

**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 = 0,570

№ 11 2019

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,277

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.

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПИ140

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); 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 = 0,570.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,277.

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

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

Адрес редакции: 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 Л.М. Байгузова

Корректор Е.С. Галенкина

Подписано в печать 29.11.2019

Дата выхода номера 29.12.2019

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. 16,88

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2019/11

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**СТАТЬИ**

- ЧИСТАЯ ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА ФАЦИЙ
БЕРЕЗОВСКОГО УЧАСТКА НАЗАРОВСКОЙ КОТЛОВИНЫ
Дубынина С.С. 9
- ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КРУПНЫХ ВОДОЕМОВ
(НА ПРИМЕРЕ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)
Козлов А.В., Вершинина И.В. 15
- БИОКОМПЛЕКС *VISCUM COLORATUM* (КОМ.) *NAKAI* И *BETULA PLATYPHYLLA* *SUK.*:
ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО ОБМЕНА
Леусова Н.Ю. 21
- ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ ПОЧВ
ПОД МОЛОДЫМИ И СРЕДНЕВОЗРАСТНЫМИ ЗАЛЕЖАМИ
ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
Миллер Г.Ф., Филимонова Д.А., Безбородова А.Н., Соловьев С.В. 26

ОБЗОРЫ

- МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ТРАНСПОРТА ЛИПИДОВ ИЗ ЭНДОПЛАЗМАТИЧЕСКОГО
РЕТИКУЛУМА В КОМПЛЕКС ГОЛЬДЖИ В ЭНТЕРОЦИТЕ КИШЕЧНОЙ ВОРСИНКИ
Здорикова М.А., Казакова Т.Е., Димов И.Д., Сесорова И.С. 30

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ**СТАТЬИ**

- РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ
И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СТЕПНЫХ И ЛЕСОСТЕПНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ
В XVIII–XXI ВВ.: ОПЫТ ПЕРИОДИЗАЦИИ
Грошева О.А. 35
- ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ПЕРИФЕРИИ
КУРГАНА ТУННУГ-1
Едемский Д.Е., Попов А.В., Прокопович И.В., Садыков Т.Р., Блохин Е.К., Каспари Дж. 40

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ**СТАТЬИ**

- ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРОВИ У ПАЦИЕНТОВ С ПОВРЕЖДЕНИЕМ ДИАФИЗА
ЛУЧЕВОЙ КОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ЧРЕСКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА
АППАРАТОМ ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ СТЕРЖНЕВОЙ КОМПОНОВКИ
Бутаев Ч.З., Пусева М.Э., Кинаш И.Н., Ипполитова Е.Г. 49
- ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ
КЛЕТОЧНО-ИНЖЕНЕРНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
КОСТНОГО ДЕФЕКТА У КРОЛИКА
Живцов О.П., Алейник Д.Я., Орлинская Н.Ю., Митрофанов В.Н. 54

**ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АКУШЕРСКОЙ ТРАВМЫ ШЕЙКИ МАТКИ:
ТЕНДЕНЦИИ И ПРОГНОЗ**

Самигуллина А.Э., Акматбекова Н.Р. 60

**АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ПИТАНИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИИ
ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ КУРОРТОВ**

Туманова А.Л., Кочетков Н.М. 66

ОБЗОРЫ
МИОМА МАТКИ: СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ

Гончарова М.А., Петров Ю.А. 70

СОСТОЯНИЕ ОБОНЯТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У ПОЖИЛОГО НАСЕЛЕНИЯ

Насыров В.А., Тухватшин Р.Р., Талайбеков М.Т., Бедельбаев С.А. 75

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ
СТАТЬИ
**ЛАТЕРАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСА
ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВ ПРЕДСАЛАИРЬЯ**

Шапорина Н.А., Сайб Е.А. 79

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
СТАТЬИ
**ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ
ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЯ В ФОРМЕ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРОВ**

Болгару К.А., Браверман Б.Ш., Максимов Ю.М., Регер А.А., Верецагин В.И. 86

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
МЯСНОГО СЫРЬЯ ПАТОГЕННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ**

Волков А.Ю., Донскова Л.А., Коткова В.В. 92

**РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ МОДУЛЯ ДИСЦИПЛИН
«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД» ДЛЯ ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ**

Семёнов А.С. 97

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ РАЗРУШЕНИЯ
КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД**

Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т., Турдубаева Ч.Б. 101

ОБЗОРЫ
ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАВНЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Шишакина О.А., Паламарчук А.А. 105

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
СТАТЬИ
**ТЕОРИЯ ЗАМЕДЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ГЕОЛОГИИ,
ГЕОФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ**

Рыбкин В.В. 110

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**ОБЗОРЫ**

ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОДЕИНА
ДЛЯ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТАХ
И БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ МЕТОДАМИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ
И СПЕКТРОМЕТРИИ ДИФФУЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ

