. physodes* на стволах березы в большей степени накапливает Pb (в 10 раз выше), Cd (в 3 раза), Fe (в 4,5 раза). По сравнению с коркой стволов березы, в лишайнике выше содержание Cd в 3,2 раза, Pb – в 6,7, и Fe – в 6,6 раза.

Как показатель условий в местообитаниях лишайников можно рассматривать состав коры и побегов ели, с этих частей кроны также поступают осадки, не только с поверхности хвои. Микроэлементы в побегах ели содержатся на сравнимом уровне с хвоей. Накопление Mn в побеге ели – 775 мг/кг, что сопоставимо с содержанием в хвое молодой ели. В побеге, коре ветвей ели и сосны содержится больше Pb (2,4–3,3 мг/кг), также Fe. В остальных субстратах в местообитаниях концентрации Pb низкие, <1 мг/кг.

Эпифитные лишайники часто лучше развиты на сухих и засыхающих деревьях. Обилие лишайников часто увеличивается на сухой древесине с более сильной вододерживающей способностью. Фитомасса хвои ели в 2,24 раза выше – 17,3 ц/га, чем масса эпифитных лишайников в низкобонитетном ельнике зеленомошнике северной тайги Архангельской области – 7,7 ц/га [10], или 1,3 и 0,58% надземной фитомассы.

Кроны хвойных пород влияют на микроэлементный состав лишайников. Концентрация Mn в хвое ели выше, чем в лишайнике, до 2,9 раза, в хвое можжевельника – в 3,2 раза. С высоким содержанием Mn в хвое согласуется состав на ветвях в кроне ели. В кронах ели и на стволах березы лишайник содержит сравнимое количество Mn, 735–925 мг/кг. Хвоя слабее накапливает металлы по сравнению с лишайником. В *H. physodes* в 2,7–2,8 раза выше содержание Ni и Cu, чем в хвое ели, и до 2 раз оно выше хвои можжевельника (1,7–1,9). По сравнению с хвоей можжевельника, ели, сосны *H. physodes* сильнее накапливает Cd (6,4–11,3 раза), Pb (6,2–15 раз), Fe (11,8–17 раз). Напротив, в хвое этих видов концентрация Mn выше уровня в лишайнике в 3,2–5,5 раза.

Параметры среды внутри кроны деревьев отличаются от открытого пространства. Прямые метеонаблюдения показали, что при повышенной инсоляции в кроне старого можжевельника *Juniperus excelsa* образуются благоприятные условия фитолимата, днем выше относительная влажность (до 15%), ниже температура (до 8%) [13]. Крона задерживает осадки. В кроне можжевельника в сосняке в *H. physodes* накапливаются Mn, Fe, Pb, Cd, Ni, выше концентрации Cd в 2,4, Pb в 1,5, Fe в 2,6 раза, чем в его корке.

На содержание элементов в лишайниках влияет распределение осадков с более интенсивным поступлением осадков под краями кроны. Концентрации Fe выше на субгоризонтальных поверхностях живых ветвей ели в *H. physodes*, до 446 мг/кг, на сухих до 290 мг/кг, относительно стволов березы и сосны, не более 200 мг/кг.

Содержание микроэлементов в *H. physodes* – самое низкое на стволах сосны в одном типе фитоценоза, в особенности Ni, Cu, Mn, чем на других видах хвойных. На стволах сосны более сухие местообитания лишайников. Накопление Fe и Ni в лишайнике в 2,4 раза выше, чем в корке сосны, по другим элементам это соотношение близко к 1.

На разных форофитах по сравнению с сосной, концентрации в *H. physodes* изменяются: Ni в 1,56–2,44 раза, по Cu в 1,1–1,12 раза, Cd – 1,09–1,75, Pb – 2,1–2,6, Mn – 2,3–4,8, Fe – 1,04–2,36, Zn – 1,0–2,0 раза (табл. 1). В лишайнике – фоновые концентрации элементов, на разных видах форофитов: Ni – 0,9–2,3, Cu – 2,9–3,9 и Pb – 2,2–6,3 мг/кг. В лишайнике Cd не выше фонового [14]. Слабое накопление тяжелых металлов Pb и Cd в хвое и листьях древесных пород связано с механизмами их поглощения. В фоновых условиях лишайники интенсивнее накапливают тяжелые металлы, чем хвоя (1–2 лет), побеги, листья березы, корка. Хвоя разных видов содержит низкие концентрации Cd – всего 8,8–15,7, Pb 6,6–16,1% состава *H. physodes*. Лишайники дают оценку атмосферного загрязнения за длительное время. В этом районе возможно увеличение выбросов производства минеральных удобрений, его влияния на общество. При определении фоновых концентраций в лишайниках нужно учитывать вид форофита и местообитание.

Заключение

Показано влияние древесных пород на биоаккумуляцию тяжелых металлов в лишайнике в сосняке и ельнике средней тайги. Определены концентрации микроэлементов в лишайнике *H. physodes* и их изменение под влиянием кроны форофитов, можжевельника обыкновенного, ели европейской, сосны и березы. В составе лишайника сильнее накапливаются Cd, Pb, Fe, Ni, Cu, чем в листьях березы, хвое ели, сосны и можжевельника. На разных форофитах в лишайнике более резко различается концентрация Mn, Zn. Под влиянием кроны березы *H. physodes* накапливает Zn в 1,4–2,0 раза больше, чем в местообитаниях на живых ветвях ели, можжевельника и сосне. Самое низкое накопление микроэ-

лементов в лишайнике *H. physodes* на стволах сосны. В лишайнике и субстратах определены фоновые концентрации тяжелых металлов.

Авторы благодарят канд. биол. наук научного сотрудника П.Н. Катютину, БИН РАН, за определение возраста ели.

Список литературы

1. Сорокина И.А., Степанчикова И.С., Гимельбрант Д.Е., Ликсакова Н.С., Спирин В.А., Кушневская Е.В., Гагарина Л.В., Ефимов П.Г. Краткие очерки трех планируемых ООПТ востока Ленинградской области // Ботанический журнал. 2017. Т. 102, № 9. С. 1270–1289.
2. Сорокина И.А., Степанчикова И.С., Ефимов П.Г., Гимельбрант Д.Е., Спирин В.А., Кушневская Е.В. Краткие очерки восьми предлагаемых ООПТ Ленинградской области // Ботанический журнал. 2013. Т. 98, № 2. С. 233–254.
3. Сорокина И.А., Ликсакова Н.С., Ефимов П.Г. Флора проектируемого заказника «Ивинский разлив» (Ленинградская область, Подпорожский район): состав, структура, охраняемые объекты // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2018. XII (2). С. 96–127.
4. Рассабина А.Е., Гурьянов О.П., Бекетт Р.П., Минибаева Ф.В. Меланин лишайников *Cetraria islandica* и *Pseudevernia furfuracea*: особенности строения и физико-химические свойства // Биохимия. 2020. Т. 85, № 5. С. 729–735.
5. Phinney N.H., Gauslaa Y., Palmquist K., Essen P.-A. Macroclimat drives growth of hair lichens in boreal forest canopy // Journal of Ecology. 2021. Vol. 109. P. 478–490.
6. Wan S., Ellis C.J. Are lichen growth form categories supported by continuous functional traits: water-holding capacity and specific thallus mass? // Edinburgh Journal of Botany. 2020. Is. 77 (1). P. 65–76.
7. Дьяконов В.В., Козлов В.А., Коржицкая З.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами и серой лесных экосистем Республики Карелия // Проблемы антропогенной трансформации лесных биогеоценозов Карелии. 1996. Петрозаводск. С. 167–182.
8. Шильцова Г.В., Ласточкина В.Г. Влияние полога соснового и березового леса на химический состав осадков в заповеднике «Кивач» // Труды Карельского научного центра РАН. 2006. № 10. С. 180–184.
9. Пристова Т.А. Химический состав атмосферных осадков, подкрановых и поверхностных вод в среднетаежных лиственных насаждениях послерубочного происхождения // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 63–69.
10. Бобкова К.С., Смоленцева Н.Л., Тужилкина В.В., Артемов В.А. Круговорот азота и зольных элементов в сосново-еловом насаждении средней тайги // Лесоведение. 1982. № 5. С. 3–11.
11. Сухарева Т.А. Особенности накопления химических элементов древесными растениями северотаежных лесов на фоновых и техногенно нарушенных территориях // Труды Фермановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. № 14. С. 438–441.
12. Кузнецова Т.Ю., Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Аккумуляция тяжелых металлов в различных органах и тканях березы в зависимости от условий произрастания // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 1. С. 86–94.
13. Корсакова С.П., Ильницкий О.А., Паштецкий А.В. Особенности формирования фитолимата внутри крон *Quercus pubescens* Willd. и *Juniperus excelsa* Bieb. // Биоразнообразие, подходы к изучению и сохранению. Материалы Международной конференции к 100-летию кафедры ботаники ТьГУ. Тверь, 2017. С. 179–182.
14. Табаленкова Г.Н., Далькэ И.В., Головки Т.К. Элементный состав биомассы некоторых видов лишайников бореальной зоны на Европейском Северо-Востоке // Известия Самарского НЦ РАН. 2016. Т. 18, № 2. С. 221–225.

УДК 579.64

ВЫДЕЛЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ СОЛЕТОЛЕРАНТНЫХ БАКТЕРИЙ ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ РОСТА СОИ**Смирнова И.Э., Баймаханова Г.Б., Файзулина Э.Р., Татаркина Л.Г., Спанкулова Г.А.***ТОО «Научно-производственный центр микробиологии и вирусологии», Алматы,
e-mail: iesmirnova@mail.ru*

Засоленность почв является одной из наиболее важных сельскохозяйственных проблем во всем мире. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) – это универсальная культура, помогающая снижать дефицит белка в продуктах питания. Однако соя относится к несолеустойчивым культурам, что сдерживает ее производство. Для повышения урожайности сои используют минеральные азотные и фосфорные удобрения, отрицательно влияющие на окружающую среду. Альтернативой минеральным удобрениям является использование фосфатмобилизующих бактерий, способных переводить нерастворимые фосфаты почвы в доступную растениям форму. Однако многие фосфатмобилизующие микроорганизмы не способны расти и мобилизовать фосфаты на засоленных почвах. Целями данного исследования были выделение из ризосферы сои солетолерантных фосфатмобилизующих бактерий, их идентификация, изучение солеустойчивости, мобилизации фосфатов и способности влиять на рост сои в условиях солевого стресса. Из ризосферы растений сои, растущих на засоленных почвах, были выделены 32 изолята фосфатмобилизующих бактерий, проведен первичный скрининг и отобраны 12 изолятов. Изучена их способность к росту при высоком солевом стрессе, отобраны 5 солеустойчивых изолятов. Установлено, что изоляты могут мобилизовать фосфаты при высоком солевом стрессе. Наиболее высокую эффективность проявили 3 изолята, у которых активность мобилизации при солевом стрессе снижалась на 28–30%. Проведена идентификация солетолерантных фосфатмобилизующих бактерий молекулярно-генетическим методом Сенгера. Установлено, что штаммы бактерий относятся к родам *Pseudomonas* и *Bacillus*. Показано, что инокуляция семян сои бактериями смягчает негативное влияние засоления и стимулирует рост и развитие сои (сухой вес стеблей и корней увеличился в 2,0 раза, листьев – в 3,5 раза). Таким образом, выделены и идентифицированы новые штаммы солетолерантных фосфатмобилизующих бактерий, стимулирующие рост и развитие растений сои в условиях солевого стресса.

Ключевые слова: фосфатмобилизующие бактерии, солетолерантность, соя, инокуляция, стимуляция роста*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан, в рамках грантового проекта ИРН AP09259080.***ISOLATION AND IDENTIFICATION OF PHOSPHATE SOLUBILIZING SALT TOLERANT BACTERIA FOR STIMULATING OF SOYBEAN GROWTH****Smirnova I.E., Baimakhanova G.B., Faizulina E.R., Tatarkina L.G., Spankulova G.A.***Research and Production Center for Microbiology and Virology LLC, Almaty,
e-mail: iesmirnova@mail.ru*

Soil salinity is one of the most important agricultural problems worldwide. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) is a multipurpose crop that helps reduce protein deficiency in food. However, soybeans are not salt-tolerant crops, which reduces their production. To increase the productivity of soybeans, chemical nitrogen and phosphorus fertilizers are used, which adversely affect the environment. An alternative to chemical fertilizers is the use of phosphate-solubilizing bacteria that can convert insoluble soil phosphates into a form available to plants. However, many phosphate-solubilizing microorganisms are unable to grow and solubilize phosphate on saline soils. The purpose of this study was to isolate salt-tolerant phosphate-solubilizing bacteria from the soybean rhizosphere, identify them, study salt tolerance, phosphate solubilization, and the ability to effect soybean growth under salt stress. From the rhizosphere of soybean plants growing on saline soils, 32 isolates of phosphate-solubilizing bacteria were isolated, primary screening was carried out, and 12 isolates were selected. Their ability to grow under high salt stress was studied, and five salt-tolerant isolates were selected. It has been found that isolates can solubilize phosphates under high salt stress. Three isolates showed the highest efficiency, in which the activity of solubilization under salt stress decreased by 28–30%. Identification of salt-tolerant phosphate-solubilizing bacteria was carried out by the molecular genetic method of Sanger. It has been established that bacterial strains belong to the genera *Pseudomonas* and *Bacillus*. It was found that the inoculation of soybean seeds with bacteria softens the negative impact of salinity and stimulates the growth and development of soybean (dry weight of stems and roots increased by 2.0 times, leaves by 3.5 times). Thus, new strains of salt-tolerant phosphate-solubilizing bacteria that stimulate the growth and development of soybean plants under salt stress conditions have been isolated and identified.

Keywords: phosphate-solubilizing bacteria, salt tolerance, soybean, inoculation, growth stimulation*The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, within the framework of the grant project IRN AP09259080.*

Засоленность почв является одной из наиболее важных сельскохозяйственных проблем во всем мире. Сокращение площадей посевов из-за засоленности почв сильно влияет на развитие сельскохозяйственного хозяйства [1]. Одной из причин засоленно-

сти почв является изменение климата. Глобальное потепление вызывает дефицит пресной воды и приводит к использованию минерализованной воды для орошения, что обуславливает еще большую их засоленность [2]. Во всем мире площадь засоленных почв

растет с каждым годом, что оказывает все большее влияние на сельское хозяйство, биоразнообразие и окружающую среду. Являясь сильным абиотическим стрессом, засоленность вызывает до 70% потери урожая культур [3]. Одной из основных культур, помогающих снижать дефицит белка в продуктах питания, является соя (*Glycine max* (L.) Merr.). Однако соя относится к не-солеустойчивым культурам, и засоленность почв является одним из основных факторов, сдерживающих ее производство [4]. Засоленность почв отрицательно влияет на развитие растений сои из-за осмотических явлений, токсичности ионов солей и изменения физико-химических свойств почвы. Для повышения продуктивности сои на засоленных почвах применяют химические азотные и фосфорные удобрения. Эти удобрения дают положительный эффект, но при этом отрицательно влияют на окружающую среду [5]. Фосфор является одним из основных питательных элементов растений, он участвует в фотосинтезе, синтезе ферментов и образовании АТФ. Также фосфор необходим клубеньковым бактериям – симбионтам сои, которые при дефиците фосфора не могут образовывать клубеньки и фиксировать азот [6]. Доказано, что засоленность почв существенно снижает биодоступность фосфора [7]. Поэтому поиск недорогих и экологически чистых путей повышения доступности фосфора на засоленных почвах является актуальным. Альтернативой минеральным фосфорным удобрениям представляется использование фосфатмобилизующих бактерий, способных переводить нерастворимые фосфаты почвы в растворимую доступную растениям форму, улучшать их фосфорное питание и стимулировать рост [8]. Однако многие фосфатмобилизующие микроорганизмы не способны расти и мобилизовать фосфаты на засоленных почвах. Большинство из них обладают низкой устойчивостью к засолению и не подходят в качестве инокулянтов для применения на засоленной почве [9].

Целями данного исследования были выделение из ризосферы сои солеустойчивых фосфатмобилизующих бактерий, их идентификация, изучение солеустойчивости, мобилизации фосфатов и способности влиять на рост сои в условиях солевого стресса.

Материалы и методы исследований

Объектами исследований служили изоляты фосфатмобилизующих бактерий, выделенные из почв ризосферы сои, растущей на засоленных полях в Алматинской об-

ласти Казахстана в июне-июле 2021 года. Тип почвы серозем обыкновенный, основные агрохимические показатели: гумус – 1,1%, легкогидролизуемый азот – 56,8 мг/кг почвы, подвижный фосфор – 20,8 мг/кг почвы и подвижный калий – 457,1 мг/кг. Реакция водного раствора почвы pH 8,9.

Выделение фосфатмобилизующих бактерий проводили на агаризованной среде NBRIP с добавлением 10% NaCl. Среда NBRIP содержит нерастворимый трикальцийфосфат в виде мелкодисперсного осадка, придававшего среде равномерную мутность. При росте на этой среде фосфатмобилизующие бактерии образуют зоны растворения фосфатов (зоны гало). Изучение фосфатмобилизующей активности бактерий проводили по методике Сеги [10].

Солеустойчивость фосфатмобилизующих бактерий определяли в жидкой среде NBRIP, содержащей 100, 250 и 500 мМ NaCl. Рост бактерий определяли на спектрофотометре (PD-303, «ApeI», Japan) при 540 нм. Оценку роста бактерий проводили по шкале, где «-» отсутствие роста, «+» наличие роста, добавление «+» указывает на интенсивность роста.

Ризобии идентифицировали молекулярно-генетическим методом Сенгера путем секвенирования гена 16S рРНК. Геномную ДНК выделяли из суточной культуры бактерий с помощью наборов PureLink® Genomic DNA Kits (Invitrogen, США). Бактерии идентифицировали путем изучения последовательности участка гена 16S rRNA с универсальными праймерами [11]. Секвенирование фрагментов гена 16S rRNA бактерий проводили на автоматическом секвенаторе 3500 DNA Analyzer (Applied Biosystems, США) с использованием набора Big Dye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, США) по протоколу производителя (BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit Protocol Applied Biosystems, USA). Для циклического секвенирования производства использовали набор от Protocol Applied Biosystems, США. Результаты секвенирования обрабатывали с помощью программы SeqA (Applied Biosystems). Поиск гомологичных нуклеотидных последовательностей генов 16S rRNA проводили с помощью программы BLAST в международной базе данных банка генов NCBI, США. Филогенетический анализ осуществляли с помощью программы MEGA6. Выравнивание нуклеотидных последовательностей проводили по алгоритму ClustalW. Для построения филогенетических деревьев использовали метод NJ (Neighbor-Joining).

Влияние фосфатмобилизирующих бактерий на рост сои определяли в условиях засоления почвы. Стерильные семена сои инокулировали суспензией бактерий (1×10^8 КОЕ/мл) в течение 2 часов при 23°C. После этого высевали в сосуды на 5000 мл с засоленной почвой по 3 растений на сосуд (агрехимические параметры почвы приведены выше). Через 3 месяца растения собирали, высушивали корни, стебли и листья до постоянного веса и определяли их сухой вес.

Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием пакета программ STATISTICA 10.0, var. 6.0 [12]. Различия считались значимыми при $p < 0,05$, значения представлены как среднее значение (M) \pm стандартное отклонение (\pm SEM).

Результаты исследований и их обсуждение

Из ризосферы здоровых растений сои, растущих на засоленных почвах, было собрано 56 образцов почв. На среде NBRIP с 10% NaCl были выделены 32 изолята бактерий, демонстрирующих четкие зоны мобилизации фосфатов (зоны гало). Проведен первичный скрининг изолятов и отобраны 12 бактерий, которые образовывали большую зону мобилизации фосфатов. Изучены их основные морфологические и биохимические признаки (табл. 1).

Установлено, что колонии изолятов были круглые с плоским или выпуклым профилем, ровным краем, диаметром 1,0–3,5 мм. Цвет колоний был белый, кремовый и жел-

тый. При исследовании морфологии клеток установлено, что бактерии были как спорообразующими, так и неспорообразующими, имели палочковидную форму, были подвижными, грамположительными и грамтрицательными. Исследование биохимических свойств показало, что изоляты были аэробами, имели разную способность использовать соединения углерода, образовывать индол, сероводород и разжижать желатину. По основным морфологическим и биохимическим признакам выделенные изоляты были отнесены к родам *Bacillus* и *Pseudomonas*.

Изучение устойчивости изолятов к солевому стрессу проводили при равных концентрациях NaCl (100, 250 и 500 mM) в среде культивирования. В таблице 2 приведены данные 12 наиболее солеустойчивых изолятов.

Выявлено, что изоляты обладали разной устойчивостью к солевому стрессу (табл. 2). При концентрации NaCl 100 mM росли все изоляты, а при концентрации 500 mM NaCl – только пять из них. Изоляты ФТ2, ФТ4, ФМ9, ФМ12 и ФС11 отобраны как наиболее солеустойчивые и были использованы в дальнейшей работе.

Важным показателем для применения фосфатмобилизирующих бактерий на засоленных почвах является их способность к мобилизации фосфатов при солевом стрессе. В связи с этим были проведены эксперименты по изучению активности мобилизации фосфатов при различной степени засоленности. Полученные данные приведены в таблице 3.

Таблица 1

Морфологические признаки солетолерантных фосфатмобилизирующих изолятов

Изоляты	Характеристика колоний					Характеристика клеток		
	Форма	Край	Профиль	Цвет	Размер, мм	Подвижность	Форма	Грамм +/-
ФТ1	круглая	ровный	плоский	белый	2–3	+	палочки	+
ФТ2	круглая	ровный	выпуклый	желтый	1–2	–	палочки	–
ФТ15	круглая	ровный	плоский	желтый	3–4	–	палочки	–
ФТ4	круглая	ровный	выпуклый	белый	1–3	+	палочки	+
ФМ9	круглая	ровный	выпуклый	кремовый	1–3	+	палочки	+
ФМ12	круглая	ровный	плоский	белый	2–3	+	палочки	+
ФЛ27	круглая	ровный	плоский	желтый	2–3,5	–	палочки	+
ФУ36	круглая	ровный	плоский	кремовый	1–3	+	палочки	–
ФС11	круглая	ровный	выпуклый	белый	2–3,5	+	палочки	+
ФТ34	круглая	ровный	выпуклый	кремовый	2–3	–	палочки	+
ФМ22	круглая	ровный	выпуклый	желтый	2–3	+	палочки	–
ФМ19	круглая	ровный	выпуклый	кремовый	1–3	+	палочки	–

Таблица 2

Скрининг солеустойчивости изолятов бактерий

Изоляты	Концентрация NaCl в среде, mM		
	100	250	500
ФТ1	++	+	–
ФТ2	++++	+++	++
ФТ15	++	+	–
ФТ4	+++	+++	++
ФМ9	++++	+++	++
ФМ12	++++	+++	+++
ФЛ27	++	+	–
ФУ36	+++	+	–
ФС11	++++	+++	+++
ФТ34	++	+	–
ФМ22	+++	+	–
ФМ19	+++	+	–

Примечание: «–» отсутствие роста; «+» наличие роста; дополнительный «+» указывает на интенсивность роста изолятов.

Таблица 3

Фосфатмобилизующая активность изолятов при солевом стрессе

Изоляты	Концентрация NaCl в среде, mM			
	0	100	250	500
	Диаметр зоны мобилизации фосфатов, мм			
ФТ2	32,6±0,2	26,6±0,7	21,9±0,1	15,8±0,2
ФТ4	37,4±0,1	33,4±0,2	28,4±0,3	26,9±0,3
ФМ9	32,9±0,4	28,9±0,1	22,9±0,1	15,9±0,1
ФМ12	36,2±0,2	30,2±0,4	26,8±0,2	24,8±0,1
ФС11	36,2±0,2	32,5±0,2	27,7±0,2	25,7±0,2

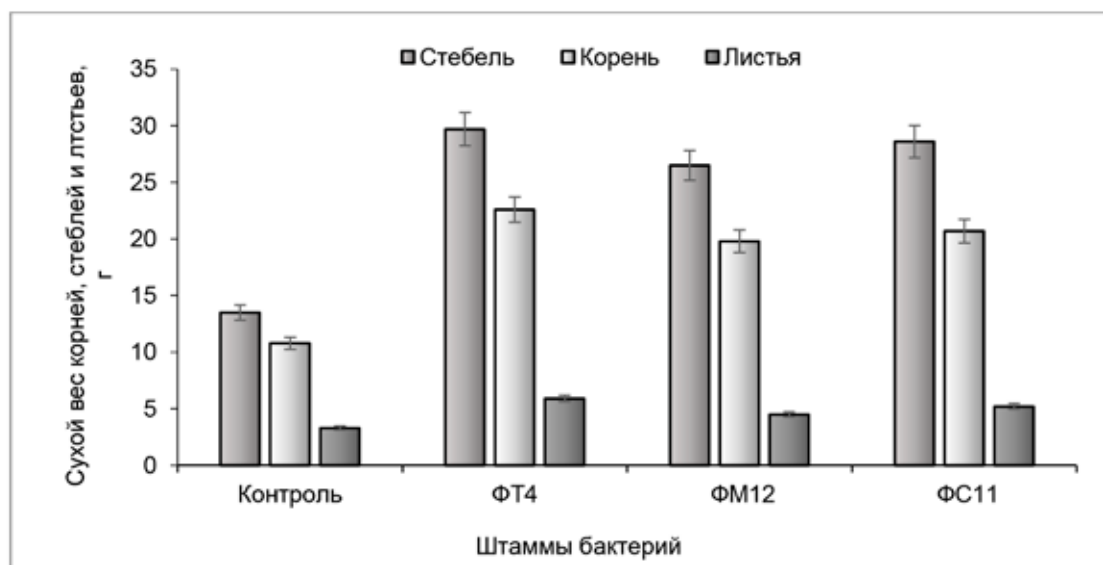
Примечание: p<0,05; n = 5.