Немихин В.В., Качин С.В., Кутяков В.А., Сагалаков С.А. 126

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ**СТАТЬИ**

АГРАРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ
СЕВЕРНОГО РЕГИОНА

Марецкая В.Н., Марецкая А.Ю. 131

CONTENTS
BIOLOGICAL SCIENCES
ARTICLES

- NET PRIMARY PRODUCTION OF PLANT MATTER FACIES OF THE BEREZOVSKY SECTION OF THE NAZAROVSKAYA BASIN
Dubynina S.S. 9
- APPLICATION OF HYDROBIOLOGICAL INDICATORS FOR ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL CONDITION OF LARGE WATER OBJECTS (CHEBOXARY RESERVOIR EXAMPLE)
Kozlov A.V., Vershinina I.V. 15
- BIOCOMPLEX *VISCUM COLORATUM* (KOM.) NAKAI AND *BETULA PLATYPHYLLA* SUK.: FEATURES OF MINERAL EXCHANGE
Leusova N.Yu. 21
- PEDOLOGICAL-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF EROSION-HAZARDOUS SOILS UNDER YOUNG AND MIDDLE-AGED FALLOWS OF THE SOUTH-EAST OF WESTERN SIBERIA
Miller G.F., Filimonova D.A., Bezborodova A.N., Solovev S.V. 26

REVIEWS

- THE MOLECULAR MECHANISMS OF LIPID TRANSPORT THROUGH THE GOLGI IN ENTEROCYTE INTESTINAL VILLI
Zdorikova M.A., Kazakova T.E., Dimov I.D., Sesorova I.S. 30

GEOGRAPHICAL SCIENCES
ARTICLES

- THE DEVELOPMENT OF THE SCIENTIFIC BASES OF RATIONAL LAND USE AND THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE STEPPE AND FOREST-STEPPE REGIONS OF RUSSIA IN THE XVIII–XXI CENTURIES: EXPERIENCE OF PERIODIZATION
Grosheva O.A. 35
- APPLICATION OF GEOPHYSICAL METHODS TO THE TUNNUG-1 MOUND PERIPHERAL SURVEY
Edemskiy D.E., Popov A.V., Prokopovich I.V., Sadykov T.R., Blokhin E.K., Kaspari Dzh. 40

MEDICAL SCIENCES
ARTICLES

- DYNAMICS OF BLOOD COUNTS IN PATIENTS WITH RADIAL SHAFT FRACTURE TREATED BY TRANSOSSEOUS OSTEOSYNTHESIS WITH THE EXTERNAL FIXATION DEVICE OF THE ROD CONFIGURATION
Butaev Ch.Z., Puseva M.E., Kinash I.N., Ippolitova E.G. 49
- PECULIARITIES OF BONE TISSUE REGENERATION IN CONDITIONS OF A CELL ENGINEERING CONSTRUCTION FOR RESTORING BONE DEFECT IN A RABBIT
Zhivtsov O.P., Aleynik D.Ya., Orlinskaya N.Yu., Mitrofanov V.N. 54

REMOTE CONSEQUENCES OF OBSTETRIC INJURY OF THE CERVIX UTERI:
TRENDS AND FORECAST

Samigullina A.E., Akmatbekova N.R. 60

ASPECT OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY POWER THE SECURED
AND EPIDEMIOLOGICAL PROTECTION RESORTS

Tumanova A.L., Kochetkov N.M. 66

REVIEWS

UTERINE MYOMA: MODERN DIRECTIONS OF SURGICAL TREATMENT

Goncharova M.A., Petrov Yu.A. 70

STATE OF THE SENSOR SYSTEM IN THE ELDERLY POPULATION

Nasyrov V.A., Tukhvatshin R.R., Talaybekov M.T., Bedelbaev S.A. 75

AGRICULTURAL SCIENCES

ARTICLES

THE LATERAL VARIABILITY OF AGROPHYSICAL INDICATORS OF THE COMPLEX
OF ERODED SOILS OF THE PREDSAIRYE REGION

Shaporina N.A., Sayb E.A. 79

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

OBTAINING OF COMPOSITE MATERIALS BY THE COMBUSTION OF HOLLOW
CYLINDER-SHAPED ALUMINUM FERROSILICON

Bolgaru K.A., Braverman B.Sh., Maksimov Yu.M., Regeer A.A., Vereschagin V.I. 86

THE USE OF HIGH PRESSURE TO SOLVE THE PROBLEM OF POLLUTION
OF MEAT RAW MATERIALS BY PATHOGENIC MICROORGANISMS

Volkov A.Yu., Donskova L.A., Kotkova V.V. 92

DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL SUPPORT
FOR THE MODULE OF DISCIPLINES «ELECTRIC DRIVE» FOR MINING ENGINEERS

Semenov A.S. 97

RESEARCH INFLUENCE OF TEMPERATURE ON WORK OF DESTRUCTION STRONG ROCKS

Sultanalieva R.M., Konushbaeva A.T., Turdubaeva Ch.B. 101

REVIEWS

APPLICATION SMOOTH IN THE PRODUCTION OF CERAMIC MATERIALS

Shishakina O.A., Palamarchuk A.A. 105

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

ARTICLES

THE THEORY OF SLOWING THE EARTH'S ROTATION BASED ON DATA GEOLOGY,
GEOPHYSICS AND ASTRONOMY

Rybkin V.V. 110

CHEMICAL SCIENCES**REVIEWS**

STUDIES OF THE SPECTROSCOPIC PROPERTIES OF CODEINE
FOR ITS DETERMINATION IN DRUGS AND BIOLOGICAL OBJECTS
BY METHODS OF LUMINESCENCE AND DIFFUSE REFLECTION

Nemikhin V.V., Kachin S.V., Kutyakov V.A., Sagalakov S.A. 126

ECONOMICAL SCIENCES**ARTICLES**

AGRICULTURAL PRODUCTION OF THE NORTHERN REGION RURAL AREAS

Maretskaya V.N., Maretskaya A.Yu. 131

СТАТЬИ

УДК 57:911.2(571.51)

**ЧИСТАЯ ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА
ФАЦИЙ БЕРЕЗОВСКОГО УЧАСТКА НАЗАРОВСКОЙ КОТЛОВИНЫ**

Дубынина С.С.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: Dubynina@irigs.irk.ru

В статье на основе многолетних наблюдений уделено особое внимание чистой первичной продукции растительного вещества фаций Березовского участка Шарыповского района Назаровской котловины Красноярского края. Назаровская котловина расположена на стыке трех крупных регионов Сибири. Западно-Сибирской равнины, Среднесибирского плоскогорья и гор Южной Сибири. Участок исследования – Березовский обусловлен особенностями ландшафтной структуры южной части котловины. Луговые сообщества котловины представляют основное хранилище растительного покрова, так как в луговой тип входят лесные и пойменные луга. Близкие к коренному состоянию сохранились участки луговых степей. Болота на данной территории представлены травяными типами (осоковые, лабазниково-осоковые), располагающиеся в поймах рек и озер и складывающиеся за счет поверхностного стока весенне-осенне-зимних атмосферных осадков. Для достижения поставленной цели проведен сбор и анализ данных материалов о чистой первичной продукции растительного вещества. Ритм продуцирования надземной и подземной массы имеет во всех типах геосистем свои особенности. Выявлены закономерности природных режимов, характеризующих сезонную динамику продукции надземной и подземной массы, обусловленную метеорологическими показателями (тепла и влаги). Отмечено, что во всех фациях геосистем продукция растительного вещества накапливается в течение теплого периода года. Для надземной части прирост происходит в основном в первую половину лета, а в подземной наблюдается 2 пика прироста – весенний и позднелетний. В результате исследования наиболее продуктивными фациями данного региона оказались луговые степи, настоящие луга и травяные болота. Далее следуют пойменные и лесные луга и самой минимальной величиной продукции надземной массы характеризуются лесные фации под пологом леса.

Ключевые слова: Назаровская котловина, Березовский участок, геосистема, микроклимат, фации, чистая первичная продукция, растительное вещество

**NET PRIMARY PRODUCTION OF PLANT MATTER FACIES
OF THE BEREZOVSKY SECTION OF THE NAZAROVSKAYA BASIN**

Dubynina S.S.

Institute of Geography named after V.B. Sochava SB RAS, Irkutsk, e-mail: Dubynina@irigs.irk.ru

In the article on the basis of long-term observations, special attention is paid to the net primary production of plant matter facies of the Berezovsky section of the sharypovsky district of the Nazarovskaya basin of the Krasnoyarsk territory. The Nazarovskaya basin is located at the junction of three major regions of Siberia. West Siberian plain. Central Siberian plateau and mountains of southern Siberia. The site of the study-Berezovsky, due to the features of the landscape structure of the southern part of the basin. Meadow communities of the basin represent the main storage of vegetation, as the meadow type includes forest and floodplain meadows. Areas of meadow steppes on the southern slopes of the ridges remained close to the indigenous state. Marshes in this area are represented by grass types (sedge, labaznikovo-sedge), located in the floodplains of rivers and lakes and formed by surface runoff spring-autumn-winter precipitation. To achieve this goal, data collection and analysis of materials on the net primary production of plant matter was carried out. The rhythm of production of above-ground and underground mass has its own peculiarities in all types of geosystems. The regularities of natural regimes characterizing the seasonal dynamics of production of above-ground and underground mass due to meteorological indicators (heat and moisture) are revealed. It is noted that in all facies of geosystems the production of plant matter accumulates during the warm period of the year. For the aboveground part, the growth occurs mainly in the first half of summer, and in the underground there are 2 peaks of growth-spring and late summer. As a result of the study, the most productive facies of the region were meadow steppes, real meadows and grasslands. This is followed by floodplain and forest meadows and the lowest value of the above-ground mass production is characterized by forest facies under the forest canopy.