Их данных таблицы 3 следует, что изоляты способны к мобилизации фосфатов в условиях солевого стресса. Однако с увеличением концентрации NaCl в среде активность мобилизации снижалась. Показано, что у двух изолятов (ФТ2 и ФМ9) при концентрации 500 mM NaCl активность мобилизации снижалась на 52–53%, у изолятов ФТ4, ФМ12 и ФС11 – только на 28–30%. Эти данные показывают, что солевой стресс не оказывал сильного воздействия на мобилизацию фосфатов изолятами ФТ4, ФМ12 и ФС11 и они являются солеустойчивыми.

Молекулярно-генетическую идентификацию изолятов ФТ2, ФТ4, ФМ9, ФМ12 и ФС11 проводили методом Сенгера, путем секвенирования 16S rRNA гена и сравнения нуклеотидных последовательностей гена 16S rRNA со штаммами

из базы данных GenBank NCBI. Показано, что в филогенетическом отношении штаммы ФТ2, ФТ4, ФМ9 наиболее близки к роду *Pseudomonas*, видам *Pseudomonas rhizosphaerae* ФТ2, *Ps. koreensis* ФТ4 и *Ps. sp.* ФМ9, штаммы ФМ12 и ФС11 относятся к роду *Bacillus* и определены как виды *Bacillus pumilus* ФМ12 и *B. sp.* ФС11.

При отборе штаммов бактерий для применения в сельском хозяйстве одним из важных показателей является способность стимулировать рост и развитие агрокультур. Изучение влияния солетолерантных фосфатмобилизующих бактерий на рост сои проводили на сильнозасоленной почве. В опытах использовали штаммы ФТ4, ФМ12 и ФС11, контролем служили семена без обработки. Полученные результаты представлены на рисунке.



Влияние инокуляции солетолерантными фосфатмобилизующими бактериями на сухой вес растений сои

Установлено, что инокуляция семян солетолерантными фосфатмобилизующими бактериями существенно снижала негативное влияние солевого стресса на растения сои. По сравнению с контролем в вариантах с инокуляцией растений были более зелеными, высокими и крепкими. При этом сухой вес растений существенно увеличился: корней – в 1,9–2,1 раза, стеблей – в 2,0–2,2 раза, листьев – в 2,5–3,5 раза по сравнению с контролем (рисунок). Установлено, что штамм *Ps. koreensis* FT4 оказывал наиболее высокое стимулирующее влияние на рост и развитие растений сои.

Заключение

Из ризосферы растений сои, растущих на засоленных почвах, были выделены 32 изолята фосфатмобилизующих бактерий. Проведен первичный скрининг и отобраны 12 солеустойчивых и наиболее активных изолятов бактерий. Были изучены их основные морфологические и биохимические признаки. Изучена способность изолятов к росту при высоком солевом стрессе. Отобраны пять изолятов – FT2, FT4, FM9, FM12 и FC11. Важным показателем для применения в сельском хозяйстве является способность бактерий к мобилизации фосфатов в условиях засоления. Установлено, что изоляты могут мобилизовать фосфаты при высоком солевом стрессе. Наиболее высокую мобилизацию фосфатов проявили три изолята – FT4, FM12 и FC11, у которых активность мобилизации при солевом стрессе

снижалась на 28–30%. Проведена идентификация солетолерантных фосфатмобилизующих изолятов бактерий молекулярно-генетическим методом Сенгера. Показано, что штаммы бактерий относятся к роду *Pseudomonas* (*Ps. rhizosphaerae* FT2, *Ps. koreensis* FT4 и *Ps. sp.* FM9) и к роду *Bacillus* (*Bacillus pumilus* FM12 и *B. sp.* FC11). Исследование влияния солетолерантных фосфатмобилизующих бактерий на рост и развитие растений сои показало, что предпосевная инокуляция бактериями семян сои смягчала негативное влияние засоления: инокулированные растения имели более высокую длину стебля и корней и большее число листьев по сравнению с неинокулированными растениями. Так, сухой вес стеблей и корней увеличился в 2 и более раза, листьев – до 3,5 раза.

Таким образом, выделены и идентифицированы новые штаммы солетолерантных фосфатмобилизующих бактерий. Предпосевная инокуляция семян сои этими бактериями стимулирует рост и развитие растений сои в условиях высокого солевого стресса. Применение новых штаммов бактерий имеет большой потенциал при выращивании сои на засоленных почвах, так как их использование в качестве инокулянтов смягчает негативное влияние засоления и помогает растениям выживать в стрессовых условиях. Кроме того, применение солетолерантных фосфатмобилизующих бактерий в качестве биоудобрения позволит снизить дозы минеральных фосфорных удобрений.

Список литературы

1. Ullah A., Bano A., Khan N. Climate change and salinity effects on crops and chemical communication between plants and plant growth-promoting microorganisms under stress // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021. Vol. 5. DOI:10.3389/fsufs.2021.618092.
2. Mohanavelu A., Naganna S.R., Al-Ansari N. Irrigation induced salinity and sodicity hazards on soil and groundwater: an overview of its causes, impacts and mitigation strategies // *Agriculture*. 2021. Vol. 5, No. 11. P. 983. DOI: 10.3390/agriculture11100983.
3. Nawaz A., Shahbaz M., Asadullah I.A., Marghoob M.U., Imtiaz M., Mubeen F. Potential of salt tolerant PGPR in growth and yield augmentation of wheat (*Triticum aestivum* L.) under saline conditions // *Frontiers in Microbiology*. 2020. Vol. 11. DOI: 10.3389/fmicb.2020.02019.
4. Silva B., Batista B., Lobato A. Anatomical changes in stem and root of soybean plants submitted to salt stress. *Plant Biology*. 2021. Vol. 23. P. 57-65.
5. Guignard M.S., Leitch A.R., Acquisti C., Eizaguirre C., Elser J.J., Hessen D.O., Jeyasingh P.D., Neiman M., Richardson A.E., Soltis P.S., Soltis D.E., Stevens C.J., Trimmer M., Weider L.J., Woodward G., Leitch I.J. Impacts of Nitrogen and Phosphorus: From genomes to natural ecosystems and agriculture // *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2017. Vol. 5. P. 70. DOI: 10.3389/fevo.2017.00070.
6. Li H., Wang X., Liang Q., Lyu X., Li S., Gong Z., Dong S., Yan C., Ma C. Regulation of phosphorus supply on nodulation and nitrogen fixation in soybean plants with dual-root systems. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. P. 2354. DOI: 10.3390/agronomy11112354.
7. Dey G., Banerjee P., Sharma R.K., Maity J.P., Etesami H., Shaw A.K., Huang Y.-H., Huang H.-B., Chen C.-Y. Management of phosphorus in salinity-stressed agriculture for sustainable crop production by salt-tolerant phosphate-solubilizing bacteria // *Agronomy*. 2021. Vol. 11. P. 1552. DOI: 10.3390/agronomy11081552.
8. Timofeeva A., Galyamova M., Sedykh S. Prospects for using phosphate-solubilizing microorganisms as natural fertilizers in agriculture. *Plants*. 2022. Vol. 11. P. 2119. DOI: 10.3390/plants11162119.
9. Joshi G., Kumar V., Brahmachari S.K. Screening and identification of novel halotolerant bacterial strains and assessment for insoluble phosphate solubilization and IAA production // *Bulletin of the National Research Centre*. 2021. Vol. 45. P. 83. DOI: 10.1186/s42269-021-00545-7.
10. Сеги Ю. Методы почвенной микробиологии. М.: Колос, 1983. 162 с.
11. Winand R., Bogaerts B., Hoffman S., Lefevre L., Delvoye M., Van Braekel J., Fu Q., Roosens N.H., De Keersmaecker S.C., Vannest K. Targeting the 16S rRNA Gene for bacterial identification in complex mixed samples: Comparative Evaluation of Second (Illumina) and Third (Oxford Nanopore Technologies) generation sequencing technologies. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21. P. 298. DOI: 10.3390/ijms21010298.
12. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA 10. Var. 6. М.: Hotline-Telecom, 2016. 288 с.

СТАТЬИ

УДК 615.242:616.314

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ОТДЕЛЬНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ СВЕТОВОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ

Зубарева Г.М., Суханова А.Д.

*ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России, Тверь,**e-mail: gmzubareva@yandex.ru, suhanova999@mail.ru*

В статье представлен анализ химического состава и физико-механических свойств двух композитных материалов разных производителей: Filtek Ultimate Universal Restorative material (производитель: 3M ESPE, USA) и ЭСТЕЛЮКС НК (производитель: Россия). Установлено, что каждый композит представляет собой комбинацию основных (матрица, неорганический наполнитель) и дополнительных компонентов, от которых зависят физико-механические свойства (плотность, прочность и прочность на изгиб, вязкость, быстрота отверждения, эффект хамелеона), которые обеспечивают качественное проведение необходимых плановых манипуляций. Дифференциация химического состава позволила наглядно сравнить компоненты и выявить вклад каждого из них в организацию структуры композита за счет образования химических связей. В частности, наличие поверхностно-активных веществ обеспечивает соединение разных по природе матрицы и наполнителя, что способствует структурообразованию материала. Сочетание различных оксидов металла и размеров наполнителя обеспечивает цветовую гамму субстанции. Удачная комбинация компонентов стоматологических материалов позволяет добиться рентгеноконтрастности, низкой полимеризационной усадки, создать высокую эстетику, что повышает качество выполненной работы и обеспечивает высокое качество жизни пациентов. Анализ двух композитных материалов показал множество сходных свойств, которые обеспечивают качество и взаимное замещение друг друга, что открывает широкие перспективы использования в стоматологической практике отечественного материала ЭСТЕЛЮКС НК.

Ключевые слова: композитные материалы светового отверждения, химический состав, положительные и отрицательные свойства

COMPARATIVE CHARACTERIZATION OF CHEMICAL COMPOSITION AND SELECTED PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF MODERN LIGHT-CURING COMPOSITE MATERIALS

Zubareva G.M., Sukhanova A.D.

*Tver State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Tver,**e-mail: gmzubareva@yandex.ru, suhanova999@mail.ru*

The chemical composition and physical-mechanical properties of two composite materials from different manufacturers were analyzed: Filtek Ultimate Universal Restorative material (manufacturer: 3M ESPE, USA) and ESTELUX NK (manufacturer: Russia). It was found that each composite material is a combination of main components (matrix, inorganic filler) and additional components that determine the physical-mechanical properties (density, strength, flexural strength, viscosity, curing rate, chameleon effect) necessary for high-quality dental procedures. Differentiation of the chemical composition allowed for a comparison of the components and their contribution to the organization of the composite structure through the formation of chemical bonds. For instance, the presence of surfactants facilitates the connection of different types of matrix and filler, which contributes to material structuring. The combination of different metal oxides and filler sizes ensures a wide range of colors for the substance. A successful combination of dental material components can achieve radiopacity, low polymerization shrinkage, and high aesthetics, thereby improving the quality of dental work and ensuring high-quality patient care. The analysis of the two composite materials showed numerous similar properties that ensure quality and mutual replacement, opening up broad prospects for using the domestic ESTELUX NK material in dental practice.

Keywords: light-cured composite materials, chemical composition, positive and negative properties

В последнее время ученые-медики все больше внимания уделяют вопросам, связанным с качеством жизни человека. У стоматологов появился термин Oral health-related quality of life, который напрямую связывает качество жизни и здоровье полости рта. Составной частью термина является понятие психосоматического благополучия пациента, зависящее от многих факторов, в частности от эстетики лица и красоты улыбки.

Общепризнано, что стоматологическое лечение не только устраняет зубную боль, восстанавливает утраченные зубы и правильный прикус, но и придает красо-

ту зубам. Новый взгляд на зубы человека как один из факторов качества жизни способствует формированию новых подходов к лечению стоматологических заболеваний с использованием в практике современных композитных материалов светового отверждения [1, 2].

В состав современных композитных материалов входят следующие.

1. Полимерная матрица – образует каркас, в котором равномерно распределяются компоненты; основными из них являются:

– BIS-GMA – бисфенол-А-глицидилметакрилата, который состоит из двух полиме-

ризуемых групп, что способствует формированию сшитого полимера, необходимого для создания реставраций (рис. 1а);

– UDMA – уретандиметилметакрилата – отличается высокой молекулярной массой и благодаря длинной молекулярной цепи оказывает положительное влияние на прочность на изгиб (рис. 1б). Кроме того, он устойчив к пигментации и мало впитывает влагу;

– TEGDMA – триэтиленгликольдиметакрилат (рис. 1в) – применяют в небольших концентрациях для достижения оптимальной вязкости и усадки.

2. Неорганический наполнитель представлен алюмосиликатным стеклом, комплексные анионы которого состоят из кремния и алюминия: $[\text{AlSiO}_4]^-$, $[\text{AlSi}_4\text{O}_{10}]^-$, $[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]^{2-}$. В качестве катионов выступа-

ют Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , а иногда Ba^{2+} и Li^+ . В борсиликатном стекле щелочные компоненты исходного сырья заменены на оксид бора (B_2O_3). Также в наполнитель входят кварц плавный и кристаллический (SiO_2), двуокись кремния модифицированная, циркониевый наполнитель (Zr), пыль алмазная и др. Такой состав композита обеспечивает минимальную усадку, высокую прочность и хорошую рентгеноконтрастность.

3. Поверхностно-активные вещества, в частности силаны, – кремнийорганические соединения. Формула: $(\text{RO})_3\text{Si}(\text{CH}_2)_n\text{-X}$, где RO – гидролизуемые группы, например метокси- ($\text{CH}_3\text{-O}$), этокси- ($\text{C}_2\text{H}_5\text{-O}$); X – амино- (NH_2), метакрилокси- ($\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{C}(\text{O})\text{O-}$), глицидоксигруппы ($-\text{O}-\text{CH}_2-\text{C}_2\text{H}_3\text{O}$) и др. Силаны необходимы для сцепления органической матрицы и наполнителя.

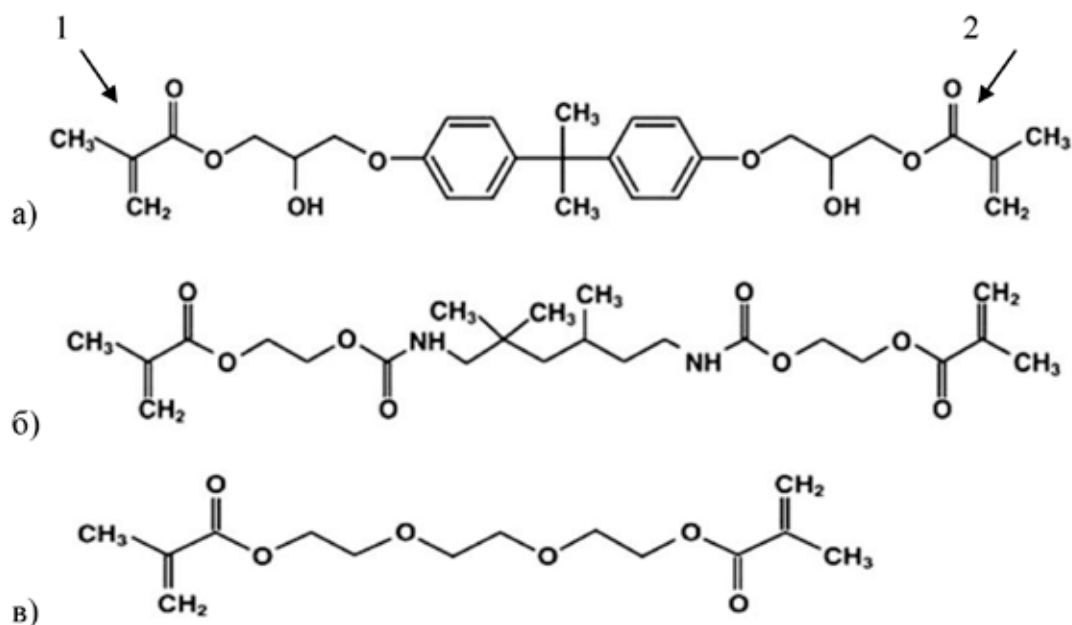


Рис. 1. Структурные формулы составных компонентов полимерной матрицы: 1 – первая полимеризуемая группа; 2 – вторая полимеризуемая группа; а) BIS-GMA; б) UDMA; в) TEGDMA

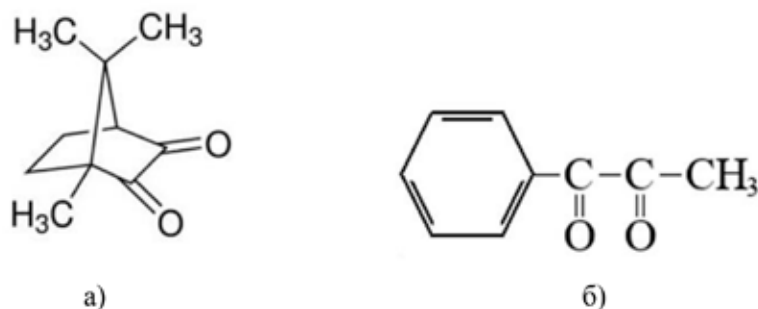


Рис. 2. Структурные формулы веществ, входящих в состав инициатора: а) камфорахинон; б) бензилпропандион

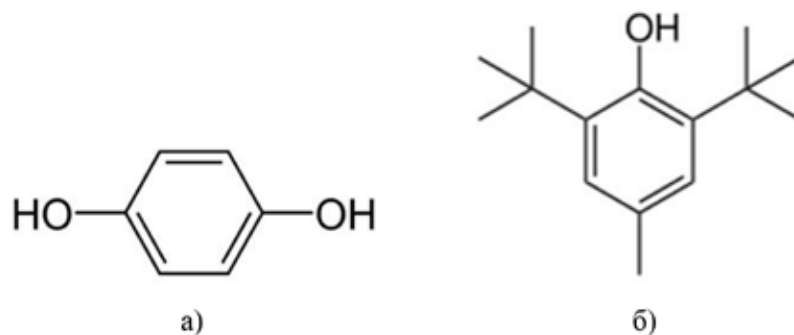


Рис. 3. Структурная формула вещества, входящего в состав стабилизатора:
а) гидрохинон; б) гидрокситолуол

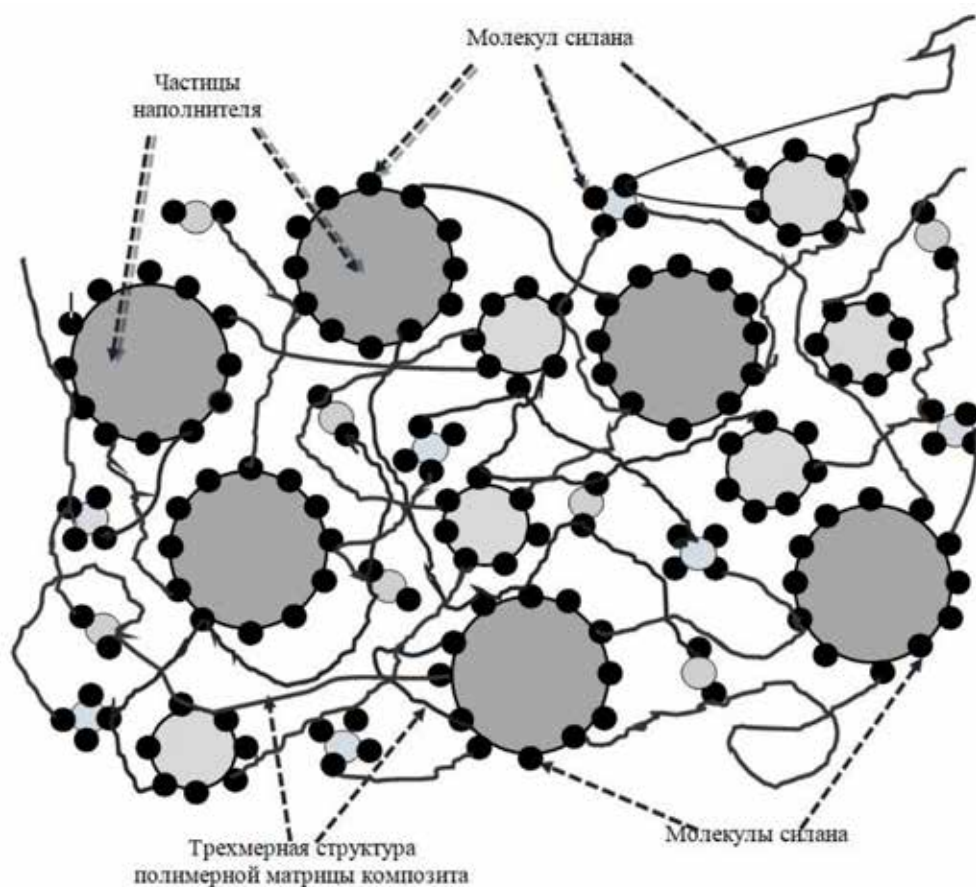


Рис. 4. Изображение композитного материала

При этом в композитные материалы входят дополнительные компоненты.

1. Инициаторы: камфорахинон (рис. 2а), фенилпропандион (рис. 2б) и иные, которые запускают реакцию с образованием свободных радикалов, что обеспечивает связь между компонентами матрицы.

2. Стабилизаторы: метиловый эфир гидрохинона (рис. 3а), гидрокситолуол (рис. 3б) и иные – препятствуют самостоятельному взаимодействию компонентов, входящих в композиционный материал.

3. Краситель: оксид алюминия (Al_2O_3), титана (TiO_2) – придает композиционному материалу необходимый цвет [3].

Таким образом, композиты представляют собой материалы, состоящие из двух или более компонентов, с четко выраженной границей раздела фаз между ними, соединение между которыми осуществляется поверхностно-активными веществами, что обеспечивает образование трехмерной структуры, которая представлена на рисунке 4.

Такой разноплановый состав материала позволяет врачу-стоматологу подобрать подходящий материал, который будет отвечать всем требованиям лечения [4].

Цель исследования: провести анализ и сравнить объективные физико-механические свойства композиционных материалов светового отверждения различного химического состава.

Материалы и методы исследования

Изучены научные работы, связанные с проблемой данной статьи; проведен анализ наиболее часто используемого на практике универсального реставрационного стоматологического материала Filtek Ultimate Universal Restorative material и наногибридного – ЭСТЕЛЮКС НК.

Химический состав Filtek Ultimate Universal Restorative material (производитель: 3M ESPE, USA) представлен полимерной матрицей – BIS-GMA, UDMA, TEGDMA, PEGDMA и bis-EMA. Характеристики композитных материалов зависят от соотношения компонентов, входящих в полимерную матрицу. Матрица на основе BIS-GMA имеет полимеризационную усадку не более 7%, быстрое отверждение по принципам свободно-радикального инициирования, хорошую прочность. При этом недостатками данного компонента являются повышенная вязкость, которая составляет при температуре 23°C – от 500 до 800 тысяч МПа·с, и хрупкость. Для уменьшения вязкости в полимерную матрицу производители добавляют TEGMA, который разбавляет структуру композита. UDMA, имея наименьшую вязкость (от 5000 до 10000 МПа·с), обеспечивает хорошую адаптацию и клеиваемость [5]. В композите Filtek Ultimate Universal Restorative material часть TEGDMA замещается на BIS-GMA и UDMA, и это способствует повышению наполненности и механической прочности. Таким образом, при работе с данным композитом отмечается низкая полимеризационная усадка (1,8%), что препятствует образованию краевой щели и обеспечивает хорошие манипуляционные свойства [6, 7, 8].

Неорганический компонент определяется размером частиц, который представлен комбинацией неагломерированного/неагрегированного 20 нм кремниевого наполнителя, неагломерированного/неагрегированного 4–11 нм циркониевого наполнителя и дисперсного циркониевого/кремниевого кластерного наполнителя (состав – частицы кремния размером 20 нм и частицы циркония размером 4–11 нм). При этом в композит входят разные количества разноразмерных частиц. Средний размер составляет

0,6–10 мкм и определяет универсальные оттенки «боди» дентина, эмали; 0,6–20 мкм у прозрачных оттенков. Доля неорганического наполнителя в композите составляет около 72,5% веса (55,6% объема) для прозрачных оттенков и 78,5% веса (63,3% объема) для всех остальных оттенков. Малый размер частиц обеспечивает высокие эстетические свойства, легкость полировки и хорошую износостойкость, так как полимерная матрица лучше защищена от истирания благодаря более плотному расположению частиц в смоле. Крупные частицы обеспечивают высокую твердость, рентгеноконтрастность, устойчивость к жевательным нагрузкам и снижают коэффициент термического расширения, но при этом отмечается шероховатость на поверхности материала.

Таким образом, стоматологический материал «Filtek Ultimate Universal Restorative material» производят в большой вариации кластерного размера, что обеспечивает хорошую наполненность материала и не влияет на ретенцию блеска. Материал обладает флюоресценцией, сходной с тканями зуба, и выраженным хамелеон-эффектом. Структура материалов-хамелеонов создает диффузное отражение света, подобное натуральным структурам зуба. Соотношение различных частиц подобрано таким образом, что вместе они образуют сложный комплекс взаимных отражений света, а благодаря их разной отражающей способности создают диффузное отражение света, которое также свойственно тканям зуба. Световой пучок проходит внутрь реставрации и отражается как от поверхности частиц наполнителя, так и от структур зуба. В результате реставрация сливается с окружающими тканями, воспринимаясь как единое целое. Благодаря мультиповерхностным структурам достигается высокий эстетический уровень [9]. Нанокластеры структурно интегрированы и обеспечивают высокую прочность на изгиб – 152,3 МПа, а при диаметральном растяжении – 77,5 МПа [6, 7]. Таким образом, рассматриваемый нами материал рекомендуется для пломбирования как передних, так и боковых групп зубов, удобен в работе и сокращает временные затраты при создании реставраций, однако имеет высокую стоимость.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ состава и свойств композитов российских производителей позволил определить наиболее качественный и широко используемый в практике наногибридный материал – ЭСТЕЛЮКС НК,

который представлен полимерной матрицей, состоящей из аналогичных для «Filtek Ultimate Universal Restorative material» составных частей, а именно: UDMA – уретандиметакрилат, BIS-GMA – бисфенол-А-глицидилметакрилат и ТГМ – триэтиленгликольдиметакрилат. За счет этих компонентов обеспечиваются прочность на изгиб не менее 50 МПа, диаметральная прочность не менее 34 МПа, что несколько уступает импортному материалу [10]. При этом сохраняются положительные качества, такие как низкая полимеризационная усадка, которая предотвращает риск образования рецидива кариеса, поскольку обеспечивает хорошее краевое прилегание.

Неорганический наполнитель российского материала представлен следующими компонентами: барьерное алюмоборосиликатное стекло ПМ-3, стеклонаполнитель GM 32087, стеклонаполнитель Nano Fine 27884. Дисперсность частиц наполнителя составляет 20–100 нм, 0,04–1,0 мкм, что создает плотную массу при пломбировании. За счет небольшого размера частиц композита сохраняются цветостабильность и легкость полировки до сухого блеска. В этих свойствах российский материал не уступает «Filtek Ultimate Universal Restorative material». Эмалевый оттенок обладает повышенной прозрачностью, которая близка к цвету эмали зуба. При этом в материале ЭСТЕЛЮКС НК также отмечается эффект хамелеона, что обеспечивает невидимую границу между эмалью зуба и реставрацией. Степень заполнения наполнителем составляет 80%, что несколько выше, чем у импортного материала, и это объясняет высокую прочность и рентгеноконтрастность.

В ЭСТЕЛЮКС НК также входят поверхностно-активное вещество – силан А-174 – и дополнительные компоненты – пигменты железистые и флуоресцирующий пигмент, стабилизатор – бутилированный гидрокситолуол и инициатор – камфорон. ЭСТЕЛЮКС НК легко моделируется, так как обладает тиксотропностью, то есть после механического давления на материал композит способен изменять свою консистенцию. Это свойство, безусловно, создает определенные удобства для врача-стоматолога в процессе работы. Анализируемый материал рекомендуется для пломбирования как передних, так и боковых групп зубов. Немаловажно отметить доступную стоимость материала.

Заключение

Анализ двух композитных материалов показал множество сходных свойств, которые обеспечивают качество и взаимное замещение друг друга. Filtek Ultimate Universal Restorative material и ЭСТЕЛЮКС НК находятся практически на одном уровне. В связи с современными событиями, связанными с наложением санкций и проведением политики импортозамещения, открываются широкие перспективы использования отечественного материала ЭСТЕЛЮКС НК, который не уступает по своим свойствам импортному.

Список литературы

1. Колодий Ю.Р., Петрова А.П., Венатовская Н.В. Инновационный нанокompозитный материал в стоматологии // Бюллетень медицинских Интернет-конференций. 2017. № 9. С. 1418-1419.
2. Федорова Н.С., Салеев Р.А. Определение понятия «Здоровье» в рамках исследования качества жизни пациентов стоматологического профиля // Вестник современной клинической медицины. 2014. № 3. С. 58-61.
3. Чистякова Г.Г., Шалухо Н.М., Изобелло Ю.Н. Физико-механические свойства композиционных материалов светового отверждения // Стекло и керамика. 2014. № 1. С. 38-40.
4. Данилова М.А., Мачулина Н.А., Шевцова Ю.В., Каменских Д.В. Клинико-экспериментальное обоснование применения различных пломбировочных материалов у детей дошкольного возраста // Стоматология детского возраста и профилактика. 2019. № 2. С. 31-36.
5. Четверикова А.И. Модификация полимерных стоматологических пломбировочных композитов функциональными олигосилоксанами и олигофосфазенами: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2016. 137 с.
6. Бутвиловский А.В., Володкевич Д.Л. Возможности и перспективы использования нового композиционного материала с хамелеон-эффектом в стоматологической практике // Современная стоматология. 2021. № 2. С. 34-36.
7. Швитко Д.Б., Марахова А.И. Актуальность изучения физико-механических и других свойств материалов, применяемых стоматологии методом сканирующей зондовой микроскопии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5-3. С. 435-439.
8. Стародубова А.В., Поюровская И.Я., Русанов Ф.С., Винниченко Ю.А. Оценка основных физико-механических свойств композитных материалов для восстановления зубов прямым методом // Стоматология. 2016. № 6-2. С. 112-113.
9. Комиссаров В.А., Петрова А.П., асс. Венатовская Н.В. Эффект хамелеона у пломбировочных стоматологических материалов // Бюллетень медицинских Интернет-конференций. 2017. № 10. С. 1560-1563.
10. Скрипкина Г.И., Гарифуллина А.Ж., Бреславская Е.А. Сравнение объективных показателей различных свойств фотокомпозитных материалов с субъективной оценкой врачей-стоматологов // Стоматология детского возраста и профилактика. 2020. № 2. URL: <https://dentalcommunity.ru/articles/2425/> (дата обращения: 14.03.2023).

УДК 616.155.194:616.9:578.834.1

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У БОЛЬНЫХ С COVID-19

Саркина А.К., Мукамбеткеримова Г.М., Джумагулова А.Ш., Эргешова А.Б.

*Кыргызская государственная медицинская академия им. И.К. Ахунбаева, Бишкек,
e-mail: infectionkgma@gmail.com*

В статье приведен сравнительный анализ гематологических показателей крови и гемостаза у умерших и выписанных больных с коронавирусной инфекцией COVID-19. Все больные имели факторы риска тяжелого течения болезни, такие как возраст старше 60 лет, мужской пол, наличие коморбидных заболеваний. При исследовании обнаружено, что в клиническом анализе крови у умерших больных достоверно чаще регистрировалась анемия (61%, уровень гемоглобина от 119 до 60 г/л, ДИ:0,001, $p<0,05$), лейкоцитоз (70%), значительная лимфопения (88,8%), у выписанных больных лишь в 9,2% (ДИ:0,001, $p<0,05$). Более чем в 50% случаев имела место тромбоцитопения в обеих группах. В биохимических показателях крови в обеих группах выявлено повышение уровня С-реактивного белка (СРБ), в то же время уровень прокальцитонина был высоким в группе умерших больных. В свертывающей системе крови отмечалось повышение уровня Д-димера в группе умерших больных, в обеих группах выявлено удлинение протромбинового времени (ПТВ) и активированного частичного тромбoplastинового времени (АЧТВ). Таким образом, изменения некоторых лабораторных показателей ассоциируются с тяжелым течением и неблагоприятным исходом болезни.

Ключевые слова: COVID-19, анемия, лейкоцитоз, лимфопения, тромбоцитопения, Д-димер, ПТВ, АЧТВ

CHARACTERISTICS OF HEMATOLOGICAL PARAMETERS IN PATIENTS WITH COVID-19

Sarkina A.K., Mukambetkerimova G.M., Djumagulova A.S., Ergeshova A.B.

*Kyrgyz State Medical Academy named after I.K. Akhunbaev, Bishkek,
e-mail: infectionkgma@gmail.com*

This article presents a comparative analysis of hematological blood parameters and hemostasis in non-survivors and discharged patients with coronavirus infection of COVID-19. All patients had risk factors for a severe course of the disease, such as age over 60 years, male gender, presence of comorbid diseases. In the clinical blood count was found that anemia (61%, hemoglobin level between 119 and 60 g/l CI:0.001 $p<0.05$), leucocytosis (70%) and lymphopenia (88.8%) were significantly more frequent in non-survivors patients than in discharged patient (CI:0.001 $p<0.05$). Thrombocytopenia occurred in more than 50% of cases in both groups. In blood chemistry the concentration of C-reactive protein (CRP) was high in both groups, while procalcitonin level was high in the non-survivors. In the blood coagulation system there was an increase of D-dimer level in the group of the dead patients, in both groups prolongation of the prothrombin time (PTT) and activated partial thromboplastin time (APTT) has been revealed. So the changes of some laboratory parameters are associated with a severe course and poor outcome of the disease.

Keywords: COVID-19, anemia, leucocytosis, lymphopenia, thrombocytopenia, D-dimer, PTT, APTT

Особенностью клинического течения коронавирусной инфекции COVID-19 является поражение многих органов и систем организма. Факторами риска тяжелого течения и неблагоприятного исхода данной инфекции являются как клинические показатели, такие как возраст больного и коморбидные заболевания, так и изменения гематологических показателей крови и системы гемостаза. В многочисленных публикациях некоторые лабораторные параметры ассоциируются с тяжелым течением болезни и повышенным риском смертности. В публикациях китайских ученых отмечено, что лимфопения выявлялась более чем у 80% у госпитализированных больных и в более чем в 92% случаев у больных, находившихся в реанимационном отделении и умерших. У больных в реанимационном отделении также выявлялась тромбоцитопения в 57,7% случаев (менее 150×10^9). Соотношение нейтрофилов к лимфоцитам

и тромбоцитов к лимфоцитам являются факторами риска неблагоприятного исхода болезни [1]. По результатам систематического обзора и метаанализа 8 исследований более чем 500 пациентов, проведенного AJ. Rodriguez-Morales и коллегами, в общем анализе крови преобладали лимфопения – в 43,5% случаев и высокие показатели скорости оседания эритроцитов (СОЭ) – в 41,8% случаев [2]. Так, в работе Ж.А. Эсеналиевой и соавторов у больных с тяжелым течением COVID-19 в Кыргызской Республике выявлены тромбоцитопения ($p<0,001$), лимфопения ($p<0,001$), лейкоцитоз ($p<0,01$) и повышенный уровень Д-димера ($p<0,01$) [3]. По результатам литературного обзора, проведенного Р.Ю. Абдуллаевым и коллегами, отмечено, что при тяжелом течении данной инфекции у больных регистрировались лейкопения у 61,1% пациентов, лимфопения в 96,1% случаев и тромбоцитопения в 57,7% случаев [4]. В статье N. Tang, D. Li и соавто-

ров у умерших больных с новой коронавирусной пневмонией отмечались достоверно высокий уровень Д-димера и фибриногена, удлинение протромбинового времени, у 71,4% умерших выявлены критерии синдрома диссеминированного внутрисосудистого свертывания (ДВС). Также у больных с тяжелым течением COVID-19 высокий уровень С-реактивного белка (СРБ) и прокальцитонина ассоциировался с тяжелым течением болезни [5, 6].

Цель исследования: сравнительный анализ клинического и биохимического анализов крови и показателей свертывающей системы у выписанных и умерших больных с лабораторно подтвержденным диагнозом COVID-19.

Материалы и методы исследования

Проведен ретроспективный анализ 108 историй болезни больных с подтвержденным диагнозом COVID-19, находившихся на лечении в РКИБ г. Бишкека в период с 2019 по 2021 годы. При анализе результатов использовался SSPS.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведен сравнительный анализ показателей клинического и биохимического анализа крови и свертывающей системы у выписанных и умерших больных. Больные были разделены на две группы: 54 больных с летальным исходом и 54 выписанных. Все больные – как выписанные, так и умершие – имели при госпитализации высокий риск тяжелого течения болезни. Факторами риска тяжелого течения и не-

благоприятного исхода болезни были возраст более 60 лет, мужской пол и наличие коморбидных заболеваний.

В группе умерших больных женщины составили 40,7% и мужчины 59,3%. Соответственно среди выписанных женщин 48,1%, а мужчин 51,8%. Таким образом, в обеих группах преобладали лица мужского пола.

Как видно на рисунке 1, в возрастной структуре в обеих группах преобладали лица старше 60 лет. Среди выписанных пациентов они составили 51,8%, а среди умерших – 62,8%.

Большинство выписанных пациентов (61,1%) поступили на первой неделе от начала болезни, в то время как умершие в 92% случаев поступили на 2-й неделе болезни, что, вероятно, сыграло роль в исходе болезни (табл. 1).

В группе умерших у всех больных были коморбидные заболевания, такие как коронарная болезнь сердца (50%), артериальная гипертензия (44,4%), хронические болезни печени (31,4%), хронические болезни почек (29,6%), сахарный диабет (27%), хронические болезни легких (7,4%) и ожирение (7%). А в группе выписанных больных коморбидные заболевания встречались в 37% случаев и в основном у лиц старше 60 лет.

В группе выписанных в 92,6% (n=50) случаях больные не получали медикаментозного лечения на догоспитальном этапе, в то время как умершие больные в 70,4% (n=38) случаях находились на амбулаторном лечении. Из них 71% (n=27) больных получали антибактериальную, 15,8% (n=6) антикоагулянтную, 10,5% (n=4) инфузионную и 5,2% (n=2) гормональную терапию.

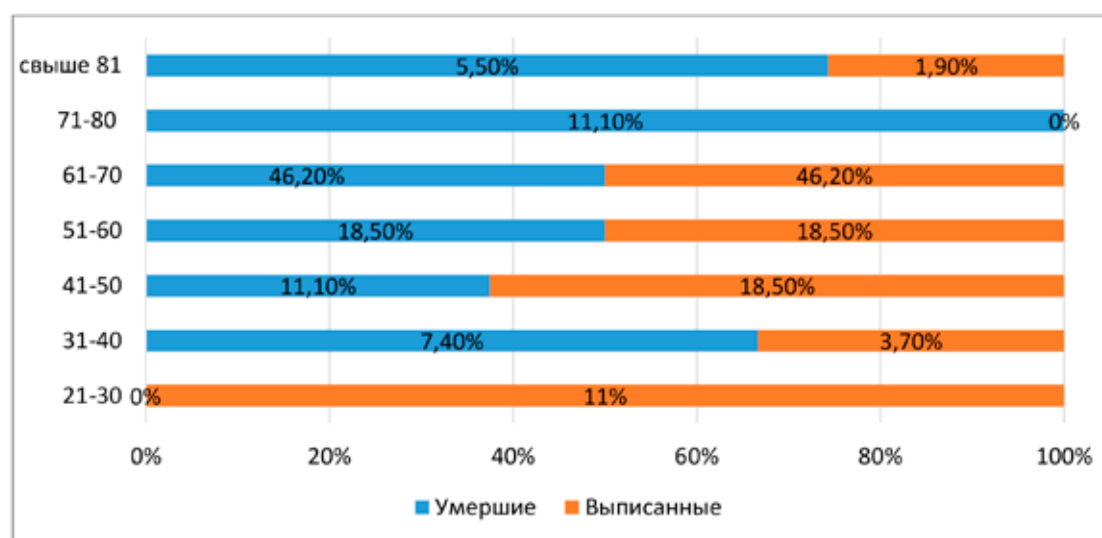


Рис. 1. Возрастная структура исследуемых больных

Таблица 1

День болезни на момент госпитализации больных

День болезни на момент госпитализации	Умершие		Выписанные		m±M
	Число	Процент	Число	Процент	
1–3			6	11,1%	2,0±0,001
4–7	4	7,4%	27	50%	1,8±0,01
8–10	25	46,2%	15	27,7% ⁰⁰	1,3±0,4
11–15	24	44,4%	4	7,4%	1,1±0,3
Более 16	1	1,9%	2	3,7%	1,6±0,5
	54	100%	54	100%	

Таблица 2

Коморбидные заболевания у умерших и выписанных больных

Возраст	Умершие (n=54)							Выписанные (n=54)					
	КБС	СД	ГБ	Ожирение	Почки	Легкие	Печень	КБС	СД	ГБ	Ожирение	Почки	Легкие
21–30								1	1	3			
31–40	1		1				1						
41–50	0	1	2		4		2		1	2	1		
51–60	4	3	8		4	1	4			2		1	
61–70	17	8	17	2	10	2	6	3	5	12	3	1	1
71–80	3	2	3		2		3						
Свыше 81	2	1	3		2	1	1			1			

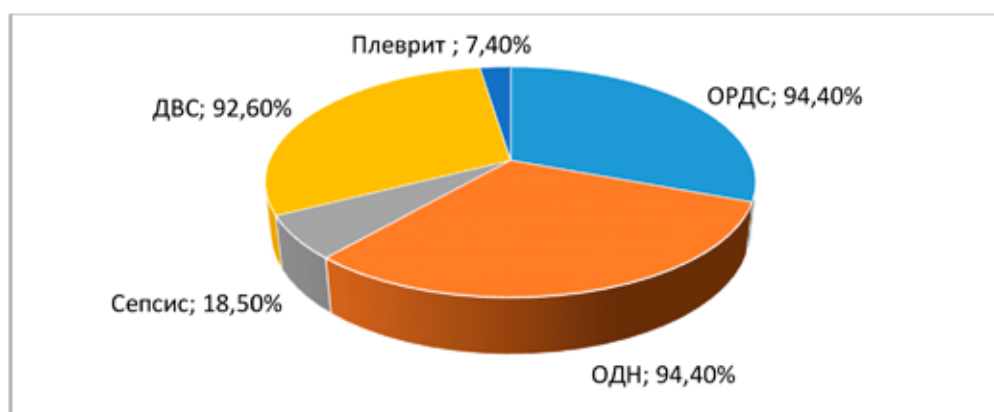


Рис. 2. Структура осложнений у умерших больных

Основными причинами смерти больных с COVID-19 явились острая дыхательная недостаточность и острый респираторный дистресс-синдром, а также развитие ДВС-синдрома. Развитие сепсиса в исходе болезни отмечалось у 18,5% больных (рис. 2).

Показатели клинического анализа крови могут быть индикаторами тяжести течения и неблагоприятного исхода болезни. Во многих литературных обзорах описано,

что у больных с тяжелым течением инфекции выявлялась анемия. При анализе клинических показателей крови у 54 умерших и 54 выписанных больных с COVID-19 выявлено различие уровня гемоглобина. В нашем исследовании достоверно чаще регистрировалась анемия у умерших больных – в 61% (n=33) случаев (уровень гемоглобина от 119 до 60 г/л ДИ:0,001 p<0,05), в то время как у выписанных анемия выявлена у 7,4%

(n=4) больных. Таким образом, снижение уровня гемоглобина может указывать на прогрессирование заболевания. Показатели гемограммы у обеих групп представлены в таблице 3.

Согласно данным многочисленных исследований, показателями развития воспаления и цитокинового шторма при COVID-19 являются лейкоцитоз, лимфопения и ускоренная СОЭ. В нашем исследовании, как видно из таблицы 3, у 88,8% (n=48) умерших больных выявлялась значительная и устойчивая лимфопения, причем критическое снижение лимфоцитов от 8 до 1% выявлено у 30 умерших, что составило 50,6%. Напротив, у выписанных пациентов эти показатели отличались (ДИ:0,001 p<0,05). Лимфопения у выписанных больных наблюдалась лишь в 9,2% (n=5) случаев, содержание лимфоцитов варьировало от 19 до 9%. Лейкоцитоз отмечался только у 70% (n=38) умерших больных. Ускоренная СОЭ выявлена у 46 умерших, что составило 85,1%, и у 27 выписанных больных, что составило 50% (ДИ:0,002 p<0,05). Таким образом, у умерших больных выявленные лейкоцитоз и лимфопения коррелировали с тяжестью течения инфекции.

Нормальный уровень тромбоцитов выявлен у более чем 50% больных, как умерших (63%), так и выписанных (75,9%) (ДИ:0,04 p<0,05).

Тромбоцитопения была выявлена у 31,5% (n=17) умерших больных, и показатели варьировали от 149 до 40×10^3 /мкл, а тромбоцитоз был выявлен у 5,55% (n=3) больных. Соответственно у 24% (n=13) выписанных больных выявлена умеренная тромбоцитопения, и показатели варьировали от 149 до 101×10^3 /мкл.

Маркерами воспаления являются такие показатели, как С-реактивный белок (СРБ), прокальцитонин. Эти показатели ассоциируются с воспалением и прогрессированием тяжести болезни. При анализе биохимических показателей крови выявлено, что у умерших и выписанных больных отмечалось повышение СРБ (7–768 мг/л): в группе умерших у 50 больных, что составило 92,6%, в группе выписанных соответственно 90,7%. Уровень прокальцитонина был высоким – от 2,0 до 50 нг/мл в группе умерших у 23 больных, что составило 42,6%, в группе выписанных у 53 больных уровень прокальцитонина был в пределах нормы (ДИ:0,001 p<0,05) (табл. 4).

Таблица 3

Анализ гематологических показателей

	Умершие	Выписанные	p
Гемоглобин			
Норма (120–180 г/л)	21 (38,9%)	50 (92,6%)	0,0012
Анемия (90–119 г/л)	20 (37%)	4 (7,4%)	0,001
(89–60 г/л)	13 (24%)	0	
Тромбоциты			
Норма ($150-400^9$ *л)	34 (63%)	41 (75,9%)	0,04
Тромбоцитопения ($101-149^9$ *л)	11 (20,4%)	13 (24%)	0,06
($40-100^9$ *л)	6 (11,1%)	0	
Тромбоцитоз (более 400^9 *л)	3 (5,5%)	0	0,01
Лейкоциты			
Норма ($4-10 \times 10^9$ *л)	14 (26%)	47 (87%)	0,001
Лейкопения ($1-3,9 \times 10^9$ *л)	2 (3,7%)	7 (13%)	0,02
Лейкоцитоз ($10-21 \times 10^9$ *л)	38 (70,3%)	0	0,001
Лимфоциты			
Норма (18–40%)	4 (7,4%)	37 (68,5%)	0,006
Лимфопения (17–9%)	18 (33,3%)	5 (9,2%)	0,001
(8–1%)	30 (55,6%)		
Лимфоцитоз (более 40%)	2 (3,7%)	12 (22,2%)	0,004
СОЭ			
Норма (1–15 мм/ч)	8 (14,8%)	27 (50%)	0,002
Ускоренная (16–80 мм/ч)	46 (85,1%)	27 (50%)	0,001

Таблица 4

Сравнительный анализ маркеров воспаления у умерших и выписанных больных

	Умершие	Выписанные	p
СРБ			
Норма (4–6 мг/л)	4 (7,4%)	5 (9,3%)	0,1
Повышенный (7–768 мг/л)	50 (92,6%)	49 (90,7%)	0,014
Прокальцитанин			
Норма (до 1,9 нг/мл)	31 (57,4%)	53 (98,1%)	0,001
Высокий (2,0–50 нг/мл)	23 (42,6%)	1 (1,9%)	0,001

Таблица 5

Показатели свертывающей системы крови

	Умершие	Выписанные	p
Фибриноген			
Норма (200–400 мг)	9 (16,7%)	11 (20,4%)	0,01
Снижение (меньше 199–100 мг)	1 (1,9%)	1 (1,9%)	0,9
Повышение (401–1250 мг)	44 (81,5%)	42 (77,8%)	0,01
Д-димер			
Норма (до 0,59 мг/мл)	12 (22,2%)	39 (72,2%)	0,001
Повышенный (1–5 мг/мл)	23 (42,5%)	15 (27,8%)	0,003
(6–10 мг/мл)	19 (35,1%)	0	0,001
ПТВ			
Норма (до 16 секунд)	1 (1,8%)	5 (9,2%)	0,02
Увеличение (17–20 секунд)	51 (94%)	49 (90,7%)	0,03
Умеренное увеличение (свыше 21 секунды)	2 (3,7%)	0	
ПТИ			
Норма (80–110%)	48 (88,9%)	53 (98,1%)	0,007
Понижен (меньше 79%)	4 (7,4%)	1 (1,8%)	0,02
АЧТВ			
Норма (24–35 секунд)	4 (7,4%)	7 (12,9%)	0,05
Повышен (36–70 секунд)	24 (44,4%)	24 (44,4%)	0,9
Умеренно высокое (свыше 71 секунды)	26 (48,1)	23 (42,5%)	0,07

Изменения показателей свертывающей системы крови служат неблагоприятным прогностическим фактором у пациентов с COVID-19. Проявлениями изменений в системе гемостаза являются повышенный уровень Д-димера, снижение количества тромбоцитов, повышение фибриногена и показателя активированного частичного тромбопластинового времени (АЧТВ). В проведенном нами анализе уровня Д-димера установлено, что в группе умерших больных в 77,8% (n=42) случаев отмечался повышенный уровень Д-димера в плазме крови (ДИ: 0,003 p<0,05). Содержание Д-димера в крови колебалось от 1 до 10 мг/мл. У выписанных повышен-

ный уровень Д-димера выявлен в 27,8% случаев и колебался от 1 до 5 мг/мл.

Анализ показателей свертывающей системы крови у исследуемых больных показал, что повышение концентрации фибриногена, удлинение протромбинового времени (ПТВ) и увеличение длительности АЧТВ отмечались как у умерших, так и у выписанных больных. Повышение концентрации фибриногена выявлено в 81,5% (n=44) случаев у умерших больных и в 77,8% (n=42) случаев у выписанных. Удлинение ПТВ наблюдалось у 97,3% (n=53, от 17 и выше 21 секунды) умерших и у 90,7% (n=49, от 17 до 20 секунд) выписанных больных. В обеих группах отмечалось увеличе-

ние длительности АЧТВ: у 92,6% (n=50) умерших и у 87,0% выписанных (n=47) больных, что свидетельствует о развитии ДВС-синдрома в анализируемых случаях (табл. 5).

Заключение

При анализе гемограммы установлено, что достоверно чаще в группе умерших больных выявлялись такие гематологические изменения, как анемия (61,1%), выраженная лимфопения (88,9%), лейкоцитоз (70%), ускоренная СОЭ (85,1%).