Keywords: Nazarovskaya basin, Sharypovskiy district, landscape, climate, facies, net primary production, plant nutrient

Чистая первичная продукция растительного вещества – основной показатель функционирования геосистем. Во всех фациях продукция растительного вещества накапливается в течение теплого периода года. Ежегодно растительное вещество продуцируется в геосистемах, как в надземной, так и в подземной части, причем в надземной части лишь 1/4 этой величины. В лесостепных

районах первичная продукция растительного вещества в целом меняется слабее, чем его запасы. Поэтому следует отметить, что в изучаемых фациях запасы фитомассы и ее структура в многолетнем цикле все-таки стабильнее, чем продукция вещества [1].

Цель исследования: изучение образования чистой первичной продукции растительного вещества в фациях Березовского

участка Шарыповского района. Значимость работы обусловлена влиянием климата и экологическими условиями, которые отражаются на видовом составе и продукционном процессе растительного вещества исследуемой территории. Поэтому при получении чистой первичной продукции имеет большое значение, раскрытие сущности продукционных процессов, связанных с созданием и трансформацией растительного вещества в исследуемых фациях лесостепной зоны Назаровской котловины.

Материалы и методы исследования

Стационарные наблюдения за продукционным процессом растительных сообществ осуществлялись с 1986 по 1997 г. на фациях Березовского участка Шарыповского района Назаровской котловины. Зеленые растения являются создателями органического вещества (чистой первичной продукцией), т.е. они являются первым звеном продукционного процесса, значит, они приобретают в фациях геосистем важнейшее значение. Вторым звеном продукционного процесса является отмирание растений и разложение растительных остатков, т.е. трансформация растительного органического вещества как результат этих процессов.

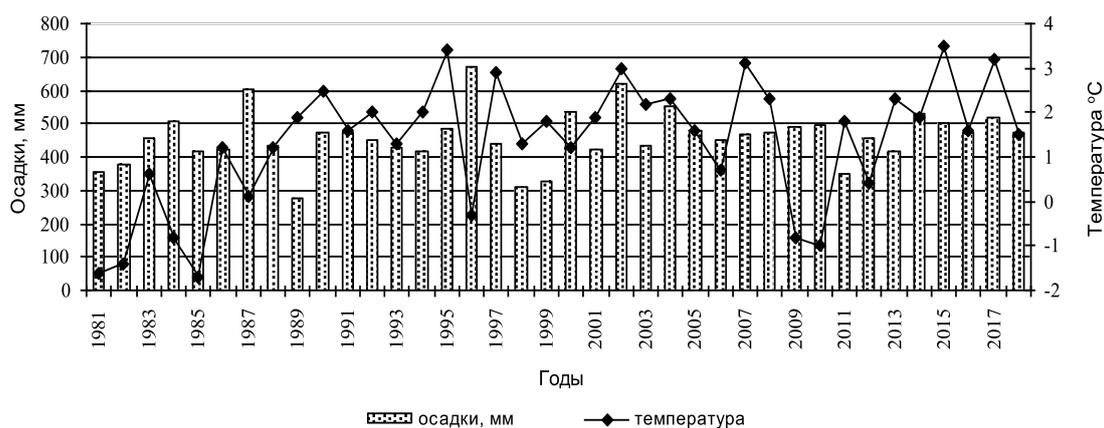
Назаровский природный округ принадлежит к лесостепному поясу со слабоувалисто-равнинной поверхностью. Значительную часть площади занимают лесные и настоящие луга, луговые степи и болотная растительность в поймах рек и озер. В травостое луговой степи большое участие принимают степные злаки: тимофеевка степная (*Phleum phleoides* L.), мятлик узколистный (*Poa angustifolia* L.), мятлик луговой (*P. pratensis* L.), мятлик обыкновенный (*P. trivialis* L.) – которые могут существовать при увлажнении почвы выпавшими осадками. В травостое большое участие принимают представители разнотравья: тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis* L.), полынь широколистная (*Artemisia latifolia* L. edeb), подмаренник настоящий (*Galium verum* L.). Основу травостоя пойменных лугов составляют злаки: овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* L., Nevski) и осоки (*Carex* L). Болота представлены видами: осок (*Carex* L), лабазника вязолистного или белоголовника (*Filipendula ulmaria* L., Maxim) и чемерицы Лобеля (*Veratrum labelianum* Bernh.) [2]. Многими авторами отмечалось, что при изучении растительного покрова лугового произрастания лесостепной зоны Южного Урала и луговой растительности

лесостепной зоны Новосибирской области, так же базируется на трех основных типах ритмики образования растительного покрова: степного, лугового и болотного. Подобное формирование видов растительного покрова характеризуется широким эколого-фитоценозным разнообразием и богатым флористическим составом, который сравним с видовой насыщенностью лесостепной зоны Назаровской котловины [3, 4]. При изучении растительного покрова осоковых болот горного Алтая, где дается подобная характеристика состава видов болотной растительности фитоценозов и количественная оценка составляющего цикла биологического круговорота, определены запасы фитомассы и чистой первичной продукции осокового болота в урочище Ештгыкель Горного Алтая. Чистая первичная продукция растительного вещества осоковых болот Горного Алтая близка по первичной продукции фитомассы Березовского болотного участка [5].