Анализ биохимических показателей крови показал, что повышение уровня СРБ обнаружено как в группе умерших (92,6%), так и в группе выписанных больных (90,7%). Высокий уровень прокальцитонина выявлен только в группе умерших больных (42,6%). Данные показатели ассоциировались с тяжелым течением болезни в обеих группах и возможным присоединением бактериальной инфекции у умерших больных, находившихся в реанимационном отделении.

В обеих группах имело место нарушение гемостаза, а именно повышение содержания фибриногена, увеличение ПТВ и АЧТВ, что является маркером развития ДВС-синдрома. Достоверно чаще высо-

кий уровень Д-димера (77,8%) отмечался в группе умерших больных.

Таким образом, выявленные изменения гематологических показателей крови и гемостаза, такие как анемия, лимфопения, высокий уровень Д-димера, ассоциировались с прогрессирующим течением и неблагоприятным исходом болезни.

Список литературы

1. Terpos E., Ntanasis-Stathopoulos I., Elalamy I., et al. Hematological findings and complications of COVID-19 // *Am J Hematol.* 2020. DOI: 10.1002/ajh.25829.
2. Rodriguez-Morales A.J., Cardona Ospina J.A. Clinical, laboratory and imaging features of COVID19: A systematic review and meta-analysis. *Travel Med Infect Dis // MEDLINE-Pesquisa.bvsalud.org.* 2020. Vol. 34. Is. 101623. P. 29-32.
3. Эсеналиева Ж.А., Бримкулов Н.Н., Сулайманов Ш.А. Клинико лабораторная характеристика больных COVID-19 в Ошской области кыргызстана // *Здравоохранение Кыргызстана.* 2022. № 1. С. 39-45.
4. Rizvan Yu. Abdullaev et al. Changes in markers of hematological, biochemical and coagulological blood tests with coronavirus covid-19 infections // *Consilium Medicum.* 2020. Vol. 22 (11). P. 51–55.
5. Zhang J., Dong X. et al. Clinical characteristics of 140 patients infected with SARS-CoV-2 in Wuhan, China // *Allergy.* 2020. Vol. 75(7). DOI: 10.1111/all.14238. P. 1730-1741.
6. Ning Tang, Dengju Li, Xiong Wang, Ziyong Sun Abnormal coagulation parameters are associated with poor prognosis in patients with novel coronavirus pneumonia // *J Thromb Haemost.* 2020. Vol. 18(4). P. 844–847. DOI: 10.1111/jth.14768.

УДК 616-08:616.381-002-092.9

ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕРАПИИ МОНООКСИДОМ АЗОТА С УРОВНЯМИ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ И ПЕРИТОНЕАЛЬНОМ ЭКССУДАТЕ У КРЫС С ЭШЕРИХИОЗНЫМ ПЕРИТОНИТОМ

**Чукарев В.С., Жидовинов А.А., Луцева О.А.,
Коханов А.В., Сайдулаев В.А., Голубкина С.А.**

*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет Минздрава России»,
Астрахань, e-mail: agma@astranet.ru*

Цель исследования: улучшение результатов лечения бактериального перитонита у крыс путем санации брюшной полости монооксидом азота и оценка эффекта NO-терапии на уровни биохимических индикаторов в сыворотке крови и перитонеальном экссудате у крыс. В экспериментах на крысах с эшерихиозным перитонитом изучены эффекты санации брюшной полости крыс газовым потоком монооксида азота с помощью аппарата «Плазон». В крови и перитонеальном экссудате у подопытных крыс после эвтаназии определяли уровни четырех индикаторов: титр антител к *E.coli*, пептид лактоферрицин, лизоцим и кишечную щелочную фосфатазу. В группе из 6 крыс (группа II) уровни антител к *E.coli*, ЛФЦ, ЛЗЦ и КЩФ в крови и перитонеальном экссудате статистически достоверно отличались от контрольных значений группы I. После процедуры NO-терапии брюшной полости у 6 крыс группы III статистически достоверные различия с группой I и в крови, и в перитонеальном экссудате характерны для уровней антител к *E.coli*, ЛЗЦ и КЩФ. При сопоставлении между собой II и III групп установлено, что у крыс с эшерихиозным перитонитом, леченных и не леченных NO-терапией, в сыворотке крови АТ к *E.coli* и ЛЗЦ отменяют явления перитонита на 79 и 78% соответственно, а ЛФЦ и КЩФ – до 50%, а в перитонеальном экссудате более существенно: 29% для АТ к *E.coli*, 26% для ЛФЦ, 43% для ЛЗЦ и 37% для КЩФ. Введение в брюшную полость крыс с эшерихиозным перитонитом монооксида азота за счет бактерицидного действия NO улучшает метаболизм в стенке кишки, о чем свидетельствуют результаты определения уровней антител к *E.coli*, лактоферрицина, лизоцима и кишечной щелочной фосфатазы.

Ключевые слова: эшерихиозный перитонит, крысы, санация брюшной полости монооксидом азота, биохимические показатели в крови, перитонеальном экссудате

RELATIONSHIP OF NITRIC MONOXIDE THERAPY WITH LEVELS OF BIOCHEMICAL PARAMETERS IN BLOOD SERUM AND PERITONIAL EXSUDATE IN RATS WITH ESCHERICHIOS PERITONITIS

**Chukarev V.S., Zhidovinov A.A., Lutseva O.A.,
Kokhanov A.V., Saidulaeva V.A., Golubkina S.A.**

Astrakhan State Medical University, Astrakhan, e-mail: agma@astranet.ru

The aim of the study was to improve the results of treatment of bacterial peritonitis in rats by debridement of the abdominal cavity with nitrogen monoxide and to evaluate the effect of NO-therapy on the levels of biochemical indicators in blood serum and peritoneal exudate in rats. Materials and methods. In experiments on rats with escherichial peritonitis, the effects of debridement of the abdominal cavity of rats with a gas flow of nitrogen monoxide using the Plazon apparatus were studied. In the blood and peritoneal exudate of experimental rats after euthanasia, the levels of four indicators were determined: antibody titer to *E.coli*, lactoferricin peptide, lysozyme, and intestinal alkaline phosphatase (IAP). Research results. In the group of 6 rats (Group II), the levels of antibodies to *E.coli*, lactoferricin, lysozyme and IAP in the blood and peritoneal exudate were statistically significantly different from the control values of group I. After the procedure of NO-therapy of the abdominal cavity in 6 rats of group III, statistically significant differences with group I both in the blood and in the peritoneal exudate are characteristic of the levels of antibodies to *E.coli*, lysozyme and IAP. When comparing groups II and III, it was found that in rats with escherichial peritonitis, treated and untreated with NO-therapy, in the blood serum of АТ to *E.coli* and lysozyme cancel the phenomena of peritonitis by 79 and 78%, respectively, and lactoferricin and IAP up to 50%, and in the peritoneal exudate it is more significant: 29% for antibodies to *E.coli*, 26% for lactoferricin, 43% for lysozyme and 37% for IAP. Conclusions. The introduction of nitrogen monoxide into the abdominal cavity of rats with escherichial peritonitis, due to the bactericidal action of NO, improves metabolism in the intestinal wall, as evidenced by the results of determining the levels of antibodies to *E. coli*, lactoferricin, lysozyme, and IAP.

Keywords: escherichial peritonitis, rats, sanitation of the abdominal cavity with nitrogen monoxide, biochemical parameters in the blood, peritoneal exudate

Одним из важных элементов лечения распространённого перитонита является эффективная санация брюшной полости. В настоящее время для санации брюшной полости наряду с антибиотиками применяются различные антисептики: гипохлорит натрия, озон, перфторан и другие окислители, композиции на основе серебра, моноок-

сид азота и другие газы, обладающие анти-микробным действием [1, 2].

Было установлено, что простейшее химическое соединение – оксид азота (NO) непрерывно продуцируется в организме человека и животных ферментативным путем при участии NO-синтазы (NOS), выполняя функции универсального регулятора раз-

нообразных биологических и физиологических процессов [3, 4]. Как регулятор оксид азота участвует в регуляции тонуса кровеносных сосудов, выступая в качестве вазорелаксирующего фактора. Он подавляет агрегацию тромбоцитов и их адгезию на стенках сосудов [5]. Значение эндогенного монооксида азота при воспалении связано с его антимикробным эффектом [6].

Для оценки эффекта NO-терапии на ткани при перитоните [6, 7, 8], помимо общепринятых индикаторов оценки эндотоксикоза (ЛИИ, МСМ, эффективной концентрации альбумина), особую ценность представляют специфические показатели перитонита в крови и перитонеальном экссудате, свидетельствующие о степени микробного повреждения кишечника. Среди таких индикаторов представляют интерес кишечная изоформа щелочной фосфатазы, лизоцим и сходный с калпротектином и лактоферрином пептид лактоферрицин [9, 10, 11]. Лактоферрин – железосвязывающий белок, который является компонентом иммунной системы организма и имеет первостепенное значение для антибактериальной защиты [12, 13]. Лактоферрин ингибирует бактериальный рост как путем связывания свободного железа, так и опосредованно через эффекты бактерицидного пептида лактоферрицина (ЛФЦ). Этот бактерицидный домен за счет специфического распределения заряженных участков по поверхности макромолекулы образует сайт связывания для бактериального липополисахарида (LPS) [10, 12]. По литературным данным, ЛФЦ в 9 раз эффективнее в уничтожении бактерий, чем интактный лактоферрин [10].

Учитывая, что у известного фермента щелочной фосфатазы (ЩФ) существует специфическая кишечная изоформа (КЩФ), активность которой повышается при различной хирургической патологии, в частности при бактериальных инфекциях, представляется полезным включение этого диагностического показателя в комплекс биохимических индикаторов при изучении экспериментального бактериального перитонита [14, 15].

Цели исследования – определение улучшения результатов лечения бактериального перитонита у крыс путем санации брюшной полости монооксидом азота и оценка эффекта NO-терапии на уровни биохимических индикаторов в сыворотке крови и перитонеальном экссудате у крыс.

Материалы и методы исследования

Эксперименты выполнены на 22 белых лабораторных крысах-самцах линии Wistar, возраста 8–10 месяцев, массой 180–

250 г, содержащихся в условиях стандартного вивария (согласно решению Совета Евразийской экономической комиссии № 79 от 03.11.2016 г. «Об утверждении Правил надлежащей клинической практики Евразийского экономического союза», приказа Министерства здравоохранения РФ № 199н от 01.04.2016 г. «Об утверждении Правил лабораторной практики», нормативно-правовых актов Российской Федерации в области биомедицинских исследований, Устава ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России и иных локальных нормативных актов ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России).

Перитонит у крыс моделировали внутрибрюшинным введением 1,0–1,5 мл взвеси *E.coli* в концентрации 10^{15} . В данной модели развивающийся у крыс перитонит характеризуется быстро нарастающей интоксикацией, нарушением кишечной моторики, выраженными микроциркуляторными расстройствами.

Животных разделяли на 3 группы. Крысам I группа (сравнения), представленной 10 интактными животными, в первый день эксперимента однократно в брюшную полость инъекционным путем вводили стерильный физиологический раствор в количестве 2,0 мл. Крысам II и III группы эксперимента из 6 самцов каждая в первый день эксперимента моделировали перитонит однократным внутрибрюшинным введением взвеси 2×10^{15} микробных тел *E.coli* в 2 мл физиологического раствора.

Спустя 24 часа под эфирным наркозом 12 крысам II и III групп выполнены срединная лапаротомия и ревизия органов брюшной полости. Санация органов брюшной полости 6 крыс II групп ограничивалась промыванием брюшной полости стерильным физиологическим раствором и ушиванием раны кетгутовым швом. Санация брюшной полости 6 крыс III группы включала установку в отверстие в брюшной полости дренажной трубки, через наконечник которой с помощью аппарата «Плазон» подавался охлажденный NO-содержащий газовый поток. По завершении процедуры NO-терапии и промывания брюшной полости физиологическим раствором рана ушивалась наглухо.

В конце эксперимента в соответствии с приказом Минздрава РФ от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении Правил лабораторной практики» (зарегистрирован в Минюсте России 15.08.2016 года № 43232), локальными нормативными актами ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России о «Порядок проведения эвтаназии (умерщвления животного)», выписками из протокола заседания локального этического коми-

тета № 4 от 19.05.2022 г. все лабораторные животные умерщвлялись передозировкой эфирного наркотика.

Концентрации пептида лактоферрина (ЛФЦ) в исследуемых образцах определяли на спектрофотометре «Вестан DU-65» и выражали в е.о.п. / мл.

Содержание лизоцима (ЛЗЦ) в образцах сывороток и перитонеального экссудата определяли количественным колориметрическим микрометодом с тест-культурой убитых ацетоном бактерий *Micrococcus lysodecticus* [12] и выражали в усл.ед / мл.

Исследование щелочной фосфатазы выполнено на автоматическом биохимическом анализаторе AU 5800 «Beckman Coulter, США». Для определения КЩФ одновременно с ЩФ во все образцы исследуемого биоматериала вносили специфический ингибитор L-гомоаргинин до концентрации 5 ммоль/л. Результаты определения ЩФ и КЩФ в сыворотках крови измеряли в Ед/л.

Титр антител к *E.coli* класса IgG крысы определяли с помощью перекрестно реагирующих реагентов, содержащих антитела к IgG человека, иммунохимическим методом Манчини (чувствительность метода 5 мкг/мл).

Полученные результаты обработаны статистически с помощью приложения Excel из пакета Microsoft Office. Проверка нормальности распределения, проведенная на основании оценки эксцесса и асимметрии, показала отсутствие нормального распределения в группах, в связи с чем результаты представлены в виде медианы, 25-го и 75-го квартилей и межквартильного размаха, а для проверки статистических различий в малых группах использовался непараметрический критерий U Вилкоксона–Манна–Уитни. Различия считались достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследований и их обсуждение

У крыс I группы, получавших внутрибрюшинно стерильный физиологический раствор, при ревизии брюшной полости патологических процессов не отмечалось. У крыс II и III групп после введения инфекционного агента при ревизии брюшной полости обнаружены признаки разлитого гнойного перитонита.

Крысам III группы (NO-терапия), предельной 6 животными, на третьи сутки эксперимента на фоне разлитого гнойного перитонита проводили терапию экзогенным оксидом азота, подаваемым в брюшную полость в виде воздушно-плазменного потока (ВПП), генерируемого воздушно-плазменным аппаратом СКВП/NO-01 «Плазон».

Для этого под наркозом крысу фиксировали к операционному столику. Пунктировали брюшную полость иглой в проекции белой линии живота и устанавливали в брюшную полость дренаж, который фиксировали двумя швами. После установки в отверстие дренажной трубки через металлический наконечник длиной 100 мм и диаметром выходного канала 0,7 мм в брюшную полость подавали охлажденный NO-содержащий газовый поток.

Для профилактики скопления высокой концентрации NO в определенных участках брюшной полости у фиксированного животного наконечник перемещали по брюшной полости массирующими движениями со скоростью луча 3 см в секунду. При этом размеры дренажной трубки обеспечивали зазор для выхода газа и профилактики избыточного давления в брюшной полости.

В контрольной группе I из десяти крыс манипуляции были представлены однократным введением физиологического раствора. Значения уровней антител к эшерихии коли, лактоферрина, лизоциму и кишечному изоферменту щелочной фосфатазы в сыворотке крови и перитонеальном экссудате у 10 крыс контрольной группы I составили (таблица): 0,018 и 0,019 г/л для АТ к *E.coli*, 0,516 и 0,140 опт.ед/мл для ЛФЦ, 3,011 и 1,225 усл.ед/мл для ЛЗЦ и соответственно 11,87 и 1,810 уе/л для КЩФ. Причем, кроме АТ к *E.coli*, для трех остальных показателей их концентрации в перитонеальном экссудате были статистически достоверно ниже сывороточных уровней ($p < 0,05$).

В группе II (перитонит) из шести крыс моделировали перитонит внутрибрюшинным введением взвеси *E.coli* в концентрации 2×10^{15} микробных тел, на третьи сутки выполняли срединную лапаротомию, проводили санацию органов брюшной полости с ушиванием операционной раны однорядным обвивным кетгутовым швом. После эвтаназии в крови и перитонеальном экссудате 6 крыс в группе II значения этих четырех индикаторов составили (таблица): 4,175 и 6,84 г/л для АТ к *E.coli*, 1,81 и 1,94 опт.ед/мл для ЛФЦ, 13,93 и 30,46 усл.ед/мл для ЛЗЦ и соответственно 62,32 и 74,70 уе/л для КЩФ. Все 8 показателей, представленных в таблице, статистически достоверно отличали группу II (перитонит) от контрольной группы I (таблица). Причем ни один из изученных показателей в группе II не позволил статистически достоверно отличить сывороточные уровни от их же уровней в перитонеальном экссудате.

В группе III (НО-терапия) из 6 крыс моделировали перитонит внутрибрюшинным введением взвеси *E.coli* в концентрации 2×10^{15} микробных тел, на третьи сутки выполняли срединную лапаротомию, проводили санацию органов брюшной полости с ушиванием операционной раны однорядным обвивным кетгутовым швом. На третьи сутки проводили НО-терапию аппаратом «Плазон», а после эвтаназии в крови и перитонеальном экссудате крыс оценивали значения четырех биохимических показателей. Значения этих индикаторов у 6 крыс в группе III составили (таблица): 3,30 и 1,98 г/л для АТ к *E.coli*, 0,91 и 0,51 опт.ед/мл для ЛФЦ, 10,86 и 13,05 усл.ед/мл для ЛЗЦ и соответственно 31,17 и 27,58 уе/л для КЩФ. Причем шесть показателей из восьми, представленных в таблице (АТ к *E.coli*, ЛЗЦ и КЩФ), статистически достоверно отличали группу III (НО-терапия перитонита) от контрольной группы I (таблица). Причем ни один из изученных показателей в группе III не позволял статистически достоверно отличить сывороточные уровни от их же уровней в перитонеальном экссудате.

Установлено, что у крыс с эшерихиозным перитонитом, леченным и не леченным НО-терапией, в сыворотках крови АТ к *E.coli* и ЛЗЦ отменяют явления перитонита только на 79 и 78% соответственно, а ЛФЦ и КЩФ – ровно в два раза, до 50%. Причем только КЩФ уменьшают явления перитонита на фоне НО-терапии статистически достоверно ($p=0,037$).

В перитонеальном экссудате у крыс с эшерихиозным перитонитом, леченным НО-терапией, угнетение показателей относительно изменений в перитонеальном экссудате у крыс II группы с перитонитом более существенно: 29% для АТ к *E.coli*, 26% для ЛФЦ, 43% для ЛЗЦ и 37% для КЩФ, причем для АТ к *E.coli* ($p=0,007$) и КЩФ ($p=0,026$) различия статистически достоверны (таблица). Отсутствие достоверных эффектов НО-терапии перитонита (отношение группы III к группе II) для ЛФЦ и ЛЗЦ при проведенных исследованиях на крысах объясняется небольшим объемом групп животных и диагностическими возможностями методов, использованных для определения ЛФЦ и ЛЗЦ в данной работе.

Результаты определения четырех биохимических показателей в сыворотке крови и перитонеальном экссудате у крыс с эшерихиозным перитонитом на фоне НО-терапии

Показатель		Медиана (Ме) и размах между 25-м и 75-м квартилями			
		контроль	Эшерихиозный перитонит	НО-терапия перитонита	отношение групп III к II в %
		Группа I n=10	Группа II n=6	Группа III n=6	
АТ к <i>E.coli</i> г/л	Кровь	0,018 [0,011; 0,031]	4,175* [3,025; 6,338] $p=0,0003$	3,300* [2,420; 6,265] $p=0,002$	79% $p=0,806$
	Экссудат	0,019 [0,013; 0,029]	6,840* [5,205; 8,663] $p=0,0002$	1,980* [1,250; 2,875] $p=0,001$	29%* $p=0,007$
ЛФЦ опт.ед/мл	Кровь	0,516 [0,395; 0,561]	1,810* [1,110; 2,448] $p=0,011$	0,910 [0,491; 1,245] $p=0,153$	50% $p=0,102$
	Экссудат	0,140 [0,106; 0,193]	1,940* [0,994; 2,765] $p=0,003$	0,510 [0,047; 1,800] $p=0,141$	26% $p=0,411$
ЛЗЦ усл.ед/мл	Кровь	3,011 [1,476; 5,386]	13,930* [10,188; 18,004] $p=0,004$	10,860* [9,519; 15,528] $p=0,003$	78% $p=0,683$
	Экссудат	1,225 [1,084; 1,347]	30,460* [17,411; 51,995] $p=0,009$	13,051* [7,419; 26,491] $p=0,025$	43% $p=0,215$
КЩФ уе/л	Кровь	11,868 [10,377; 13,637]	62,317* [50,377; 78,248] $p=0,003$	31,165* [30,309; 43,803] $p=0,006$	50%* $p=0,037$
	Экссудат	1,810 [1,254; 2,256]	74,700* [47,800; 95,605] $p=0,0006$	27,575* [18,438; 36,841] $p=0,0005$	37%* $p=0,026$

Примечание: * – статистически значимые различия с контролем.

Выводы

Установлено, что введение в брюшную полость крыс с эшерихиозным перитонитом монооксида азота с помощью аппарата «Плазон» за счет бактерицидного действия NO улучшает метаболизм в стенке кишки, о чем свидетельствуют результаты определения в крови крыс уровней четырех маркеров.

В сыворотке крови уровни антител к *E.coli* при эшерихиозном перитоните у крыс возрастают в 230 раз по сравнению с контрольными животными и только в 180 раз на фоне NO-терапии перитонита, а в перитонеальном экссудате – в 360 и 100 раз соответственно. На высокую диагностическую ценность определения антител к *E.coli* для оценки эффективности NO-терапии указывает статистически достоверное ($p=0,007$) снижение в перитонеальном экссудате отношения между группами III и II.

В сыворотке крови уровни лактоферрина при эшерихиозном перитоните у крыс возрастают в 3,5 раза по сравнению с контрольными животными и только в 1,7 раза – на фоне NO-терапии перитонита, а в перитонеальном экссудате – в 13,9 и 3,6 раза соответственно. Несмотря на сильное понижение уровня ЛФЦ в перитонеальном экссудате под влиянием NO-терапии перитонита (до 26%), снижение отношения между группами III и II статистически незначимо ($p=0,4$).

В сыворотке крови уровни лизоцима при эшерихиозном перитоните у крыс возрастают в 4,6 раза по сравнению с контрольными животными и незначительно уменьшаются (до 3,6 раза) на фоне NO-терапии перитонита, а в перитонеальном экссудате содержание лизоцима изменяется в 25 и 10 раз соответственно. Несмотря на понижение уровня ЛЗЦ в перитонеальном экссудате под влиянием NO-терапии перитонита (до 43%), снижение отношения между группами III и II статистически незначимо ($p=0,215$).

В сыворотке крови уровни кишечной щелочной фосфатазы при эшерихиозном перитоните у крыс возрастают в 5,25 раза по сравнению с контрольными животными и в 2,63 раза на фоне NO-терапии перитонита, а в перитонеальном экссудате – в 41,3 и 15,2 раза соответственно. На высокую диагностическую ценность определения уровней КЩФ для оценки эффективности NO-терапии указывает статистически достоверное снижение отношения между группами III и II и в сыворотке ($p=0,037$), и в перитонеальном экссудате ($p=0,026$).

Четыре маркера с антибактериальным потенциалом, отобранные нами для изуче-

ния бактерицидного действия монооксида азота, могут стать перспективными диагностическими инструментами в экспериментальной и клинической абдоминальной хирургии.

Список литературы

1. Гельфанд Б.Р., Кириенко А.И., Дибиров М.Д., Хачатрян Н.Н. Абдоминальная инфекция и сепсис // Инфекции в хирургии. 2017. Т. 15, № 3-4. С. 1-27.
2. Дибиров М.Д., Хачатрян Н.Н., Исаев А.И., Карсотьян Г.С., Алимова Э.Э., Костюк Е.А. Новые возможности антибактериальной терапии интраабдоминальных инфекций, вызванных полирезистентной микробной флорой // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2019. № 12. С. 74-83.
3. Ванин А.Ф. Оксид азота – универсальный регулятор биологических процессов. В кн.: NO-терапия: теоретические аспекты, клинический опыт и проблемы применения экзогенного оксида азота в медицине. М., 2001. С. 22-27.
4. Плосконос М.В. Маркёры апоптоза и их экспрессия на сперматозоидах человека // Российский иммунологический журнал. 2015. Т. 9(18), № 1-1. С. 154-155.
5. Гурьев Г.С., Москаленко В.И., Шишло В.К. Влияние NO-терапии на эндотелий кровеносных сосудов // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева. 2010. Т. 11, № 6. С. 118.
6. Мусаилов В.А., Есипов А.В., Шишло В.К. Применение монооксида азота в хирургической практике // Госпитальная медицина наука и практика. 2018. Т. 1, № 2. С. 20-27.
7. Москаленко В.И., Хрупкин В.И., Марахонич Л.А., Ефименко Н.А., Лукьяненко Е.В., Ященко В.И. Воздушно-плазменные потоки и NO-терапия – новая технология в клинической практике военных лечебно-профилактических учреждений // Военно-медицинский журнал. 2005. № 5. С. 51-54.
8. Ефименко Н.А. Руководство по применению аппарата «Плазон» в хирургической практике. М., 2003. 96 с.
9. Мусагалиев А.А., Кчибеков Э.А., Зурнаджянц В.А., Луцева О.А., Коханов А.В. Сравнительная эффективность некоторых современных биохимических маркеров в оценке степени тяжести перитонита // Вестник хирургической гастроэнтерологии. 2018. № 1. С. 56.
10. Серебряков А.А., Коханов А.В., Луцева О.А., Таспенова Г.К., Мулдашева Н.Р. Лактоферрин и лактоферрин в моче и фекалиях у больных с ургентной урологической и хирургической патологией // Современные проблемы науки и образования. 2021. №4. URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=27717> (дата обращения: 15.04.2023).
11. Мусатов О.В., Зурнаджан С.А., Коханов А.В. Активность щелочной фосфатазы сыворотки крови в зависимости от вида операции при ранах печени, селезенки и почки в эксперименте // Астраханский медицинский журнал. 2017. Т. 12, № 2. С. 63-69.
12. Зурнаджянц В.А., Кчибеков Э.А., Коханов А.В., Мусагалиев А.А., Деточкин А.Н., Воронкова М.Ю. Уровни бактерицидных белков в крови и перитонеальном экссудате у крыс при моделировании гнойного и асептического перитонита // Астраханский медицинский журнал. 2019. № 2. С. 41-50.
13. Михайличенко В.Ю., Трофимов П.С., Кчибеков Э.А., Самарин С.А., Топчиев М.А., Биркун А.А. Оценка динамики уровня лактоферрина сыворотки крови в послеоперационном мониторинге больных, прооперированных по поводу распространенного перитонита // Таврический медико-биологический вестник. 2018. № 21. С. 98-103.
14. Ефимцева Э.А., Челпанова Т.И. Щелочная фосфатаза: участие в детоксикации бактериального эндотоксина // Успехи современной биологии. 2015. Т. 135, № 3. С. 279-296.
15. Lalles J.P. Intestinal alkaline phosphatase: novel functions and protective effects // Nutr. Rev. 2014. Vol. 72. P. 82-94. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/nure.12082>.

УДК 616.89

ПОСЛЕДСТВИЯ ПАНДЕМИИ COVID-19 ДЛЯ ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ И КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ

¹Садертдинова А.Г., ¹Валиуллина Л.А., ¹Валеева Г.А., ¹Минуллина А.А., ²Давыденко В.Д.,

³Салатов Я.С., ¹Дускаева Я.Ш., ¹Султанова Э.И., ¹Асфандиярова И.В.

¹ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»

Министерства здравоохранения Российской Федерации, Уфа, e-mail: saderglu@mail.ru;

²ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва;

³ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток

Статья посвящена последствиям COVID-19. Авторами предпринята попытка оценки возможных социально-экономических последствий пандемии COVID-19, которая охватила огромное количество стран и привела к заражению большого количества людей по всему миру. Пандемия COVID-19 является угрозой не только соматическому здоровью и жизни людей, но и психическому здоровью. Рассматриваются основные проблемы, с которыми столкнулось население в связи с пандемией. Рассмотрено влияние пандемии на население и, в частности, на медицинских работников, а также взаимодействие лекарственных средств, используемых в психиатрической практике и при лечении COVID-19. Вследствие пандемии, вызванной вирусом SARS CoV-2, значительная часть населения Земли находится в частичной или полной изоляции. Данная ситуация, очевидно, внесла большие изменения в систему здравоохранения, экономическую и социальную сферу. Пандемия COVID-19 позволяет использовать психологическую поддержку как инструмент здравоохранения для наиболее уязвимых групп, к которым относится медицинский персонал, лица, имеющие психические, соматические расстройства, а также люди, которые более подвержены инфицированию COVID-19. На фоне пандемии стала актуальной проблема взаимодействия средств, применяемых для лечения COVID-19, и психотропных препаратов, применяемых для лечения психических заболеваний.

Ключевые слова: COVID-19, SARS-CoV-2, психиатрия, биотрансформация, психотропные вещества, психофармакология

THE CONSEQUENCES OF THE COVID-19 PANDEMIC ON MENTAL HEALTH AND IMPLICATIONS CLINICAL PRACTICE

¹Sadertdinova A.G., ¹Valiullina L.A., ¹Valeeva G.A., ¹Minullina A.A., ²Davydenko V.D.,

³Salatov Ya.S., ¹Duskaeva Ya.Sh., ¹Sultanova E.I., ¹Asfandiyarova I.V.

¹Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of Russian Federation,

Ufa, e-mail: saderglu@mail.ru;

²N.I. Pirogov Russian national research medical university
of the Ministry of Health of Russian Federation, Moscow;

³Far Eastern Federal University, Vladivostok

The article is devoted to the consequences of COVID-19. The authors have attempted to assess the possible socio-economic consequences of the COVID-19 pandemic, which has covered a huge number of countries and led to the infection of a large number of people around the world. The COVID-19 pandemic is a threat not only to somatic health and human life, but also to mental health. The main problems faced by the population in connection with the pandemic are considered. The impact of the pandemic on the population and, in particular, on medical workers, as well as the interaction of drugs used in psychiatric practice and in the treatment of COVID-19, is considered. Due to the pandemic caused by the SARS CoV-2 virus, a significant part of the world's population is in partial or complete isolation. This situation has obviously made great changes in the health care system, the economic and social sphere. The COVID-19 pandemic makes it possible to use psychological support as a health tool for the most vulnerable groups, which include medical personnel, people with mental and somatic disorders, as well as people who are more susceptible to COVID-19 infection. Against the background of the pandemic, the problem of the interaction of drugs used to treat COVID-19 and psychotropic drugs used to treat mental illness has become urgent.

Keywords: COVID-19, SARS-CoV-2, psychiatry, biotransformation, psychotropic, psychopharmacology

На фоне пандемии, вызванной вирусом SARS CoV-2, значительная часть населения Земли находится в частичной или полной изоляции. Данная ситуация, очевидно, внесла большие изменения в систему здравоохранения, экономическую и социальную сферы.

Цель исследования – предвидеть некоторые изменения в психическом здоровье населения, возникшие вследствие инфицирования SARS-CoV-2, а также рассмотреть взаимодействия лекарственных средств, применяемых в психиатрической практике и при лечении COVID-19.

*Психологические аспекты
медицинской практики*

Психиатрия и медицина не могут быть отделены друг от друга, так как психопатологические аспекты очень важны для практики в любой специальности. Для организации медицинской помощи пациентам и их семьям в разгар пандемии COVID-19, Министерством здравоохранения были разработаны протоколы организации мероприятий по оказанию медицинской помощи по профилю «Психиатрия». Пациентам необходима специализированная помощь, так как в течение длительного времени они были социально изолированы со своими близкими, помимо них контактируя только с медицинским персоналом, что было обусловлено особенностями инфицирования COVID-19. По этой же причине и семьи больных нуждались в психологической поддержке. Медицинский персонал, наблюдая, как его здоровье подрывается из-за износа, вызванного профессиональной самоотдачей в изнуряющих условиях, обусловленных нехваткой оборудования и ресурсов, осуществлял уход за пациентами, инфицированными вирусом SARS-CoV-2, который предполагал более непредсказуемое течение заболевания с риском внезапного ухудшения состояния или смерти [1].

Пандемия COVID-19 позволяет использовать психологическую поддержку как инструмент здравоохранения для наиболее уязвимых групп, к которым относятся медицинский персонал, лица, имеющие психические, соматические расстройства, а также люди, которые более подвержены инфицированию COVID-19, что укрепляет сотрудничество между психиатрами и клиническими психологами, а также другим медицинским персоналом и социальными работниками.

*Особенности взаимодействия
лекарственных средств
у психиатрических пациентов с COVID-19*

С начала пандемии COVID-19 предложено множество вариантов терапии, включая как этиотропное лечение, так и симптоматическое. Вирус SARS-CoV-2 является возбудителем атипичной пневмонии, для которой характерно развитие жизнеугрожающих симптомокомплексов, таких как сепсис и респираторный дистресс-синдром [1].

На сегодняшний день в процессе лечения инфекции широко применяются противовирусные препараты (ремдесивир, осельтамивир, лопинавир и др.) в качестве этиотропной терапии и стероидные гормоны (дексаметазон, гидрокортизон) в качестве симптоматической терапии для купирования цитокинового шторма [1].

На фоне пандемии стала актуальной проблема взаимодействия средств, применяемых для лечения COVID-19, и психотропных препаратов, поскольку большая их часть метаболизируется при участии ферментных систем печени [2]. Психиатры были вынуждены столкнуться с рядом побочных действий используемых препаратов, которые ранее применялись реже (хлорохин, лопинавир/ритонавир, азитромицин, фавипиравир и т.д.), в дополнение к тем, которые были хорошо известны (кортикостероиды, бета-интерферон) [2].

Противовирусные препараты являются основными этиотропными средствами лечения COVID-19. Такие препараты, как фавипиравир и молнупиравир, не метаболизируются в печени, в связи с чем они не имеют метаболических взаимодействий с психотропными средствами. Ремдесивир имеет доказанную эффективность, а также является субстратом для изоферментов печени. Одновременное его применение с карбамазепином и барбитуратами, являющимися индукторами CYP3A4, может привести к снижению терапевтической активности первого, поскольку данные препараты потенциально повышают печеночный клиренс.

Атазанавир, лопинавир/ритонавир могут существенно увеличить концентрации кветиапина, луразидона, зипрасидона, мозида, а также некоторых бензодиазепинов, таких как мидазолам и триазолам. Ритонавир интенсивно метаболизируется системой цитохрома P450 в печени, является ингибитором CYP3A4 и CYP2D6 рецепторов. Одновременное его применение с препаратами из группы ингибиторов обратного захвата серотонина может привести к увеличению их концентраций в плазме и появлению таких побочных эффектов, как депрессия, инсомния, спутанность сознания.

Применяемые в качестве симптоматической терапии стероидные гормоны, такие как дексаметазон и метилпреднизолон, метаболизируются с участием изофермента CYP3A4. При болюсном введении кортикостероиды могут вызывать депрессию, паранойю, эйфорию, а интерферон, особенно альфа (но также бета), может вызывать симптомы депрессии [2–4]. Прием таких антидепрессантов, как флуоксетин, который является ингибитором CYP3A4, может приводить к увеличению плазменной концентрации стероидных гормонов, а применение их с карбамазепином, который является индуктором CYP3A4, наоборот, приводит к уменьшению концентрации гормонов в плазме, что требует коррекции дозировки препарата. Производные фенотиазина и трициклические антиде-

прессанты могут потенцировать действие гипотензивных препаратов посредством α -адреноблокирующего действия, что может привести к развитию ортостатической гипотензии. Такие трициклические антидепрессанты, как amitриптилин, могут вызвать удлинение интервала QT. Данный эффект может усилиться при совместной терапии с макролидами.

Гидроксихлорохин может вызывать беспокойство и, реже, психоз, а также взаимодействовать с некоторыми нейролептиками [5]. Карбамазепин снижает концентрацию атаназавира, ремдесвира, хлорохина и гидроксихлорохина. У пациентов, имеющих алкогольную интоксикацию, следует отметить дисульфирам, так как он посредством ингибирования ацетальдегиддегидрогеназы и задерживает ферментную биотрансформацию алкоголя на этапе уксусного альдегида. Накопление последнего в организме вызывает интоксикацию. У пациентов, находящихся на терапии клозапином, инфекция SARS-CoV-2 может вызвать снижение количества лейкоцитов в крови, поэтому рекомендуется снижение дозировок [6]. Имеется связь между приемом нейролептиков и повышенным риском пневмонии (не продемонстрирована на конкретном случае коронавирусной инфекции) [7].

Следует надеяться, что по окончании пандемии COVID-19 работа консультативных и координационных психиатрических групп будет оценена в полном объеме и продолжит развиваться.

Телепсихиатрия: онлайн-сообщество психиатрической помощи

Телепередачи, чаты и видеозвонки были одними из первых мер, являющихся переходом к дистанционному лечению, повсеместно принятых во всех странах. Данные изменения пришлись очень кстати, так как для оценки психического здоровья физическое обследование, как правило, менее важно, чем при других состояниях [8]. Тем не менее, если используются технологии без передачи визуальной информации, психопатологическое исследование не способно точно описать состояние человека. Можно предположить, что после пандемии произойдет возврат к формату личных визитов к специалистам, но этот кризис ясно показал, что дистанционное общение может по крайней мере частично заменить или дополнить личный контакт. Это, безусловно, один из уроков, который нам нужно усвоить после начала пандемии COVID-19.

Мобильное здравоохранение, являющееся областью телемедицины, где медицин-

ская помощь и контроль здорового образа жизни обеспечивается с использованием телекоммуникационных технологий и мобильных устройств, будет играть все более важную роль, а также может быть использовано в интересах психического здоровья населения при условиях защиты персональных данных [9–11]. Обработка большого количества данных будет использоваться в качестве инструмента в борьбе с вирусом, как это было сделано в других странах, таких как Южная Корея и Китай. Все люди, имеющие доступ к смартфонам, будут использовать эти ресурсы для дальнейшей социализации. Например, Испанское общество психиатрии вынесло ряд рекомендаций на этот счет [12]. Психиатрия после COVID-19 будет чаще использовать цифровые ресурсы, предоставляющие услуги в области охраны психического здоровья в качестве инструмента для ведения пациентов [13].

Карантин и его влияние на психическое здоровье

Миллиарды людей во всем мире были вынуждены находиться в своих домах во время пандемии. Были установлены правила, согласно которым большая часть населения длительное время находилась дома. Карантин является источником стресса и может оказаться триггером декомпенсации некоторых состояний. Особенно сложной ситуацией оказалась для детей с нарушениями развития нервной системы, у которых отсутствие постоянной активности вызывает стресс (расстройства аутистического спектра) [12–14]. В некоторых случаях приверженность к лечению может быть нарушена. Людей с болезнью Альцгеймера или умственной отсталостью, возможно, затруднит понимание необходимости оставаться дома. Пациенты с шизофренией и тяжелыми психическими расстройствами, у которых есть особые потребности, тоже окажутся уязвимыми. Люди, страдающие от зависимости, могут столкнуться с абстиненцией, вследствие возникновения трудностей по получению наркотических веществ. При этом такие зависимости, как алкоголизм, курение, гемблинг, могут усилиться по причине повышенного воздействия стрессовых влияний, обусловленных пандемией COVID-19 и отсутствием занятости. Карантин может сильно усугубить положение женщин и детей, страдающих от бытового насилия. Люди, заболевшие COVID-19, не смогут контактировать с родственниками, как и другие семьи в случае инфицирования близкого им человека.

На основании опросов, которые были проведены во время самоизоляции, рекомендуется самостоятельно ограничить потребление новостей о пандемии и придерживаться здорового питания, заниматься спортом [15]. Использование техник по расслаблению также может быть полезным, а снижение экранного времени перед сном может предотвратить бессонницу [16]. По мере ослабления карантинных мер часть эмоциональных расстройств может исчезнуть, но у некоторых могут проявиться отсроченные последствия в виде тревожных расстройств и депрессии.

Медицинские работники и их психическое здоровье

Медицинские работники пережили данный кризис с перегрузкой на работе, более высоким риском инфицирования, самоотверженностью при выполнении задач, к которым многие не были готовы [1]. Понимая, что они больше других подвержены риску, медицинские работники были вынуждены ограничить контакты с семьями. Вполне вероятно, что в ближайшем будущем психиатры столкнутся со значительным объемом медицинских работников, нуждающихся в психолого-психиатрической помощи вследствие эмоционального выгорания. Заболеваемость среди медицинских работников возрастает, что в совокупности с тяжелыми условиями труда и перегрузками, возникшими в период пандемии COVID-19, может вызвать эмоциональное выгорание. Имеется несколько переменных, которые наносят ущерб психическому здоровью медицинских работников [17]. Во-первых, нет доказанного эффективного этиотропного лечения, а также трудно предсказать, у кого возникнет тяжелое течение COVID-19, требующее интенсивной терапии. Во-вторых, существует постоянный риск инфицирования, который повлечет утрату работоспособности. В-третьих, часто возникает чувство беспомощности и безнадежности. Пертурбация, в которой день за днем находятся медицинские работники, вызывает стресс. Профилактикой эмоционального выгорания и стрессовых расстройств является соблюдение режима труда и отдыха. По данной причине было бы целесообразно чередование работы с периодами отдыха. Обязательное посещение расположенных на территории лечебного учреждения зон отдыха, тренировки, чтение благоприятно сказались бы на психическом здоровье медицинского персонала. В период после COVID-19 необходимо тщательно заботиться о медицинских работниках и особенно об их психическом здоровье.

Гуманизм, деонтология и последствия трудных решений

Очевидно, что люди с психическими расстройствами также станут жертвами пандемии [18–20]. Число госпитализаций пациентов с психическими нарушениями в разгар пандемии сократилось, что позволило больницам использовать эти койки для пациентов, инфицированных COVID-19. Вероятно, в ближайшей перспективе ожидается рост числа психических расстройств, которые нельзя решить при помощи телепсихиатрии. Необходимо как можно быстрее после пандемии открыть больницы, которые были закрыты, а также укрепить стационарные и амбулаторные службы охраны психического здоровья и первичной медико-санитарной помощи.

Образование и научные исследования

На сегодняшний день существуют тысячи учебных мероприятий, которые были отменены или отложены из-за пандемии, включая крупные конференции, в том числе посвященные психиатрии, например Международная научно-практическая конференция «Психическое здоровье и новые реалии». С начала карантина многие учебные мероприятия были переведены в онлайн-формат, и многие из них продолжали проходить в этом формате до 2022 г., так как ослабление карантинных мер не может осуществляться быстро. Хотя пандемия COVID-19 будет стимулировать дистанционное обучение, все же социальное взаимодействие и личный обмен информацией незаменимы.

Однако написание учебных пособий и обзорных статей возросло [21, 22]. Пандемия значительно расширила научное взаимодействие между учеными разных стран и специальностей. Такие журналы, как *New England Journal of Medicine*, начали предоставлять открытый доступ ко всем статьям, связанным с COVID-19. Научное сообщество находится в поисках методов лечения и проводит анализ последствий карантина. Пандемия COVID-19 подчеркнула важность биомедицинских исследований. Есть надежда, что правительства будут оказывать большее финансирование. Совместные исследования будут расширены, и скорость обмена информацией, в том числе в области психического здоровья, может быть существенно увеличена.

Помимо этого, пандемия повлияла на подготовку ординаторов по психиатрии, и многие из них были направлены на работу с пациентами, инфицированными COVID-19, или осуществляли психологическую под-

держку пациентам и их семьям. Даже студенты-медики принимали участие в работе по преодолению пандемии COVID-19.

Заклучение

Изменения, которые были вызваны пандемией COVID-19, могут помочь нам открыть новые возможности в оказании психиатрической помощи. Важно отметить тот факт, что такие ценности, как преданность профессии, солидарность, адаптация к изменениям и мужество, руководили большинством действий медицинских работников. Психиатры стали помогать врачам общей практики, оказывали психологическую помощь. Были найдены решения, позволяющие уменьшить воздействие пандемии на наиболее уязвимые группы населения, включая людей с психическими расстройствами. Применение психофармакологических методов в совокупности с психиатрическими вмешательствами показало свою эффективность. Будем надеяться, что наши исследовательские учреждения получают все необходимые ресурсы даже в период экономического кризиса. В условиях пандемии были продемонстрированы многие навыки нашей специальности. Врачи должны знать об эффектах лекарственных средств, которые могут применяться при лечении COVID-19 и психических заболеваний. Необходимы дальнейшие исследования для определения стратегий лечения психических заболеваний у лиц, находящихся на терапии по поводу COVID-19.

Список литературы

1. Мосолов С.Н. Проблемы психического здоровья в условиях пандемии COVID-19 // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020. Т. 120. № 5. С. 7–15.
2. Wada K., Yamada N., Sato T., Suzuki H., Miki M., Lee Y., Akiyama K., Kuroda S. Corticosteroid-induced psychotic and mood disorders: diagnosis defined by DSM-IV and clinical pictures // *Psychosomatics*. 2001. Vol. 46:1–466, Is. 6. DOI: 10.1176/appi.psy.42.6.461.
3. Zigmond A.S., Snaith R.P. The hospital anxiety and depression scale // *Acta Psychiatr Scand*. 1983. Vol. 42, Is. 6. P. 461–466. DOI: 10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x.
4. Udina M., Navinés R., Egmond E., Oriolo G., Langohr K., Gimenez D., Valdés M., Gómez-Gil E., Grande I., Gratacós M., Kapczinski F., Artigas F., Vieta E., Solà R., Martín-Santos R. Glucocorticoid Receptors, Brain-Derived Neurotrophic Factor, Serotonin and Dopamine Neurotransmission are Associated with Interferon-Induced Depression // *Int J Neuropsychopharmacol*. 2016. Vol. 19, Is. 4. P. 135. DOI: 10.1093/ijnp/pyv135.
5. Mascolo A., Berrino P.M., Gareri P., Castagna A., Capuano A., Manzo C., Berrino L. Neuropsychiatric clinical manifestations in elderly patients treated with hydroxychloroquine: a review article // *Inflammopharmacology*. 2018. Vol. 26, Is. 5. P. 1141–1149. DOI: 10.1007/s10787-018-0498-5.
6. Siskind D., Honer W.G., Clark S., Correll C.U., Hasan A., Howes O., Kane J.M., Kelly D.L., Laitman R., Lee J., MacCabe J.H., Myles N., Nielsen J., Schulte P.F., Taylor D., Verdoux H., Wheeler A., Freudenreich O. Consensus statement on the use of clozapine during the COVID-19 pandemic // *J Psychiatry Neurosci*. 2020. Vol. 45, Is. 4. P. 222. DOI: 10.1503/jpn.200061.
7. Papola D., Ostuzzi G., Gastaldon C., Morgano G.P., Dragioti E., Carvalho A.F., Fusar-Poli P., Correll C.U., Solmi M., Barbui C. Antipsychotic use and risk of life-threatening medical events: umbrella review of observational studies // *Acta Psychiatr Scand*. 2019. Vol. 140, Is. 3. P. 227–243. DOI: 10.1111/acps.13066.
8. Hollander J.E., Carr B.G. Virtually Perfect? Telemedicine for Covid-19 // *N Engl J Med*. 2020. Vol. 382, Is. 18. P. 1679–1681. DOI: 10.1056/NEJMp2003539.
9. Hidalgo-Mazzei D., Murru A., Reinares M., Vieta E., Colom F. Big Data in mental health: a challenging fragmented future // *World Psychiatry*. 2016. Vol. 15, Is. 2. P. 186–187. DOI: 10.1002/wps.20307.
10. Hidalgo-Mazzei D., Young A.H., Vieta E., Colom F. Behavioural biomarkers and mobile mental health: a new paradigm // *Int J Bipolar Disord*. 2018. Vol. 6, Is. 1. P. 9. DOI: 10.1186/s40345-018-0119-7.
11. Harari G.M., Lane N.D., Wang R., Crosier B.S., Campbell A.T., Gosling S.D. Using Smartphones to Collect Behavioral Data in Psychological Science: Opportunities, Practical Considerations, and Challenges // *Perspect Psychol Sci*. 2016. Vol. 11, Is. 6. P. 838–854. DOI: 10.1177/17456916166650285.
12. de Psiquiatria SE. Positioning of the Spanish Society of Psychiatry on the United Nations Convention of the Rights of Persons with Disabilities // *Rev Psiquiatr Salud Ment (Engl Ed)*. 2020. Vol. 13, Is. 4. P. 177–179. DOI: 10.1016/j.rpsm.2020.10.005.
13. Hidalgo-Mazzei D., Llach C., Vieta E. mHealth in affective disorders: hype or hope? A focused narrative review // *Int Clin Psychopharmacol*. 2020. Vol. 35, Is. 2. P. 61–68. DOI: 10.1097/YIC.0000000000000302.
14. Liu J.J., Bao Y., Huang X., Shi J., Lu L. Mental health considerations for children quarantined because of COVID-19 // *Lancet Child Adolesc Health*. 2020. Vol. 4, Is. 5. P. 347–349. DOI: 10.1016/S2352-4642(20)30096-1.
15. Fullana M.A., Hidalgo-Mazzei D., Vieta E., Radua J. Coping behaviors associated with decreased anxiety and depressive symptoms during the COVID-19 pandemic and lockdown // *J Affect Disord*. 2020. Vol. 275, Is. 1. P. 80–81. DOI: 10.1016/j.jad.2020.06.027.
16. Dickerson D. Seven tips to manage your mental health and well-being during the COVID-19 outbreak // *Nature*. 2020. Is. 5. P. 1–2. DOI: 10.1038/d41586-020-00933-5.
17. Arango C., Díaz-Caneja C.M., McGorry P.D., Rapoport J., Sommer I.E., Vorstman J.A., McDaid D., Marin O., Serrano-Drozdzowskyj E., Freedman R., Carpenter W. Preventive strategies for mental health // *Lancet Psychiatry*. 2018. Vol. 5, Is. 7. P. 591–604. DOI: 10.1016/S2215-0366(18)30057-9.
18. Yao H., Chen J.H., Xu Y.F. Patients with mental health disorders in the COVID-19 epidemic. *Lancet Psychiatry*. 2020. Vol. 7, Is. 4. P. 21. DOI: 10.1016/S2215-0366(20)30090-0.
19. Bo H.X., Li W., Yang Y., Wang Y., Zhang Q., Cheung T., Wu X., Xiang Y.T. Posttraumatic stress symptoms and attitude toward crisis mental health services among clinically stable patients with COVID-19 in China // *Psychol Med*. 2021. Vol. 51, Is. 6. P. 1052–1053. DOI: 10.1017/S0033291720000999.
20. Stefana A., Youngstrom E.A., Chen J., Hinshaw S., Maxwell V., Michalak E., Vieta E. The COVID-19 pandemic is a crisis and opportunity for bipolar disorder // *Bipolar Disord*. 2020. Vol. 22, Is. 6. P. 641–643. DOI: 10.1111/bdi.12949.
21. Островский Д.И., Иванова Т.И. Влияние новой коронавирусной инфекции COVID-19 на психическое здоровье человека (обзор литературы) // Омский психиатрический журнал. 2020. Т. 24. № 2–1. С. 4–10.
22. Шматова Ю.Е. Влияние COVID-19 на психическое здоровье населения (как показатель человеческого потенциала): опыт зарубежных исследований // *Проблемы развития территории*. 2020. Т. 108. № 4. С. 88–108.