Климат Шарыповского района проявляется в резких колебаниях суточных и сезонных температур и атмосферных осадков в течение года (рисунок). Вегетационный период начинается в первой половине апреля, когда наступает устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C, а завершается во второй половине октября, когда происходит понижение температуры с обратным ее переходом через 0°C. Продолжительность безморозного периода 100–110 дней. Сумма температур воздуха выше 10°C составляет 1500–1700°C.

Для оценки биологической продуктивности используются показатели общего количества фитомассы и первичной годичной продукции растительного вещества, определяемые общепринятыми методами [6]. Надземная масса учитывалась на площадках 0,25 м² методом укосов с разбором на зеленую и отмершую (ветошь, подстилку) часть. Подземную массу отбирали путем почвенных монолитов 10×10 см по слоям 10 см до глубины 20, 30 см. Подземные органы отмывали от почвы на ситах с ячейками 0,25 мм.

В работе используется единая терминология и система обозначения «структуры растительного вещества», которая сейчас широко принята. Зеленая масса (G), ветошь (D), подстилка (L). Ветошь и подстилка образуют мертвую надземную массу (D + L), а вместе с зеленью – надземное растительное вещество (G + D + L). Подземная масса (R + V) состоит из живых (R) и отмерших корней (V). Общий запас растительного вещества – это сумма надземной и подземной массы (G + D + L + R + V).



Характеристика метеорологических условий для Шарыповского района Красноярского края (по данным метеостанции г. Шарыпово)

Показатели интенсивности продукционных процессов: надземная продукция (ANP), подземная продукция (BNP), $NPP = ANP + BNP$ – полная чистая первичная продукция – количество вещества, созданного фитоценозом за единицу времени и является важнейшей характеристикой биологического круговорота. Известно, что продукция создаваемая растениями в различные фенологические фазы развития различна. Отмирание зеленой массы (ΔD), минерализация подстилки (ΔM), отмирание подземных органов (ΔV), минерализация подземной мортмассы (ΔW), прирост зеленой фитомассы ($\Delta G = ANP$), прирост подземных органов ($\Delta B = BNP$) рассчитаны с помощью метода минимальной оценки и при этом выявлена интенсивность создания первичной продукции в наиболее типичных фациях лесостепного Березовского ключевого участка. Подобные работы по изучению биологического круговорота, т.е. получения чистой первичной продукции, ведутся на пробных площадях в Курской области, Барабинской низменности, Хакасии, Забайкалье, Туве и Дагестане. Пользуясь единой системой балансовых уравнений, можно отметить, что первичная продукция растительного вещества Барабинской низменности, Хакасии, Тувы близка и сравнима с продукцией фитомассы Березовского ключевого участка [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Устойчивость величины первичной продукции надземной массы, создаваемая растительным сообществом в каждой фа-

зии различна, так как зависит от метеорологических (тепла и влаги) каждого года. Анализ прироста зеленой массы ($\Delta G = ANP$) до середины июня в различных фациях происходит приблизительно с одинаковой интенсивностью. Период с 15 июня по 15 июля интенсивность прироста резко различается по годам, прирост может как превышать, так и быть ниже прироста предыдущего года. С 15 июля по 15 августа, т.е. с середины июля по середину августа, интенсивность продуцируемых процессов в луговых фациях снижается, а в болотных фациях становится максимальной, здесь формируется свыше 40% годичной продукции. Болотный тип ритмики, имеет два максимума значений ($\Delta G = ANP$), но первый максимум достигается в конце июля. Второй, осенний максимум наступает в августе – сентябре. Прирост в четвертом периоде с 15 августа может быть снова высоким, процент продуцирования в фациях луговой степи колеблется от 33 до 49% надземной продукции ($\Delta G = ANP$). К концу вегетации (сентябрь – октябрь) интенсивность образования продукции в луговых фациях процент продуцирования составляет 16%. В пятом периоде: начиная с 1 октября по ноябрь интенсивность прироста всегда незначительна. Такое изменение интенсивности прироста в течение всего периода вегетации связано с различным временем максимального развития определенных видов в разных фациях, а еще со способностью многих растений лесостепной зоны к образованию в середине – конце лета вторичной вегетации растений не только раннелетнего цикла развития, но и летнего и позднелетнего. Интенсивное

образование продукции вторичной вегетации растений отмечалось в два периода, которые следовали за весенним и осенним кушением трав.

Среднегодовалая продукция зеленой массы (ΔG) минимальна в лесных лугах (ф. 2), прирост зеленой массы ($\Delta G = ANP$) колеблется от 101 до 356 г/м² в год, прирост повышается до 429 г/м² в год в пойменных лугах. В настоящем лугу и луговой степи прирост зеленой массы ($\Delta G = ANP$) от 641–660 г/м² в год и достигает максимума в травяном болоте (ф. 4) – 1025 г/м² в год. Соотношение $ANP_{max} / ANP_{min} = 4,4$ в настоящем лугу, в луговой степи – 3,1, в лесных фациях и на болоте одинаково – в 2,7 раза (табл. 1).