СТАТЬЯ

УДК [608.1+631]:001.38

**ДИНАМИКА ПАТЕНТНОЙ АКТИВНОСТИ
МАЛЫХ ГРУПП АВТОРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ
«СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ» С 2017 ПО 2022 ГОДЫ****Никонорова В.Г., Криштоп В.В.***Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины
Минобороны России, Санкт-Петербург, e-mail: bgnikon@gmail.com*

Цель исследования: оценить динамику патентной активности малых групп авторов по направлению «сельскохозяйственные науки» с 2017 по 2022 годы в связи с особенностями организации и локализации авторского коллектива. На основе данных наукометрической базы e-library сформирован массив данных, включающий: количество авторов патента, размер города и федеральный округ, в котором расположен патентообладатель, форму собственности, а также отрасль, к которой относится патент. По сравнению с интервалом 2017–2019 годов общее количество патентов по исследуемой тематике фактически осталось прежним: 56 за 2017–2019 годы и 57 за 2020–2022 годы, однако их распределение значительно поменялось. Достоверно сократилось количество патентов, выпущенных триадой, диадой и одним автором (с 26 до 14) и группой – 10 и более авторов. Одновременно выросло количество патентов, полученных малой группой (с 20 до 35 патентов). Патенты, выпущенные в городах с населением свыше 1 млн человек, почти полностью представлены продукцией малых групп. Со стороны бюджетных образовательных организаций отмечается снижение доли патентов с авторством двух-трех человек с 41% в интервале 2018–2020 годов до 23% в интервале 2020–2022 годов, вызванное ростом числа патентов с авторством малой группы авторов. Переход авторов из наиболее «лабильных» диад в малые научные группы, более «инертные» к новым научным вызовам, а также рост доли фундаментальных исследований за счет снижения доли одного из наиболее высокотехнологичных и инновационных направлений «Биотехнологии» обуславливают опасность стагнации изобретательской активности и развития ее по экстенсивному пути, особенно в городах с населением менее 1 млн жителей.

Ключевые слова: авторские группы, патентная активность, наукометрия, сельское хозяйство, прогноз развития**DYNAMICS OF PATENT ACTIVITY OF SMALL GROUPS OF AUTHORS
IN THE FIELD OF «AGRICULTURAL SCIENCES» FROM 2017 TO 2022****Nikonorova V.G., Chrishtop V.V.***State Scientific-Research Test Institute of Military Medicine of Minoborony of Russia, St. Petersburg,
e-mail: bgnikon@gmail.com*

The aim of the study: to assess the dynamics of patent activity of small groups of authors in the field of «agricultural sciences» from 2017 to 2022 in connection with the peculiarities of organization and localization of the authors' team. Based on data from the scientometric database e-library, an array of data was formed, including: the number of patent authors, the size of the city and federal district in which the patentee is located, the form of ownership, as well as the industry to which the patent relates. Compared to the 2017–2019 interval, the total number of patents on the topic under study is actually unchanged 56 for 2017–2019, and 57 for 2020–2022, but their distribution has changed significantly. The number of patents issued by a triad, dyad, and single author (from 26 to 14) and by a group of 10 or more authors decreased significantly. At the same time, the number of patents issued by a small group increased (from 20 to 35 patents). The patents issued in cities with a population of more than one million people are almost completely represented by the products of small groups. On the part of budget educational organizations, there is a decrease in the share of patents with authorship of two or three people from 41% in the 2018–2020 interval to 23% in the 2020–2022 interval, caused by an increase in patents with authorship of a small group of authors. Given the transition of authors from the most «labile» dyads to small scientific groups that are more «inert» to new scientific challenges, as well as an increase in the share of basic research due to a decrease in the share of one of the most high-tech and innovative directions, «biotechnology», there is a growing danger of stagnation of inventive activity and its development along the extensive path, especially in cities with populations of less than 1 million people.

Keywords: author groups, patent activity, scientometrics, agriculture, development forecast

После периода относительной стабильности в 2016–2020 годах, когда, по мнению ряда экономистов и МВФ, российская экономика адаптировалась к санкционному давлению [1], пандемия новой коронавирусной инфекции, разразившаяся в 2020 году, а также новые пакеты санкций, направленные против России как независимого государства, поставили новые вызовы перед экономикой нашей страны. Использование изобретений в сфере сельского хозяйства позволяет получить значительный

экономический эффект [2]. Патенты являются наиболее важными техническими документами, которые широко используются для поддержки стратегического планирования научно-технических исследований и разработок, оценки и прогноза необходимых финансовых вложений как на государственном, так и на отраслевом уровне [3]. Большинство аналитических обзоров российских патентов оценивают патентный ландшафт, качественную составляющую патентов, связанную с наиболее перспек-

тивными методологическими подходами [2], однако наукометрические исследования, направленные на оценку условий, в которых протекает изобретательская активность (авторских коллективов, правообладателей патента, уровня урбанизации населенного пункта), в доступной нам литературе отсутствуют.

Цель исследования: оценить динамику патентной активности малых групп авторов по направлению «Сельскохозяйственные науки» с 2017 по 2022 годы в связи с особенностями организации и локализации авторского коллектива.

Материалы и методы исследования

Материалами для исследования стала выборка патентов по направлению «Сельскохозяйственные науки» за период с 1 января 2017 года по 31 декабря 2022 года, сформированная на основе e-library. В ходе исследования была сформирована база данных, включающая в себя следующие показатели:

- количество авторов патента, согласно которому все патенты были разделены на группы, состоящие из одного автора, или авторский коллектив в виде диады, триады, малой группы (до 10 человек), группы – 10 и более 10 человек;

- город, в котором расположен патентообладатель; согласно Своду правил СП 42.13330.2011 были сформированы следующие группы: Москва, Санкт-Петербург, крупнейшие города – города с населением свыше 1 млн человек, крупные города – от 250 тыс. человек до 1 млн человек, большие города – от 100 до 250 тыс. человек, средние и малые города – в эту группу включались все оставшиеся населенные пункты;

- объект изобретения («Способ», «Полезная модель», «Препарат», «База данных» или «Программа»);

- федеральный округ, в котором расположен патентообладатель;

- форма собственности (бюджетная образовательная организация, бюджетная научная организация, частная форма собственности, физическое лицо);

- отрасль, к которой относится патент: фундаментальные исследования, животноводство, рыбоводство, мелкие домашние животные, паразитология, биотехнология.

Формирование базы данных проводилось в электронных таблицах Excel. Статистическая обработка результатов выполнялась с использованием пакета прикладных программ Statistica 10.0. Частоты встречаемости патентов определялись по представленным выше группам, а также в двух временных интервалах: первый – с 1 янва-

ря 2017 года по 31 декабря 2019 года, второй – с 1 января 2020 года по 31 декабря 2022 года. Достоверность полученных результатов определялась с помощью критерия хи-квадрат (χ^2), который считали достоверным при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

По сравнению с интервалом 2017–2019 годов общее количество патентов по исследуемой тематике фактически осталось прежним: 56 за 2017–2019 годы и 57 за 2020–2022 годы, однако их распределение по ряду исследуемых категорий значимо поменялось. Достоверно ($p = 0,022$) изменилось их распределение между группами, выделенными по признаку «количество авторов»: сократилось количество патентов, выпущенных группой, диадой и одним автором (с 26 до 14) и группой авторов (10 и более человек). Одновременно выросло количество патентов, полученных малой группой (с 20 до 35). Учитывая, что общее количество патентов не изменилось, можно предположить, что одиночные авторы и диады, эффективно выпускавшие патенты в 2016–2019 годах, были вынуждены расширить коллектив до малой группы (2–9 человек), чтобы адаптироваться к изменившимся условиям последних трех лет.

При оценке влияния численности населения города на эффективность патентования результатов исследований получены достоверные ($p < 0,0001$) данные о большей доле патентов, полученных одним автором в крупных городах – с численностью населения от 250 до 1 млн человек. Москва является городом, где диады патентуют результаты исследований более эффективно, чем одиночные авторы и малые группы.

Патенты, выпущенные в крупнейших городах с населением свыше 1 млн человек, почти полностью представлены продукцией малых групп, часто включающих в себя представителей разных организаций [4]. При анализе данных рисунка 1 становится очевидным, что по мере роста численности города доля патентов, выпущенных малыми группами, нарастает: с 38% в малых и средних городах до 50% в больших и крупных городах и до 92% в крупнейших городах. Однако в Москве и Санкт-Петербурге их доля составляет только 42 и 47% соответственно.

В интервале с 2019 по 2022 год высокая доля патентов, выпущенных одним или диадой авторов, характерна для всего Центрального и Сибирского федеральных округов (рис. 1) ($p < 0,0001$). Здесь их доля составляет 22 и 30% соответственно.

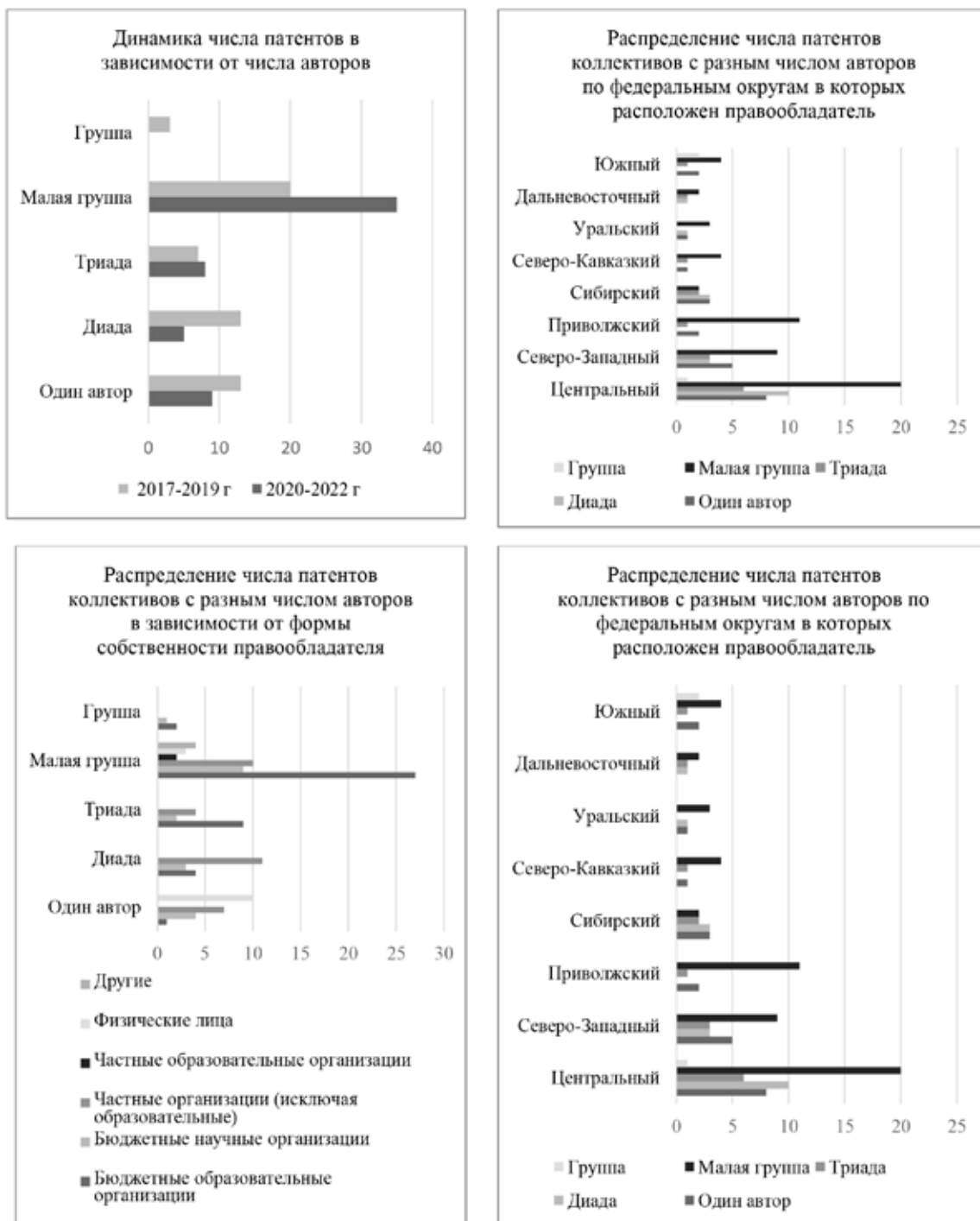


Рис. 1. Распределение патентов в зависимости от числа авторов

На третьем месте Северо-западный федеральный округ – 15% патентов, полученных диадой авторов. Наименьшие показатели характерны для Приволжского федерального округа (0%). Также Приволжский федеральный округ характеризуется наименьшей долей патентов, полученных одним автором, – только 14%, при этом в ЦФО – 17%, Северо-западном федераль-

ном округе – 25%, Сибирском федеральном округе – 30%. Относительно патентов, полученных малыми группами, наблюдается обратная тенденция – наибольшая их доля отмечается в Приволжском федеральном округе – 79%, 45% и 44% – в Северо-западном и Центральном федеральных округах соответственно, и наименьшая – в Сибирском федеральном округе – только 20%.

Форма собственности правообладателя патента на исследуемом интервале была также связана с числом его авторов (рис. 1) ($p=0,00003$). Правообладателем патентов с одним автором в 45% случаев от всех патентов с одиночным авторством является физическое лицо. Правообладателем патентов с диадой авторов в 61% случаев от всех патентов с одиночным авторством являются частные коммерческие организации. Правообладателем патентов с триадой и малой группой авторов в большинстве случаев являются бюджетные образовательные организации (в 60% и 49% случаев соответственно). Патенты, правообладателями которых являются бюджетные научные организации, имеют приблизительно равное количество видов соавторства, с преобладанием малых групп (одиночное, диада, триада, малая группа составляют 22%, 17%, 11%, 50% соответственно от всех патентов бюджетных научных организаций).

Именно со стороны бюджетных образовательных организаций (рис. 1) отмечается снижение ($p=0,0256$) доли патентов с авторством двух-трех человек с 41% в интервале 2018–2020 годы до 23% в интервале 2020–2022 годы. Однако это снижение вызвано уменьшением абсолютного числа патентов (7 патентов в интервале 2018–2020 годы и 6 в интервале 2020–2022 годы), а снижением их доли за счет роста числа патентов с авторством малой группы авторов.

Действительно, происходит перераспределение патентов между организациями с разным профилем и долей собственности. В бюджетных образовательных организациях отмечен рост числа патентов с 16 на протяжении 2018–2020 годов до 26 на протяжении 2020–2022 годов. В бюджетных научных организациях и у физических лиц, наоборот, происходит снижение числа патентов с 12 и 8 до 7 и 5 соответственно. Однако достоверность этих изменений низкая ($p=0,1465$).

Таким образом, можно предположить, что одиночные авторы, диады и триады, правообладателем патентов авторов на протяжении 2018–2020 годов становились физические лица или бюджетные научные организации, сместили вектор своей деятельности в сторону бюджетных образовательных организаций, увеличив численность коллектива, вероятно, за счет сотрудников бюджетных образовательных организаций. Благодаря этому перераспределению общая изобретательская активность за последние три года была сохранена. Патентная деятельность частных организаций, видимо, осталась не затронута этими процессами, что указывает на то, что это перераспреде-

ление обусловлено особенностями организации патентной активности в бюджетных научных организациях и не затрагивает другие формы собственности.

Объединение индивидов в группе характеризуется появлением новых реакций на всех уровнях организации организма [5], но максимально раскрывающиеся в реакциях высшей нервной деятельности [6]. Будучи хрупкой по своей природе, диада требует более тесного, упорядоченного и позитивного взаимодействия между ее членами, чем группа любого другого типа. Возможно, это и послужило причиной смены юридической формы организации, в которых выполнялось исследование, и расширения до коллектива числом от 4 до 9 человек. В диаде партнеры могут иметь равный или разный социальный и психологический статус. Выделяют профессиональные асимметричные креативные диады, в которых партнеры могут иметь разный психологический статус при разных принятых ими ролях («творческий работник – администратор», «генератор идей – критик» и т.п.). Подобная асимметрия имеет место в предпочтении не только отдельных качеств других, но и их стиля – деятельности, делового общения и др. [7]. Такие предпочтения партнеров в диадах (как и в триадах) подчиняются не принципу сходства и подобия, а компенсаторным, дополняющим, потенциально синергичным законам и отношениям.

Группа в составе более 4 человек имеет иерархическую структуру, которая практически всегда состоит из двух элементов (руководителя и группы участников) [8]. Эта градация удачно совпадает с одной из наиболее эффективных форм отношений в малой группе являются отношения «учитель – ученики». Примеров тому множество – большинство научных работ Л.Д. Ландау изданы в соавторстве с его многочисленными учениками (Е.М. Лифшицем, А.А. Абрикосовым, И.М. Халатниковым, А.И. Китайгородским, Я.А. Смородинским и др.), Э. Резерфорда – с Ф. Содди, М. Борна – с П. Йорданом и др. [9]. Неформальные малые группы, результаты деятельности которых признаются научным сообществом как наиболее ценные и важные, приобретают формальный статус научной организации (кафедра, лаборатория и т.п.). Из наиболее значимых организаций такой путь прошли: теоретической физики Н. Бора в Копенгагене, Институт физических проблем Академии наук СССР, возглавляемый П.Л. Капицей в Москве, и др. [9].

Однако для эффективной работы в малой группе должен выполняться ряд важных административных требований.

1. Размер группы определяется характером поставленных задач, группа не может быть универсальной. Наиболее управляемой считается группа из 5–9 человек. При совещаниях оптимальное число участников 6–7. Увеличение числа совещающихся резко снижает средний коэффициент участия присутствующих, одновременно удлиняя совещания. С увеличением объема (особенно свыше 12 человек) возрастает число подгрупп и соответственно усиливается вероятность противодействия решениям руководителя со стороны неформальных лидеров подгрупп, затрудняется координация общегрупповых усилий. Финансовые комитеты крупных банков, отвечающие за конкретные действия, обычно состоят из 6–7 человек, а парламентские комитеты, занятые теоретическим обсуждением вопросов, – из 14–15 человек. Чем крупнее группа, тем в большей степени теряется межличностный характер отношений. Численность готовой к распаду группы обычно превышает 10–15 человек [10].

2. Необходимо обеспечить организацию пространственной среды соответственно специализации группы [11].

3. Следует контролировать ролевую структуру малой группы, в которой выделяют следующие роли: «продюсера», «инженера», «визуализатора», «исследователя», «психолога» [12].

Авторские диады обладают рядом плюсов по сравнению с малыми группами.

Диадам свойственны меньшие изменения в поведении, члены диад быстрее приступают к работе.

Диады формируются спонтанно и как культурально обусловленные формы, определяемые как целями, потребностями, интересами отдельных людей, так и задачами человеческих сообществ [7], что обеспечивает их лабильность и способность быстро подстраиваться под изменяющуюся научную повестку.

В диадах люди больше эмоционально вовлечены в решение задачи, даже по сравнению с триадами [13]. Исходный закон межличностных отношений в диаде – эквивалентность обмена и взаимность, поэтому в диаде создаются условия для более глубокого эмоционального удовлетворения от научной деятельности, чем в любой другой группе.

Группы оказывают большее давление на своих членов, усиливая их конформизм; возникает неравенство между членами; каждый испытывает больше трудностей, стремясь наравне с другими участвовать в обсуждении проблем и оказывать влияние на принятие решений. Неудивительно, что члены более крупных групп меньше

удовлетворены своей ролью в совместных дискуссиях, чем члены малых групп.

Диада максимально самостоятельна и универсальна – конфликты в ней решаются без обращения к третьему лицу.

В диадах максимально развивается индивидуальность, обеспечиваются актуализация и формирование разнообразных ресурсов успешности человека как субъекта, личности, индивидуальности [14].

В настоящее время существует ряд инструментов стимулирования патентной активности в вузах и научных организациях: национальный проект «Наука и университеты», Приоритет 2030, НОЦ и иные [15], однако полученные данные указывают на то, что охват бюджетных научных организаций оказался недостаточен, что обусловило вышеописанные процессы. Ученые осуществляют выбор других ученых – членов авторского коллектива в рамках, задаваемых формальными связями, такими как дисциплинарная область или статус соответствующих ученых [9], которые регулируются вышеозначенными инструментами.

Наиболее распространенным ($p < 0,0001$) научным направлением, в рамках которого происходило патентование с 2018 по 2022 годы, является животноводство. Оно равномерно представлено среди всех групп и составляет от 33 до 40% от всех тематик патентов. Фундаментальные исследования наиболее широко представлены среди патентов за авторством одного человека (27% от все патентов одиночных авторов). Для патентов с авторством диады авторов характерна широкая представленность направления «Биотехнология» – 44% от всех тематик патентов авторских диад.

Также для тематики «Фундаментальное исследование» характерен рост абсолютного числа патентов с авторством малой группы авторов по сравнению с интервалом 2018–2020 годы. Это совпадает с продемонстрированным выше смещением патентной активности представителей физических лиц и бюджетных научных организаций в бюджетных образовательных организациях и уменьшением доли патентов, выпущенных по направлению «Биотехнология» ($p = 0,0038$), в организациях всех исследуемых типов. Это позволяет предположить, что смещение числа патентов от бюджетных научных организаций и физических лиц в сторону бюджетных образовательных организаций сопровождалось изменением тематики с направления «Биотехнология» на «Фундаментальные исследования», что может быть обусловлено как характером задач, традиционно решаемых в бюджетных образовательных организациях, так и их материальным оснащением.



Рис. 2. Динамика числа патентов с 2018 по 2022 годы

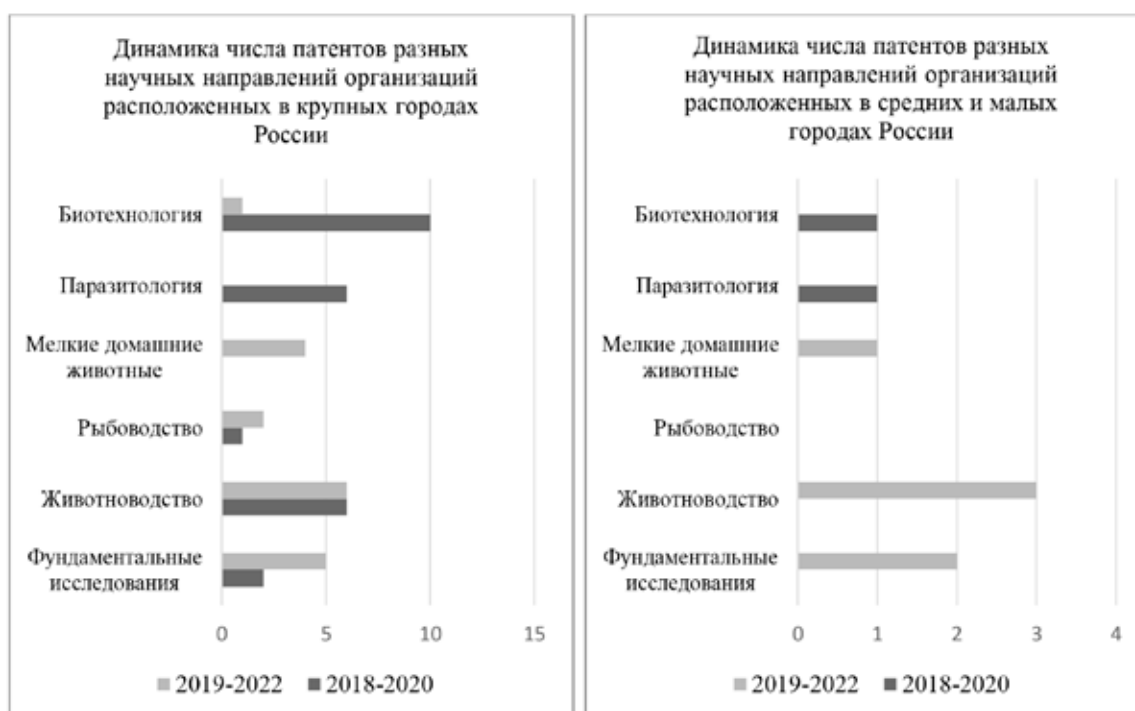


Рис. 3. Динамика числа патентов с 2018 по 2022 годы в зависимости от города патентообладателя и научного направления патента

В основном переход научных тематик с направления «Биотехнология» на «Фундаментальные исследования» коснулся городов с населением до 1 млн человек, достоверное перераспределение частот обнаружено относительно крупных (от 250 тыс. человек до 1 млн человек ($p=0,0012$)) и средних

и малых (менее 100 тыс. человек ($p=0,0234$)) населенных пунктов.

Заключение

Таким образом, при сравнении патентной активности двух периодов – с 2018 по 2020 годы и с 2020 по 2022 годы –

суммарная патентная активность не изменилась. Однако наблюдалось снижение числа одиночных авторов, диад авторов и групп более 9 человек. Вероятно, оптимальным количеством в изменившихся условиях является численность групп от 4 до 9 человек. Этот процесс сопровождается перераспределением патентной активности от физических лиц и бюджетных образовательных организаций к бюджетным образовательным организациям, снижением числа патентов, опубликованных по направлению «Биотехнология», и ростом патентов, опубликованных по направлению «Фундаментальные исследования». Этот процесс имеет два вектора. Во-первых, он наиболее активен в городах с численностью населения до 1 млн человек, и менее в Москве, Санкт-Петербурге и городах с населением свыше 1 млн человек. Во-вторых, он имеет регионарные особенности: диады, триады и одиночные авторы чаще получают патенты в Центральном, Сибирском и Северо-западном федеральном округах. Малые группы с численностью от 4 до 9 человек – в Приволжском федеральном округе.