Среднегодовалая продукция живой подземной массы (ΔR) минимальна в лесных лугах (ф. 2) и луговой степи (ф. 3) соответственно 1435–1464 г/м² в год. Прирост подземных органов ($\Delta R = BNP$) повышается до 2215 г/м² в год в травяном болоте и достигает максимума в настоящем лугу (ф. 6) – 2481 г/м² в год. По среднегоду-

ним данным полная чистая продукция (NPP) максимальна в настоящем лугу и травяном болоте (3122–3240), минимальна в лесном лугу – 1791 г/м² в год. Изменчивость средней величины по фациям $\Delta R/\Delta G$ очень велика в лесном лугу 4,0, в настоящем лугу 3,9, а в луговой степи и болоте 2,2 раза. Продукция максимальной корневой массы (BNP_{max}) выше (BNP_{min}) в 6,3 раза в настоящем лугу и (BNP_{max}) выше (BNP_{min}) в травяном болоте всего в 1,8 раза. Величина (BNP) варьирует по годам сильнее, чем ANP . В одних и тех же рассматриваемых фациях прирост корней в течение 16 лет менялся от 1,8 до 6,3 раза, тогда как ANP_{max}/ANP_{min} – от 2,7 до 4,4 раза.

Изменчивость величины чистой продукции зеленой массы относительно общей чистой продукции органического вещества (NPP) по фациям значительна. По среднегодуальным данным продукция зеленой массы (ANP) составляет на полях лесного луга – 45%, в болоте – 32, в луговой степи – 31, на настоящих (материковых) лугах – 20, под пологом леса от 6 до 10% (табл. 2).

Таблица 1

Среднегодуальная характеристика продукционного процесса живой надземной и подземной массы Березовского участка (1986–1997 г.)

Показатель	Лесной луг, ф. 2	Луговая степь, ф. 3	Настоящий луг, ф. 6	Болото, ф. 4
Образование чистой первичной продукции, г/м ² в год				
$\Delta G = ANP$	356	660	641	1025
$\Delta R = BNP$	1435	1464	2481	2215
$ANP + BNP = NPP$	1791	2124	3122	3240
Соотношения чистой первичной продукции				
$\Delta R / \Delta G$	4,0	2,2	3,9	2,2
ANP_{max} / ANP_{min}	2,7	3,1	4,4	2,7
BNP_{max} / BNP_{min}	2,3	4,2	6,3	1,8

Примечание. ΔG – продукция живой зеленой массы; ΔR – продукция живой подземной массы; ANP – чистая продукция зеленой массы; BNP – чистая продукция корневой массы; в слое почвы 0–20 см; $ANP + BNP = NPP$ – полная чистая первичная продукция.

Таблица 2

Среднегодуальная характеристика продукционного процесса живой надземной и подземной массы от общей чистой продукции Березовского участка (1981–1997 г.)

Показатель	Лесной луг, ф. 2		Луговая степь, ф. 3		Настоящий луг, ф. 6		Болото, ф. 4	
	г/м ² год	%						
$ANP + BNP = NPP$	1791	100	2124	100	3122	100	3240	100
$\Delta G = ANP$	356	45	660	31	641	21	1025	32
$\Delta R = BNP$	1435	80	1464	68	2481	79	2215	68

Примечание. ANP – чистая продукция зеленой массы; BNP – чистая продукция корневой массы; в слое почвы 0–20 см; $ANP + BNP = NPP$ – полная чистая первичная продукция.

Таблица 3

Интенсивность деструкционных процессов в фациях Березовского участка за вегетационный период с 01.09.1986 по 01.09.1987 г., г/м² в год

Интервал времени	Лесной луг, ф. 2						Луговая степь, ф.3					
	ΔG	$\Delta D + L$	ΔM	ΔR	ΔV	ΔW	ΔG	$\Delta D + L$	ΔM	ΔR	ΔV	ΔW
01.09.1986 – 15.06.1987	225	0	0	1461	0	0	280	0	0	1018	0	0
15.06.1987 – 15.07.1987	0	95	0	0	420	29	0	61	122	0	48	660
15.07.1987 – 15.08.1987	76	104	0	0	189	191	77	170	0	0	1120	0
15.08.1987 – 01.09.1987	22	10	0	738	648	648	0	57	0	324	0	14
Интервал времени	Настоящий луг, ф. 6						Болото, ф. 4					
	ΔG	$\Delta D + L$	ΔM	ΔR	ΔV	ΔW	ΔG	$\Delta D + L$	ΔM	ΔR	ΔV	ΔW
01.09.1986 – 15.06.1987	360	0	0	1743	0	0	451	0	0	892	0	0
15.06.1987 – 15.07.1987	9	0	147	1252	0	722	13	60	0	448	1187	0
15.07.1987 – 15.08.1987	53	0	119	0	1832	78	58	60	0	0	470	1230
15.08.1987 – 01.09.1987	0	12	0	1135	0	315	55	173	0	120	0	170

Примечание. $\Delta D + L$ – продукция надземной мортмассы; ΔM – разложение надземной мортмассы; ΔV – продукция подземной мортмассы; ΔW – разложение подземной мортмассы.