Переход авторов из наиболее «лабильных» диад в малые научные группы, более «инертные» к новым научным вызовам, а также рост доли фундаментальных исследований за счет снижения доли одного из наиболее высокотехнологичных и инновационных направлений «Биотехнология» обуславливают опасность стагнации изобретательской активности и развития ее по экстенсивному пути, особенно в городах с населением менее 1 млн жителей. Вышеперечисленное вызывает необходимость разработки и проведения дополнительных мероприятий по стимулированию индивидуальной научной активности по приоритетным направлениям научного развития по направлению «Сельскохозяйственные науки» в бюджетных образовательных организациях.

Список литературы

1. Электронный ресурс Russian Federation: 2019 Article IV Consultation-Press Release; Staff Report (англ.). IMF. URL: <https://www.imf.org/en/Publications/CR/Issues/2019/08/01/Russian-Federation-2019-Article-IV-Consultation-Press-Release-Staff-Report-48549> (дата обращения: 09.04.2021).
2. Иванов Л.А. Обзор патентов на изобретения, полезные модели, промышленные образцы в сельском хозяйстве изобретения, позволяющие получить значительный экономический эффект // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2017. Т. 3. № 1. С. 1-11.
3. Карнышев И.В., Авдзейко В.И., Паскаль Е.С. Классификация технических направлений развития на основе анализа временных рядов патентов США. Эмпирический подход // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2021. № 53. С. 251-278.
4. Белова Л.М., Никонорова В.Г., Логинова О.А., Гаврилова Н.А. Устройство для извлечения из почвы орбитальных панцирных клещей // Патент на полезную модель № 2021107993. Патентообладатель ФГБОУ Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины ФГБОУ ВО СПбГУВМ (RU). 2021; заявлено 24.03.2021; опубл. 28.06.21, Бюл. 19. С. 5.
5. Криштоп В.В. Сравнительная морфофункциональная характеристика щитовидной железы в условиях динамической и статической физических нагрузок // Морфология. 2007. Т. 131, № 1. С. 49-53.
6. Виноградов С.Ю., Криштоп В.В., Диндяев С.В., Филатов Ю.Г., Русакова В.А., Сайда А.С. Динамика биоаминов слюны как показатель психоэмоционального стресса у студентов во время сдачи итогового занятия // Фундаментальные исследования. 2008. № 6. С. 112-113.
7. Толочек В.А. Технологии профессионального отбора. М.: Юрайт, 2021. 253 с.
8. Сидельников Ю.В., Ряпухин А.В. Повышение эффективности совещаний в малых группах. Ч. 1. // Традиционные подходы к проблеме. Проблемы управления. 2018. № 6. С. 18-23.
9. Дуденкова Т.А. Формальное и неформальное в научной коммуникации // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2010. № 3(19). С. 128-134.
10. Полушкина Т.М., Коваленко Е.Г., Якимова О.Ю. Социология управления: учебное пособие. М., 2013. 302 с.
11. Сидельников Ю.В., Ряпухин А.В. Повышение эффективности совещаний в малых группах. Ч. 1. Традиционные подходы к проблеме // Проблемы управления. 2018. № 6. С. 18-23.
12. Шкунова А.А., Лебедева Т.Е., Машина А.Д. Изучение ролевой структуры коллектива в процессе командообразования // Проблемы современного педагогического образования. 2018. № 59-4. С. 482-487.
13. Yoon J., Thye S.R., Lawler E.J. Exchange and cohesion in dyads and triads: A test of Simmel's hypothesis // Soc Sci Res. 2013. № 42(6). P. 1457-1466. DOI: 10.1016/j.ssresearch.2013.06.003.
14. Толочек В.А. Социальные дополняющие диады и ресурсы успешности субъекта // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Акмеология образования. Психология развития. 2022. Т. 11, № 2 (42). С. 120-132. DOI: 10.18500/2304-9790-2022-11-2-120-132.
15. Ильина И.Е., Золотых Н.И., Биткина И.В. Патентная активность региона как драйвер развития экономики России // Управление наукой и наукометрия. 2022. Т. 17, № 1. С. 10-36. DOI: 10.33873/2686-6706.2022.17-1.10-36.

СТАТЬИ

УДК 517.968

**ПОСТРОЕНИЕ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ
ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ВОЛЬТЕРРА ПЕРВОГО РОДА****¹Зулпукаров Ж.А., ²Алиева Ж.А.***¹Ошский технологический университет Кыргызстан, Ош,**e-mail: zulpukarov66@mail.ru;**²Ошский государственный педагогический университет Кыргызстан, Ош,**e-mail: Zharkynay_71@mail.ru*

Важность данной темы связана с изучением решений некорректных задач, так как многие физические процессы среды описываются такими дифференциальными уравнениями. Обратные задачи имеют большое практическое значение в таких областях науки, как: проблемы интерпретации физическими приборами автоматического управления, обратные задачи гравиметрии, кинематики и сейсмологии. В данной работе исследуется некорректная задача в виде интегрального уравнения Вольтерра первого рода с двумя независимыми переменными. Интегральные уравнения Вольтерра широко применяются в задачах астрономии, биологии, экологии, электродинамики и механики. В настоящее время возникают все новые области, в которых основные процессы модулируются интегральными уравнениями первого, второго и третьего рода. В данной работе рассмотрено построение алгоритма регуляризации посредством применения методов последовательного приближения и малого параметра. При этом на первый план выдвигаются вопросы единственности решения, а также построения регуляризирующих семейств операторов и оценки их эффективности. Результаты данной работы могут быть использованы для доказательства регуляризуемости в обобщенном смысле для прикладных задач. Таким образом, в данной статье описываются расширенное решение построения регуляризации интегрального уравнения, нахождение достаточного решения путем применения принципа сжимающих отображений и вспомогательной функции.

Ключевые слова: функция, неравенства, ядро, пространство, уравнения, малый параметр, следствие

**CONSTRUCTION OF A REGULARIZATION OF THE SOLUTION
FOR AN EQUATION VOLTERRA OF THE FIRST KIND****¹Zulpukarov Zh.A., ²Alieva Zh.A.***¹Osh Technological University Kyrgyzstan, Osh, e-mail: zulpukarov66@mail.ru;**²Osh State Pedagogical University Kyrgyzstan, Osh, e-mail: Zharkynay_71@mail.ru*

The importance of this topic is related to the study of solutions to ill-posed problems, since many physical processes of the medium are described by such differential equations. Inverse problems are of great practical importance in such areas of science as: problems of interpretation by physical automatic control devices, inverse problems of gravimetry, kinematics and The paper investigates an ill-posed problem in the form of a Volterra integral equation of the first kind with two independent variables. Volterra integral equations are widely used in problems of astronomy, biology, ecology, electrodynamics and mechanics. At present, more and more new areas are emerging in which the main processes are modulated by integral equations of the first, second and third kind. The construction of a regularization algorithm using the methods of successive approximation and a small parameter takes place in this work. At the same time, the issues of the uniqueness of the solution, as well as the construction of regularizing families of operators and estimating their efficiency, come to the fore. The results of this work can be applied and used to prove regularizability in a generalized sense for applied problems. Thus, in this article there is an extended solution for constructing a regularization of an integral equation, finding a sufficient solution by applying the principle of contraction mappings and an auxiliary function.

Keywords: function, inequalities, kernel, space, equations, small parameter, consequence

Интегральные уравнения относятся к разделу математики и являются важными для приложений – к ним приводятся прикладные задачи разных разделов физики, техники и других многих наук. Поэтому в настоящее время теория интегральных уравнений интенсивно развивается благодаря исследователям. С развитием современных компьютерных технологий можно строить математические модели прикладных задач и решать их методами численных решений. Многие такие задачи сводятся к интегральным уравнениям. Для доказательства существования решения линейного интегрального уравнения

Вольтерра первого рода с одной переменной и достаточными условиями для их получения А.М. Денисов, В.О. Сергеев и другие авторы использовали метод дифференцирования по заданным функциям [1, 2, 3]. В своих работах М.М. Лаврентьев, М.И. Иманалиев и А. Асанов изучали решение линейных интегральных уравнений первого рода [4, 5] в пространстве функций $C(G)$ и обобщенных интегральных уравнений Вольтерра первого типа с негладким ядром. Первые результаты по построению регуляризации для решения интегральных уравнений Вольтерра первого рода с одним независимым переменным были получены в [1].

Однако интегральные уравнения с двумя независимыми переменными мало изучены. Это объясняется трудностями в построении резольвенты, так как еще не получено аналитическое представление в общем виде, за исключением некоторых случаев. Поэтому исследованию решений таких уравнений являются актуальными.

В связи с этим данная статья посвящена изучению регуляризации для решения интегрального уравнения Вольтерра первого рода с двумя независимыми переменными. Основной целью данной работы является

построение алгоритма регуляризации для решения интегрального уравнения [6, 7].

Материалы и методы исследования

В данном исследовании показаны материалы для важных разделов высшей математики, такие как теория обратных задач, где используются методы интегральных уравнений, функционального анализа, метод последовательных приближений и малого параметра, а также методы регуляризации и элементы математического и функционального анализ.

Результаты исследования и их обсуждение

Пусть задано уравнение вида

$$\int_0^t K(t, x, s)u(s, x)ds + \int_0^t \int_0^x N(t, x, s, z)u(s, z)dzds = f(t, x), \quad (t, x) \in G \tag{1}$$

где $u(t, x)$ – неизвестная функция, $K(t, x, s)$ и $N(t, x, s, z)$ – ядра, $f(t, x)$ – известная функция,

$$f(t, x) = 0 \text{ при } x \in [0; X], \quad G = \{(t, x): 0 \leq t \leq T, 0 \leq x \leq X\}.$$

На основании выполнения условий:

a) $K(t, x, s) \in G_1 = \{(t, x, s): 0 \leq s \leq t \leq T, 0 \leq x \leq X\}$, $N(t, x, s, z) \in G_2 = \{(t, x, s, z): 0 \leq s \leq t \leq T, 0 \leq z \leq x \leq X\}$ – непрерывные функции, $K(t, x, t) \geq K_0(t) > 0$ при $(t, x) \in G$, $|K(t, x, t)| \leq N_0 K_0(t)$, $K_0(t) \in L_1(0, T)$;

б) при $t > \tau$ и для любых $(t, x, s), (\tau, x, s) \in G_1$ справедливо неравенство:

$$|K(t, x, s) - K(\tau, x, s)| \leq C \int_{\tau}^t K_0(s) ds,$$

где $0 < C = \text{const}$;

в) при $t > \tau$ для любых $(t, x, s, z), (\tau, x, s, z) \in G_2$ справедливо неравенство:

$$|N(t, x, s, z) - N(\tau, x, s, z)| \leq C_1 \int_{\tau}^t K_0(s) ds,$$

где $0 < C_1 = \text{const}$ и $N(t, x, t, z) \equiv 0$ при $G_3 = \{(t, x, s, z): 0 \leq t \leq T, 0 \leq z \leq x \leq X\}$;

Вместе с уравнением (1) рассмотрим следующее сингулярно-возмущенное уравнение:

$$\varepsilon u(t, x, \varepsilon) + \int_0^t K(t, x, s)u(s, x, \varepsilon)ds + \int_0^t \int_0^x N(t, x, s, z)u(s, z, \varepsilon)dzds = f(t, x), \tag{2}$$

где $0 < \varepsilon = \text{const}$ – малый параметр.

В уравнении (2) сделаем подстановку:

$$u(t, x, \varepsilon) = u(t, x) + \varphi(t, x, \varepsilon), \quad (t, x) \in G. \tag{3}$$

Подстановка (3), подставляем в (2), имеем:

$$\varepsilon \varphi(t, x, \varepsilon) + \int_0^t K(t, x, s)\varphi(s, x, \varepsilon)ds + \int_0^t \int_0^x N(t, x, s, z)\varphi(s, z, \varepsilon)dzds + \varepsilon u(t, x) = 0.$$

Из последнего уравнения имеем следующее равенство:

$$\varphi(t, x, \varepsilon) + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t K(s, x, s)\varphi(s, x, \varepsilon)ds = \int_0^t [K(t, x, s) - K(s, x, s)]\varphi(s, x, \varepsilon)ds -$$

$$-\int_0^t \int_0^x N(t, x, s, z) \varphi(s, z, \varepsilon) dz ds - u(t, x) = 0. \quad (4)$$

Применяя резольвенту ядра $\left(-\frac{K(s, x, s)}{\varepsilon} \right)$

$$R(t, x, \varepsilon) = -\frac{K(s, x, s)}{\varepsilon} e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau},$$

из (4) имеем:

$$\begin{aligned} \varphi(t, x, \varepsilon) = & -\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t [K(t, x, s) - K(s, x, s)] \varphi(s, x, \varepsilon) ds - \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \int_0^x N(t, x, s, z) \varphi(s, z, \varepsilon) dz ds - \\ & -u(t, x) + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t K(t, x, s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} \left\{ \int_0^s [K(s, x, \tau) - K(\tau, x, \tau)] \varphi(\tau, x, \varepsilon) d\tau - \right. \\ & \left. - \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \int_0^x N(t, x, s, z) \varphi(\tau, z, \varepsilon) dz d\tau - u(t, x) \right\} ds. \end{aligned}$$

Относительно этого уравнения делаем соответствующие несложные преобразования:

$$\begin{aligned} \varphi(t, x, \varepsilon) = & -\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t [K(t, x, s) - K(s, x, s)] \varphi(s, x, \varepsilon) ds - \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \int_0^x N(t, x, s, z) \varphi(s, z, \varepsilon) dz ds - \\ & -u(t, x) + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \int_0^s K(s, x, s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} [K(t, x, \tau) - K(\tau, x, \tau)] \varphi(\tau, x, \varepsilon) d\tau ds - \\ & -\frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^t \int_0^s K(s, x, s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} [K(t, x, \tau) - K(s, x, \tau)] \varphi(\tau, x, \varepsilon) d\tau ds + \\ & + \frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^t \int_0^s \int_0^z K(s, x, s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} N(t, x, \tau, z) \varphi(\tau, z, \varepsilon) dz d\tau ds - \\ & -\frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^t \int_0^s \int_0^z K(s, x, s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} [N(t, x, \tau, z) - N(s, x, \tau, z)] \varphi(\tau, z, \varepsilon) dz d\tau ds + \\ & + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t K(s, x, s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} u(t, x) ds - \\ & + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t K(s, x, s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} [u(t, x) - u(s, x)] ds. \end{aligned}$$

Учитывая, что $\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t K(s, x, s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} ds = 1 - e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t K(\tau, x, \tau) d\tau}$, и применяя формулу

Дирихле, из последнего уравнения получаем:

$$\begin{aligned} \varphi(t, x, \varepsilon) = & -\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} [K(t, x, s) - K(s, x, s)] \varphi(s, x, \varepsilon) ds - \\ & -\frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^t \left\{ \int_s^t K(\tau, x, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} [K(t, x, \tau) - K(s, x, \tau)] d\tau \right\} \varphi(s, x, \varepsilon) ds - \\ & -\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \int_0^s N(t, x, s, z) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} \varphi(s, z, \varepsilon) dz ds + \frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^t \int_0^s \left\{ \int_s^t K(\tau, x, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} \times \right. \\ & \times [N(t, x, s, z) - N(\tau, x, s, z)] d\tau \left. \right\} - u(t, x) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} - \\ & + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t K(\tau, x, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} [u(t, x) - u(s, x)] ds. \end{aligned}$$

Отсюда:

$$\varphi(t, x, \varepsilon) = \int_0^t H(t, x, s, \varepsilon) \varphi(s, x, \varepsilon) ds + \int_0^t \int_0^x N_1(t, x, s, z, \varepsilon) \varphi(s, z, \varepsilon) dz ds + F(t, x, \varepsilon), \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{где } H(t, x, s, \varepsilon) = & -\frac{1}{\varepsilon} [K(t, x, s) - K(s, x, s)] e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} - \\ & -\frac{1}{\varepsilon^2} \int_s^t K(\tau, x, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} [K(t, x, s) - K(\tau, x, s)] d\tau. \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} N_1(t, x, s, z, \varepsilon) = & -\frac{1}{\varepsilon} N(t, x, s, z) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} - \\ & -\frac{1}{\varepsilon^2} \int_s^t K(\tau, x, \tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} [N(t, x, s, z) - K(\tau, x, s, z)] d\tau. \end{aligned} \quad (7)$$

$$F(t, x, \varepsilon) = -u(t, x) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t K(s, x, s) ds} - \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t K(s, x, s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} \times [u(t, x) - N(s, x)] ds. \quad (8)$$

Для доказательства последнего равенства предварительно докажем следующую лемму.
Лемма 1. Пусть выполняется следующее равенство:

$$F(t, x, \varepsilon) = -u(t, x) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t K(s, x, s) ds} - \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t K(s, x, s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} \times [u(t, x) - N(s, x)] ds.$$

где $u(t, x) \in C(G), u(0, x) = 0$ при $x \in [0, X], K_0(t) > 0$ при всех $t \in [0, T], \varphi(t) = \int_0^t K_0(s) ds$.

Тогда справедлива следующая оценка:

$$\|F(t, x, \varepsilon)\| \leq 2N_0 \|u(t, x)\|_C e^{\frac{1}{\varepsilon^{1-\beta}}} + 2\omega_u(\varepsilon^\beta) = C_0(\varepsilon),$$

где $\beta \in (0, 1)$, $\omega_u(\delta) \leq \text{SUP} |u(\varphi^{-1}(v), x) - u(\varphi^{-1}(v_0), x)| \cdot \varphi^{-1}(\mathcal{G})$ – обратная функция к функции $\mathcal{G} = \varphi(t)$.

Доказательство.

а) Если $0 \leq t \leq \varphi^{-1}(\varepsilon^\beta)$, то из (8) получаем:

$$|F(t, x, \varepsilon)| \leq \omega_u(\varepsilon^\beta) e^{\frac{1}{\varepsilon^{\varphi(t)}}} + \omega_u(\varepsilon^\beta) \frac{1}{\varepsilon} \int_0^t K(s, x, s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau, x, \tau) d\tau} u(t, x) ds = 2\omega_u(\varepsilon^\beta). \quad (9)$$

б) Если $\varphi^{-1}(\varepsilon^\beta) \leq t \leq T$, то имеем

$$|u(t, x)| e^{\frac{1}{\varepsilon^{\varphi(t)}}} \leq u(t, x)_C e^{\frac{1}{\varepsilon^{1-\beta}}}; \quad (10)$$

$$\left| \frac{1}{\varepsilon} \int_0^{\varphi^{-1}(\varphi(t)-\varepsilon^\beta)} K_0(s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau) d\tau} [u(t, x) - u(s, x)] ds + \frac{1}{\varepsilon} \int_{\varphi^{-1}(\varphi(t)-\varepsilon^\beta)}^t K_0(s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K(\tau) d\tau} \times \right. \\ \left. \times [u(t, x) - u(s, x)] ds \leq 2N_0 u(t, x)_C e^{\frac{1}{\varepsilon^{1-\beta}}} + 2\omega_u(\varepsilon^\beta), \quad (11)$$

из (9), (10) и (11) получаем справедливость леммы 1.

Лемма 2. Пусть функция $H(t, x, s, \varepsilon)$ определена в равенстве (6) и выполняются условия а) и б). Тогда справедлива оценка: $|H(t, x, s, \varepsilon)| \leq C_3$, где $C_3 = C(N_0 + e^1)$.

Доказательство. Применяя условие б) из (6), имеем неравенство:

$$|H(t, x, s, \varepsilon)| \leq \frac{1}{\varepsilon} e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K_0(\tau) d\tau} C \int_s^t K_0(\tau) d\tau + \frac{N_0}{\varepsilon^2} \int_s^t K_0(s) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K_0(\tau) d\tau} C e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K_0(\tau) d\tau}$$

Для первого слагаемого имеем следующее неравенство:

$$C e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K_0(\tau) d\tau} \left(\int_s^t K_0(\tau) d\tau \right) = \left| \rho = \frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K_0(\tau) d\tau \right| = C \rho e^{-\rho} \leq C e^{-1}$$

А для второго слагаемого справедливо соотношение:

$$C \frac{N_0}{\varepsilon} \int_s^t K_0(\tau) e^{-\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K_0(\tau) d\tau} \left(\int_s^t K_0(\mathcal{G}) d\mathcal{G} \right) = \left| \begin{array}{l} \rho = \frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K_0(\tau) d\tau \\ \frac{1}{\varepsilon} \int_s^t K_0(\tau) d\tau \geq \rho \geq 0 \end{array} \right| = N_0 C \int_0^\infty \rho e^{-\rho} d\rho \leq CN_0$$

Следовательно, справедлива лемма 2.

Лемма 3. Пусть функция $N_1(t, x, s, z, \varepsilon)$ определяется из равенства (7). Если выполняются условия а) и в), то справедлива оценка $|N_1(t, x, s, z, \varepsilon)| \leq C_4$, где $C_4 = C_2(N_0 + e^1)$.

Доказательство. Принимая условия а) и в) из (7), получаем требуемую оценку.

Далее, в силу лемм 1, 2 и 3 из (5) получим:

$$|\varphi(t, x, \varepsilon)| \leq C_0(\varepsilon) + \int_0^t C_3 |\varphi(s, x, \varepsilon)| ds + \int_0^t \int_0^x C_4 |\varphi(s, z, \varepsilon)| dz ds.$$

Отсюда, введя следующую подстановку:

$$a(t, x, \varepsilon) \leq C_0(\varepsilon) + \int_0^t \int_0^x C_4 |\varphi(s, z, \varepsilon)| dz ds, \quad (12)$$

имеем неравенство

$$|\varphi(t, x, \varepsilon)| \leq a(t, x, \varepsilon) + \int_0^t C_3 |\varphi(s, x, \varepsilon)| ds, \quad (13)$$

В дальнейшем используем следующие леммы [2].

Лемма 4. Пусть $\varphi(t), a(t) \in C[0, T]$, $a(t) \geq 0$ при $t \in [0, T]$,

$$|\varphi(t)| \leq a(t) + C \int_0^t |\varphi(s)| ds, \quad t \in [0, T]$$

где $0 < C_6 - \text{const}$. Тогда справедливо следующее неравенство:

$$|\varphi(t)| \leq a(t) + C_6 \int_0^t e^{C_6(t-s)} a(s) ds, \quad t \in [0, T]$$

Лемма 5. Пусть $\varphi(t, x), b(t, x) \in C([0, T] \times [0, X])$, $b(t, x) \geq 0$ и

$$|\varphi(t, x)| \leq b(t, x) + C_7 \int_0^t \int_0^x |\varphi(s, z)| dz d\tau, \quad (t, x) \in [0, T] \times [0, X].$$

где $0 < C_7 - \text{const}$.

Из последнего соотношения получаем следующее неравенство:

$$|\varphi(t, x)| \leq b(t, x) + \int_0^t \int_0^x R(t, x, s, z) b(s, z) dz ds$$

$$\text{где } R(t, x, s, z) = \sum_{n=0}^{\infty} C_7^{n+1} \frac{(t-s)^n (x-z)^n}{(n!)^2}.$$

Доказательство

$$\text{Пусть } \mathcal{G}(t, x) = b(t, x) + C_7 \int_0^t \int_0^x \mathcal{G}(s, z) dz ds, \quad (t, x) \in [0, T] \times [0, X].$$

Отсюда, применяя метод последовательных приближений, имеем:

$$\begin{cases} \mathcal{G}_n(t, x) = b(t, x) + C_7 \int_0^t \int_0^x C_7 \mathcal{G}_{n-1}(s, z) dz ds, \quad n \in N \\ \mathcal{G}_0(t, x) = b(t, x) \end{cases}$$

$$\mathcal{G}(t, x) = b(t, x) + \sum_{n=1}^{\infty} [\mathcal{G}_n(t, x) - \mathcal{G}_{n-1}(t, x)], \quad (14)$$

$$\mathcal{G}_2(t, x) - \mathcal{G}_1(t, x) = C_7 \int_0^t \int_0^x b(s, z) dz ds,$$

$$\mathcal{G}_2(t, x) - \mathcal{G}_1(t, x) = C_7 \int_0^t \int_0^x C_7 [\mathcal{G}_1(s, z) - \mathcal{G}_0(s, z)] dz = \int_0^t \int_0^x C_7 \left(\int_0^s \int_0^z C_7 b(s_1, z_1) ds_1 dz_1 \right) dz ds$$

В последнем равенстве, применяя формулу Дирихле, получаем:

$$\mathcal{G}_2(t, x) - \mathcal{G}_1(t, x) = \iint_{00}^{t, x} C_7^2 b(s, z)(t-s)(x-z) dz ds.$$

Используя метод математической индукции, получим:

$$\mathcal{G}_n(t, x) - \mathcal{G}_{n-1}(t, x) = \iint_{00}^{t, x} C_7^n b(s, z) \frac{(t-s)^{n-1} (x-z)^{n-1}}{(n-1)! \cdot (n-1)!} dz ds$$

Тогда из (14) получаем:

$$\begin{aligned} \mathcal{G}(t, x) &= b(t, x) + \iint_{00}^{t, x} b(s, z) \left[C_7 + \sum_{n=2}^n C_7^n \frac{(t-s)^{n-1} (x-z)^{n-1}}{(n-1)! \cdot (n-1)!} \right] dz ds = \\ &= b(t, x) + \iint_{00}^{t, x} R(t, x, s, z) b(s, z) dz ds, \end{aligned}$$

$$\text{где } R(t, x, s, z) = \sum_{n=2}^n C_7^n \frac{(t-s)^{n-1} (x-z)^{n-1}}{(n-1)! \cdot (n-1)!} \cdot |\varphi(t, x)| \leq \mathcal{G}(t, x), \quad (t, x) \in [0, T] \times [0, X].$$

Лемма 6 доказана.

Далее, применяем лемму 5 к неравенству (13), получим:

$$|\varphi(t, x, \varepsilon)| \leq a(t, x, \varepsilon) + C_3 \int_0^t e^{C_3(t-s)} a(s, x, \varepsilon) ds, \quad (15)$$

Подставляя (13) в (15), имеем:

$$\begin{aligned} |\varphi(t, x, \varepsilon)| &\leq C_0(\varepsilon) + C_4 \iint_{00}^{t, x} |\varphi(s, z, \varepsilon)| dz ds + \\ &+ C_3 \int_0^t e^{C_3(t-s)} \left\{ C_0(\varepsilon) + C_4 \iint_{00}^{t, x} |\varphi(s_1, z_1, \varepsilon)| dz_1 ds_1 \right\} ds. \end{aligned}$$

Здесь, интегрируя и применяя формулу Дирихле, получаем:

$$|\varphi(t, x, \varepsilon)| = C_0(\varepsilon) e^{C_3 t} + C_4 \iint_{00}^{t, x} e^{C_3(t-s)} |\varphi(s, z, \varepsilon)| dz ds.$$

Затем заменив t на T , имеем:

$$|\varphi(t, x, \varepsilon)| = C_0(\varepsilon) e^{C_3 t} + C_4 e^{C_3 t} \iint_{00}^{t, x} |\varphi(s, z, \varepsilon)| dz ds. \quad (16)$$

На равенство (16), используя лемму 5 и формулу Дирихле, получим:

$$|\varphi(t, x, \varepsilon)| = C_0(\varepsilon) e^{C_3 t} b(t, x) + \iint_{00}^{t, x} C_0(\varepsilon) e^{C_3 T} R(t, x, s, z) dz ds. \quad (17)$$

$$\text{где } R(t, x, s, z) = \sum_{n=2}^n (C_4 e^{C_3 T})^{n+1} \frac{(t-s)^{n-1} (x-z)^{n-1}}{(n!)^2}.$$

Из (17) вытекает следующее равенство:

$$|\varphi(t, x, \varepsilon)| = C_0(\varepsilon)C_5, \quad \forall (t, x) \in G, \quad (18)$$

где $C_0(\varepsilon) = 2N_0 \|u(t, x)\|_C e^{\frac{1}{\varepsilon^{1-\beta}}} + 2\omega_u(\varepsilon^\beta)$, $C_5 = e^{C_3 T} [1 + R(T, X, 0, 0)TX]$,

доказана следующая теорема.

Теорема. Пусть выполняются условия а)–в) и уравнение (1) имеет непрерывное решение $u(t, x)$ на G и $u(0, x) = 0$ при $x \in [0; X]$; $K_0(t) > 0$ почти для всех $t \in [0; T]$. Тогда решение уравнения (2) можно представить в виде (3), и это решение приближается к непрерывному решению уравнения (1) в области G на $\varepsilon \rightarrow 0$, и оценка (18) верна.

Следствие. Если $\int_0^t K_0(s) ds > 0$ при всех $t \in [0; T]$ и выполняются условия а)–в).

Тогда решение уравнения (1) в пространстве $C(G)$ единственно.

Доказательство. Пусть $u(t, x) \neq 0$ решение (1), при $f(t, x) \equiv 0$. Тогда из условий а)–в) можно показать, что $u(t, x) = 0$ на $x \in [0; X]$. На самом деле, пусть имеем:

$$\int_0^t K(t, x, s)u(s, x) ds + \int_0^t \int_0^x N(t, x, s, z)u(s, z) dz ds = f(t, x).$$

Преобразуем его в эквивалентное уравнение:

$$u(0, x) \int_0^t K(s, x, s) ds = - \int_0^t [K(t, x, s) - K(s, x, s)] u(s, x) ds - \int_0^t K(s, x, s) \left[u(s, x) - \right. \\ \left. - u(0, x) \right] ds - \int_0^t \int_0^x [N(t, x, s, z) - N(s, x, s, z)] u(s, z) dz ds.$$

Согласно условиям а)–в) и по формуле Дирихле, заменяя τ на s , и на основании теоремы о среднем значении имеем:

$$\begin{aligned} |u(0, x)| \int_0^t K(s) ds \leq \|u(t, x)\|_C C - \int_0^t K_0(s) ds \int_0^t ds + \\ + N_0 SUP |u(s, x) - u(0, x)| \int_0^t K_0(s) ds + \|u(t, x)\|_C C_1 \int_0^t K_0(s) ds \int_0^x dz \int_0^t ds. \end{aligned}$$

По условию теоремы $\int_0^t K_0(s) ds > 0$ при всех $t \in (0, T]$. Поэтому имеем:

$$|u(0, x)| \leq \|u(t, x)\|_C [Ct + C_1 tx] + N_0 SUP |u(s, x) - u(0, x)|.$$

Отсюда, переходя к пределу, при $t \rightarrow 0$ получим $u(t, x) = 0$ для $x \in [0; X]$. Ясно, что если $f(t, x) \equiv 0$ то $u(t, x, \varepsilon) \equiv 0$, $\varepsilon > 0$, где $u(t, x, \varepsilon)$ – решение уравнения (2).

Далее в силу теоремы имеем:

$$\begin{aligned} \|u(t, x)\|_C &= \|u(t, x) - u(t, x, \varepsilon) + u(t, x, \varepsilon)\|_C \leq \|u(t, x) - u(t, x, \varepsilon)\|_C + \|u(t, x, \varepsilon)\|_C = \\ &= \|u(t, x) - u(t, x, \varepsilon)\|_C \rightarrow 0, \quad \varepsilon \rightarrow 0. \quad \text{т.е. } u(t, x) \equiv 0 \text{ при почти всех } (t, x) \in G. \end{aligned}$$

Заключение

В данной работе рассмотрено интегральное уравнение Вольтерра первого рода с двумя независимыми переменными. Установлены достаточные условия единственности и построен алгоритм регуляризации для решения интегрального уравнения Вольтерра первого рода с двумя независимыми переменными в пространстве $C(G)$. Результаты работы могут применяться в прикладных задачах, где вырождаются нелинейные некорректные интегральные уравнения первого рода.

Список литературы

1. Сергеев В. О. Регуляризация уравнений Вольтерра первого рода // Докл. АН СССР. 1971. Т. 197, № 3. С. 531-534.
2. Арсенин В.Я. О применении метода регуляризации к интегральным уравнениям первого рода типа свертки // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1969. Т. 9, № 6. С. 204-210.
3. Асанов А., Камбарова А.Д. Регуляризация и единственность решений линейных интегральных уравнений Вольтерра первого рода на оси // Известия кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2015. № 1(34). С. 184-187.
4. Искандаров С., Бокобаева З.Б. Об оценках решений и их первых производных линейного вольтеррова невязного интегро-дифференциального уравнения второго порядка // Вестник института математики НАН КР. 2018. № 1. С. 49-55.
5. Абдукаримов А.М. О квадратичной интегрируемости решений линейных интегральных уравнений типа Вольтерра-Стилтьеса на бесконечных областях // Вестник института математики НАН КР. 2018. № 1. С. 105-111.
6. Зулпукаров Ж.А., Алиева Ж.А. Линейное интегральное уравнение Вольтерра первого рода с тремя независимыми переменными // Материалы XVII Международной научной конференции «Общество: научно-образовательный потенциал развития (идеи, ресурсы, решения)». Чебоксары, 2022. С. 15-22.
7. Зулпукаров Ж.А., Осекова Г.А. Регуляризация линейные интегральные уравнение Вольтерра первого рода с тремя независимыми переменными // Известия ОшТУ. 2016. № 1. С. 118-123.

УДК 539.124

ПРИЧИНЫ АННИГИЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОНА И ПОЗИТРОНА

Карякин А.В., Карякина И.В.

Георгиевский региональный колледж «Интеграл», Георгиевск, e-mail: kavov545@mail.ru

Рассмотрены известные свойства электрона и позитрона. Фактическое изображение электрона не удалось запечатлеть современными приборами ввиду малых размеров. На основании экспериментальных данных о результатах аннигиляции электрона и позитрона на несколько гамма-кварков делается предположение о составной структуре электрона. На основании единообразия электронов предлагается простая структура электрона, состоящая из центрального ядра и внешней части, вращающегося вокруг ядра. Направление вращения внешней части определяет механический момент частицы. На основе предложенной структуры частицы исследовано отличие электрона от позитрона, определено направление механического и магнитного момента. Рассмотрены два варианта, при которых электрон преобразовывается в позитрон. Определены силы, притягивающие электрон и позитрон и формирующие позитроний. Рассмотрено взаимодействие частиц в составе ортопозитрония и парапозитрония. Определено, что в зависимости от ориентации спинов взаимодействие частиц имеет два отдельных вида столкновения. Рассмотрены движения частиц и определены критические соударения, приводящие к разрушению структур частиц. Установлена зависимость времени аннигиляции ортопозитрония и парапозитрония от разного вида столкновения составляющих частиц. Определена причина формирования двух или трех гамма-квантов в результате аннигиляции.

Ключевые слова: электромагнитное поле, электрон, позитрон, магнитный момент, механический момент, заряженная частица, кинетическая энергия, аннигиляция, позитроний, ортопозитроний, парапозитроний

CAUSES OF ELECTRON AND POSITRON ANNIHILATION

Karyakin A.V., Karyakina I.V.

College "Integral", Georgievsk, e-mail: kavov545@mail.ru

The known properties of the electron and positron are considered. The actual image of the electron could not be captured by modern devices, due to its small size. Based on experimental data on the results of annihilation of an electron and a positron into several gamma quarks, an assumption is made about the composite structure of an electron. Based on the uniformity of electrons, a simple electron structure is proposed, consisting of a central core and an outer part rotating around the core. The direction of rotation of the outer part determines the mechanical moment of the particle. Based on the proposed particle structure, the difference between an electron and a positron is investigated, the direction of the mechanical and magnetic moment is determined. Two variants in which an electron is transformed into a positron are considered. The forces attracting the electron and positron and forming the positronium are determined. The interaction of particles in the composition of orthopositronium and parapositronium is considered. It is determined that, depending on the orientation of the spins, the interaction of particles has two separate types of collisions. Particle motions are considered and critical collisions leading to the destruction of particle structures are determined. The dependence of the time of annihilation of orthopositronium and parapositronium on different types of collisions of constituent particles is established. The reason for the formation of two or three gamma quanta as a result of annihilation has been determined.

Keywords: electromagnetic field, electron, positron, magnetic moment, mechanical moment, charged particle, kinetic energy, annihilation, positronium, orthopositronium, parapositronium

В природе существуют частицы с электрическими зарядами противоположных знаков [1]. К ним определенно относится электрон и позитрон. Их свойства известны, достаточно рассмотреть свойства только электрона, потому как позитрон имеет точно такие же параметры. Позитрон считается античастицей электрона. Электроны очень малы и идентичны. Масса электрона $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$ кг. Масса e^- примерно в 3700 раз меньше массы молекулы водорода, которая является самой меньшей из всех молекул. Неотделимое свойство электрона электрический заряд. У всех электронов одинаковый заряд $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Заряд протонов такой же по модулю, но противоположный по знаку $+1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

$\mu_e = 9,28 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл – магнитный момент электрона. Собственный вращательный момент (спин) $s=1/2$. Причиной магнитных

свойств единодушно считают вращение заряженных электронов вокруг ядра атома и собственное вращение электрона вокруг оси (спин). Всякое движение заряда – это электрический ток, а каждый ток создает магнитное поле [2]. Заряженные частицы не могут действовать друг на друга непосредственно: вокруг них существует электромагнитное поле. Поле одной заряженной частицы действует на другую некоторой силой и наоборот [3]. Электроны вращаются не только вокруг ядра, но и вокруг самих себя, причём собственный магнитный момент электрона значительно больше орбитального.

Определенно, электрон, как и многие другие частицы, подобен миниатюрному волчку. Электроны играют важную роль во всех химических и физических процессах, и поэтому их изучение очень важно.



Рис. 1. Варианты художественного изображения электрона в атоме

При всех доказательствах существования электрона как частицы его так и не удалось запечатлеть до сих пор. Отчасти потому, что до сих пор нет более чувствительной аппаратуры, способной разглядеть сверхмалый и неуловимый электрон. С помощью камеры Вильсона можно наблюдать лишь пузырьковый след от прохождения частицы. Наиболее часто электрон/позитрон представляется на изображениях как некий шарик, или иногда как волна, рис. 1.

Фотографии отдельного электрона или позитрона отсутствуют, соответственно, о форме и структуре частиц мы можем пока только догадываться, ввиду чего существует необходимость в исследованиях электрона и позитрона, их свойств.

Гипотеза: сближение частиц определяется магнитным и электрическим взаимодействиями. Аннигиляция вызвана встречными соударениями, приводящими к разрушению структур сталкивающихся частиц.

Цель исследования: представить составное строение электрона и позитрона, и магнитное, и электрическое притяжение частиц в зависимости от направления спина.

Допустим, что подобно любым круглым магнитным системам, планетам, собственное магнитное поле заряженной частицы определенно имеет сфероподобную форму, рис. 2.



Рис. 2. Форма магнитного поля заряженной частицы

Часть силовых линий, исходящих из полюсов, разворачивается и формирует замкнутые линии вокруг. Центральные линии удаляются от полюсов на значительные расстояния. Аналогично джетам магнитных квазаров.

Безусловно, величина магнитного поля электрона или протона достаточно мала. Тем не менее собственное магнитное поле частицы взаимодействует с внешними магнитными полями при движении. Под влиянием силы Лоренца движение отклоняется в сторону.

$$F = q v B \sin \alpha,$$

где q – абсолютное значение движущегося заряда, v – скорость движения заряда, B – модуль вектора магнитной индукции.

Определенно, собственное магнитное поле частицы составляет важнейшую часть во взаимодействиях между рассматриваемыми заряженными частицами. Любые магнитные тела взаимодействуют между собой и образуют сложные формы магнитных полей [4]. Другим взаимодействием частиц с гравитационным полем можно пренебречь из-за малой массы частиц.

Другое взаимодействие между зарядами описывается законом Кулона. Следует отметить, что на сверхмалых расстояниях (при взаимодействиях элементарных частиц) порядка 10^{-18} м проявляются электро-слабые эффекты. Закон Кулона описывает силу, действующую между двумя покоящимися зарядами (электростатика). Когда заряды движутся, между ними возникают дополнительные силы.

Электрон и позитрон определенно составные частицы, которые при соударении аннигилируют и распадаются на гамма-кварки. Количество образуемых кварков зависит от того, как направлены спины взаимодействующего электрона и позитрона.

Известно, что связка электрона e^- и позитрона e^+ называется позитроний. Позитроний образуется при столкновениях медленных позитронов с атомами вещества

и захвате позитроном атомного электрона. Известно, что размеры позитрония примерно в 2 раза превышают размеры атома водорода, а его энергия связи в 2 раза меньше. Позитроний простейшая система, связанная электромагнитными силами. Существуют два варианта ориентации спинов электрона и позитрона в позитронии. Ортопозитроний состоит из параллельных спинов e^- и e^+ . Парапозитроний состоит из антипараллельных спинов e^- и e^+ .

Позитроний – нестабильная система, поскольку электрон и позитрон быстро аннигилируют. Парапозитроний аннигилирует в два гамма-кванта за $1,25 \cdot 10^{-10}$ с. Ортопозитроний аннигилирует в три гамма-кванта за $1,4 \cdot 10^{-7}$ с.

Собственно, об электроне и позитроне известно достаточно много, тем не менее остается ряд открытых вопросов: какова структура электрона и позитрона? Как именно электрон превращается в позитрон? Что вызывает катастрофическое разрушение стабильных частиц? Почему отличается время аннигиляции парапозитрония и ортопозитрония, состоящих из двух одинаковых частиц?

Рассмотрим структуру электрона как составной частицы. Допустим, что электрон состоит из внутреннего ядра и части, вращающейся вокруг ядра по орбите, рис. 3.

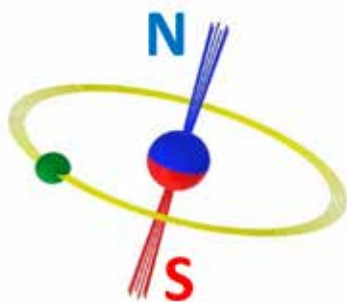


Рис. 3. Составная структура частицы

Ядро генерирует основное магнитное поле частицы и определяет магнитный спин частицы. Внешняя оболочка вращается вокруг ядра и определяет механический момент частицы. Известно, что направление магнитного момента и спина электрона совпадают [5]. Отличие позитрона заключается в том, что его внешняя часть вращается в другом направлении, соответственно, магнитный и механический моменты разнонаправлены. Данное представление структуры частицы позволяет описать превращение электрона в позитрон изменением направления вращения внешней составляющей частицы.

Преобразование электрона в позитрон возможно двумя способами. При внешнем воздействии на частицу происходит разворот вращения внешней части на 180 градусов либо разворачивается/переворачивается ядро. Без внешнего воздействия самопроизвольное изменение направления вращения ядра или внешней части невозможно. Таким образом, только за счет внешнего воздействия заряженными частицами электрон трансформируется в позитрон. Известно, что позитрон проявляется в явлениях искусственной радиоактивности и взаимодействия жестких гамма-квантов с веществом [6].

Состав электрона и позитрона идентичен, отличия только в направлении вращения магнитного и механического момента. Возможно, это отличие и определяет знак заряда частицы. Рассмотрение физики формирования положительного и отрицательного заряда выходит за рамки исследования.

Различное направление моментов определяет взаимодействие исследуемых заряженных частиц. Например, электроны образуют пары и не аннигилируют. Определенно, из-за того, что оба электрона имеют одинаковый заряд, они отталкиваются друг от друга. И оба электрона притягиваются друг к другу магнитными полюсами, формируя устойчивую систему.

Очевидно, что электрон и позитрон, составляя позитроний, имеют всего два варианта ориентации спинов. Их спины совпадают либо противоположны.

Исследуем силы, действующие между электроном и позитроном, образующими позитроний.

Допустим, составляющие части позитрония удерживаются под действием двух сил. Первая сила обусловлена притяжением разноименных полюсов магнитных полей. Вторая сила обусловлена притяжением разноименных зарядов. Как известно, у электрона отрицательный, у позитрона положительный заряд. Рассмотрим визуально частицы ортопозитрония, рис. 4.

В ортопозитронии у электрона и позитрона магнитные моменты разнонаправлены, а кинетические моменты совпадают. Электрон и позитрон притягиваются магнитными, и электрическими силами. Как визуально показано, оба магнитных полюса и электрона, и позитрона притягиваются. В результате неизбежного приближения их внешние части сталкиваются лоб в лоб. Внешние части двигаются с релятивистскими скоростями, и лобовое столкновение, по всей видимости, имеет критические последствия для обеих структур: и электрона, и позитрона.

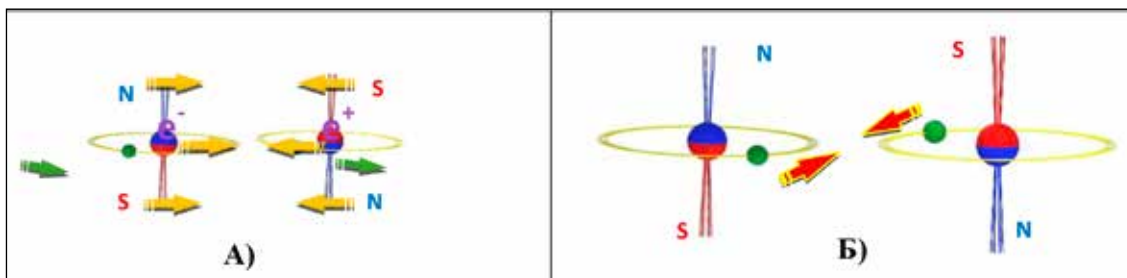


Рис. 4. Этапы сближения электрона и позитрона, составляющих ортопозитроний

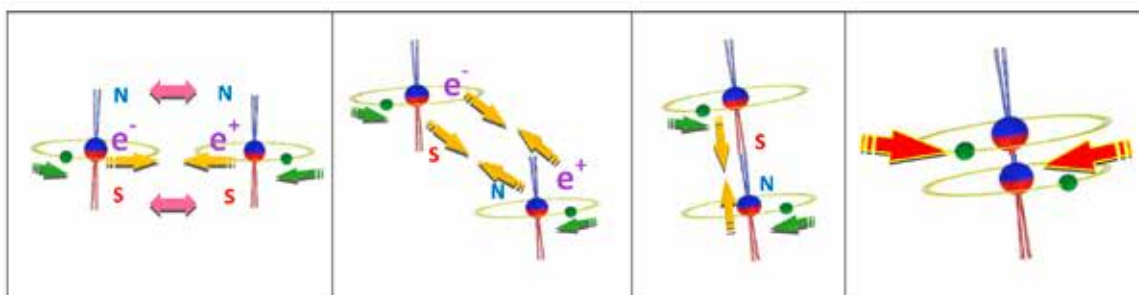


Рис. 5. Этапы сближения электрона и позитрона, составляющих парапозитроний

Происходят непоправимые разрушения: составляющие части отскакивают, меняют направление и уходят с орбиты. Восстановление структуры после таких жестких взаимодействий невозможно. В результате после потери внешних орбитальных составляющих остаются только центральные ядра электрона и позитрона. Следует отметить, что оставшиеся центральные ядра электрона и позитрона не объединяются, поэтому ортопозитроний распадается на три части: внешняя часть и два отдельных ядра. Интерпретируемые в экспериментах как три гамма-кварка.

Рассмотрим взаимодействие составляющих парапозитроний, рис. 5.

У парапозитрония магнитные моменты электрона и позитрона направлены одинаково, а кинетические моменты противоположны. Соответственно, электрон и позитрон притягиваются только электрическими силами. Магнитные полюса отталкиваются и не позволяют им сблизиться вплотную. При небольшом смещении частиц по оси вращения между магнитными полюсами появляется притяжение. Магнитное притяжение становится максимальным при выстраивании обеих частиц на одной оси. В результате маневра электрон и позитрон максимально сближаются. Ядра электрона и позитрона сталкиваются и сливаются в единое общее ядро. Тем не менее внешние части электрона и позитрона вращаются в разных направлениях, и их сбли-

жение ведёт к лобовому критическому столкновению. Внешние части разрушаются и отлетают от ядер. Восстановление структуры после таких жестких взаимодействий невозможно. В результате соударения внешних частей позитрона и электрона парапозитроний аннигилирует только в два гамма-кванта. По всей видимости, два кванта формируется из отскочившей внешней части и объединенного ядра.

Как видно, описанная аннигиляция парапозитрония происходит только после взаимного смещения частиц по оси. В результате дополнительных маневров время аннигиляции частиц парапозитрония значительно увеличивается. Экспериментальные данные подтверждают, что время аннигиляции парапозитрония $1,25 \cdot 10^{-10}$ с. Тогда как ортопозитроний аннигилирует за $1,4 \cdot 10^{-7}$ с.

Рассматриваемая в исследовании структура составной частицы позволяет описать физические процессы аннигиляции без использования термина «антиматерия». Кроме того, построенная модель описывает структуру ортопозитрония и парапозитрония. Новая структура электрона и позитрона открывает новый взгляд на природу материи и определяет новые направления исследования частиц.

Заключение

В исследовании рассматривается составная структура электрона в виде центрального ядра и вращающейся вокруг ядра

внешней части. Частица подобна миниатюрному волчку. Определенно, механический и магнитный момент электрона совпадают. Внешнее воздействие на электрон изменяет направление вращения либо внешней части, либо ядра. В результате направление момента изменяется на 180 градусов. Определенно, изменение направления вращения механического момента электрона на противоположное приводит также к изменению заряда частицы. Описано, что два соседних электрона образуют пару за счет притяжения магнитных сил и отталкивания из-за электрических сил, так как оба имеют одинаковый заряд. Сделан вывод о том, что притяжение электрона и позитрона определяется двойным взаимодействием: магнитным и электрическим. Рассмотрена различная ориентация электрона и позитрона в ортопозитронии и парапозитронии и сделаны выводы о причинах разного времени аннигиляции частиц. Рассмотрены два вида аннигиляции электрона и позитрона на основании кинетических столкновений, приводящих к критическим разрушениям структуры частиц. Установлены причины формирования различного количества гамма-квантов при аннигиляции

ортопозитрония и парапозитрония. Предложенная структура электрона и позитрона описывает строение частиц без использования термина «антиматерия».

Гипотеза имеет научную новизну и имеет теоретическое обоснование. Гипотеза истинна.

Список литературы

1. Полицинский Е.В. П50 Лекции по физике. Часть 1: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 324 с.
2. Плетнев С.В. Магнитное поле, свойства, применение: научное и учебно-методическое справочное пособие. СПб.: Гуманистика, 2004. 624 с.
3. Дельцов В.П., Дельцов В.В. Физика: дойти до самой сути! Настольная книга для углубленного изучения физики в средней школе. Электричество: учебное пособие / Науч. ред. Н.С. Алексеева. М.: ЛЕНАНД, 2017. 304 с.
4. Карякин А.А., Карякин А.В., Карякина И.В. Природа взаимодействия магнитных полей // *European Journal of Natural History*. 2022. № 1. С. 109-113.
5. Физика: дойти до самой сути! Настольная книга для углубленного изучения физики в средней школе. Электромагнетизм: учебное пособие / Науч. ред. Н.С. Алексеева. М.: ЛЕНАНД, 2017. 240 с.
6. Элементарный учебник физики: учебное пособие в 3 т. Т. 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика / Под ред. Г.С. Ландсберга. М.: ФИЗМАЛИТ, 2021. 664 с.