Величина чистой продукции корневой массы (BNP) варьирует по годам сильнее. В целом за сезон может продуцироваться чистой первичной продукцией подземной массы относительно общей продукции органического вещества (NPP), по среднемулетним данным составляет 80% в лесном лугу и настоящем лугу. В луговой степи и травяном болоте процент (BNP) от общей чистой продукции (NPP) значительно меньше, т.е. составляет 68%. Из многолетних исследований в целом за сезон от продукции общего органического вещества (NPP) может продуцироваться подземной массы (BNP) в фациях под пологом леса от 90 до 94%.

Ниже речь пойдет об интенсивности процессов трансформации растительного вещества, где деструкционные процессы зависят от ритмов развития слагающих фации видов, а также погодных условий года (рисунок). На примере влажного 1987 г. рассматривались процессы отмирания растений и разложение растительных остатков. Позднеосенние перезимовавшие зеленые побеги (ΔG), отмирают от 01.09.1986 – 15.06.1987 г. В луговой степи (ф. 3), масса зеленых побегов составляет 280 г/м². В конце июня до середины июля влажного 1987 г. величина ($\Delta D + L$) невелика – 61 г/м² и весовое участие в образовании продукции незначительно, за счет минерализации мортмассы ($\Delta D + L$), так как минерализовалось надземной массы (ΔM) в этот период – 122 г/м² (табл. 3).

Периоды поступления свежего опада обычно делятся в фациях луговой степи и лесного луга с середины июля до середи-

ны августа. В августе интенсивность отмирания раннелетних видов зеленых побегов увеличивается в связи с тем, что они заканчивают свой жизненный цикл. Этот максимум еще связан с завершением отмирания побегов при наступлении заморозков. Поэтому отмирание надземных побегов и образование ($\Delta D + L$) в луговых и болотных фациях отмечалось в конце вегетационного периода в августе – сентябре. В травяном болоте запасы мортмассы значительны, а минерализация не отмечалась в летний период и только после выпадения осадков в осенний период (август – сентябрь) началась максимальная минерализация мертвых видов раннелетнего цикла развития. Максимальное значение (ΔV) в луговой степи за весь период вегетации отмечалось в июле – августе 1120 г/м². Сразу за нарастанием живых корней (ΔR) в травяном болоте и настоящем лугу происходит отмирание подземных органов. Одновременно в июле – августе происходит разложение подземной мортмассы (ΔW), и в этот период подземная мортмасса достигает наибольших значений в болоте – 1230 г/м². Следовательно, максимальная величина (ΔV) корней на болоте и интенсивное их отмирание протекают в очень сжатые сроки. Минерализация корней продолжается в более поздний срок (август – сентябрь), но уже в меньшем количестве – 170 г/м².

Заключение

Полученные результаты показали, что зеленые растения являются создателями органического вещества (чистой первичной продукцией), т.е. они являются первым

звеном продукционного процесса. Величина вторичной продукции, интенсивность образования и минерализация мертвых растительных остатков. Изменение величины годичной продукции зеленой массы относительно общей чистой продукции органического вещества (NPP) возрастает от лесных фаций под пологом леса – 10%, до настоящих (материковых) лугов – 20, к болотным фациям – 32 и к луговой степи – 45%. Продукция корневой массы превышает надземную продукцию в луговых фациях в 4 раза. Образование продукции в травяном болоте характеризуется двумя максимумами – летом, за счет раннелетних видов и поступления в пониженных формах рельефа больших объемов весенних вод, после снеготаяния. Второй, осенний (август – сентябрь) максимум обусловлен вторичной вегетацией раннелетних видов.

Список литературы

1. Снытко В.А., Нефедьева Л.Г., Дубынина С.С. Травяные экосистемы Назаровской впадины, Красноярский край // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особен-

сти. Изд. 2-е, испр. и доп. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. С. 38–46. DOI: 10.31251/978-5-600-02350-5.

2. Дубынина С.С. Продуктивность фитомассы луговых растительных сообществ Назаровской котловины при разных режимах использования // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 102–107.

3. Миронычева-Токарева Н.П. Эволюция растительного покрова лугов Южного Урала. СГГА, Новосибирск: Интерэкспо Гео-Сибирь. 2009. Т. 4. № 2. С. 78–83.

4. Миронычева-Токарева Н.П., Шибарева С.В. Эволюция растительного покрова лугов лесостепной зоны // Почвы в биосфере: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН / Отв. ред. А.И. Сысо. 2018. С. 329–332.

5. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Кирпотина Л.В. Продуктивность осоковых болот горного Алтая // Вестник Томского государственного университета. 2010. № 3. (93). С. 87–91.

6. Титлянова А.А. Методология и методы изучения продукционно-деструкционных процессов в травяных экосистемах // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. Изд. 2-е, исп. и доп. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. С. 6–14. DOI: 10.31251/978-5-600-02350-5.

7. Титлянова А.А., Шибарева С.В. Время оборота фитомассы в травяных экосистемах // Математическое моделирование в экологии: материалы V Национальной конференции с международным участием. 2017. С. 219–222.

УДК 574.522:574.632

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КРУПНЫХ ВОДОЕМОВ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

Козлов А.В., Вершинина И.В.

*ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет
имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru*

Известно, что искусственно создаваемые водохранилища и каналы выполняют множество функций в народном хозяйстве и вместе с тем постоянно испытывают антропогенный пресс в виде присутствия извне хронического загрязнения экотоксикантами органической и неорганической природы различной степени токсичности. В связи с такими обстоятельствами применение гидробиологических показателей для оценки экологического состояния крупных водоемов является одним из главных приоритетных критериев-индикаторов, поскольку любые гидробиологические исследования имеют целью понимание разнообразных экологических процессов водной среды, сопряженных с жизнедеятельностью микроскопических организмов. В рамках данной тематики оценивалось экологическое состояние Чебоксарского водохранилища на основе критериев общей численности, биомассы и видового разнообразия фитопланктона, зоопланктона и бентоса. За исследуемый период существенных изменений в показателях развития альгоценозов, распределения их по акватории водохранилища отмечено не было. Средняя биомасса фитопланктона для водохранилища оказалась в динамической норме, трофический статус оценивается как эвтрофный; выявленные соотношения ведущих систематических групп планктонных водорослей и состав ценозообразующих видов отмечались и в предыдущие годы исследования. По уровню индекса сапробности все станции отбора проб относятся к III классу (умеренно загрязненные воды). Бентос водохранилища также характеризовался достаточным многообразием с доминированием в таксономическом составе моллюсков и личинок хирономид. Таким образом, несмотря на наличие определенного антропогенного воздействия на акваторию Чебоксарского водохранилища, его гидробиологическое состояние остается удовлетворительным, что, по-видимому, определяется широким буферным пределом к уровню загрязнения водного объекта.

Ключевые слова: искусственное водохранилище, гидробиологические свойства, экологическое состояние водного объекта

APPLICATION OF HYDROBIOLOGICAL INDICATORS FOR ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL CONDITION OF LARGE WATER OBJECTS (CHEBOXARY RESERVOIR EXAMPLE)

Kozlov A.V., Vershinina I.V.

*Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod,
e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru*

It is known that artificially created reservoirs and canals serve many functions in the national economy and, at the same time, constantly experience anthropogenic press in the form of presence of external chronic contamination of organic and inorganic ecotoxicants of different degree of toxicity. In such circumstances, the use of hydrobiological indicators to assess the environmental status of large water bodies is one of the main priority indicator criteria, as any hydrobiological research aims to understand the diverse environmental processes of the aquatic environment associated with microscopic organisms. Within the framework of this topic, the ecological condition of the Cheboxar reservoir was assessed on the basis of the criteria of total number, biomass and species diversity of phytoplankton, zooplankton and benthos. During the period under study there were no significant changes in the indicators of algal development, their distribution in the water area of the reservoir. The average biomass of phytoplankton for the reservoir was in a dynamic norm, the trophic status is estimated as eutrophic; The identified ratios of leading systematic groups of plankton algae and the composition of price-forming species were observed in previous years of research. According to the level of the sampling index, all sampling stations belong to class III (moderately contaminated waters). The Benthos reservoir was also characterized by sufficient diversity with dominance in the taxonomic composition of shellfish and hironomid larvae. Thus, although there is some anthropogenic impact on the Cheboxary reservoir, its hydrobiological state remains satisfactory, which seems to be determined by a wide buffer limit to the level of pollution of the water object.

Keywords: artificial reservoir, hydrobiological properties, ecological state of water object

Вследствие неравномерного расположения на поверхности Земли рек, озер и других гидрологических объектов, искусственные водоемы стали общепланетарным явлением. К их числу относятся различные пруды, каналы, водохранилища, фильтрационные водоемы и другие объекты, которые

имеют какое-либо уникальное хозяйственное и/или биосферное значение. Основная цель создания водохранилищ заключается в накоплении воды с последующим ее использованием. Кроме того, водохранилище, как искусственно созданный водоем, выполняет стратегически значимую функцию

в народнохозяйственных отраслях и в экологическом биосферном плане [1].

Возведение регулирующих водохранилищ предоставляет возможность частично или полностью ликвидировать условия возникновения таких неблагоприятных явлений, как наводнения и паводки. При этом, помимо снижения прямого от них ущерба, также уменьшаются затраты на строительство и реконструкцию капитальных объектов в различных отраслях хозяйства из-за сокращения противопаводковых расходов. Создание водохранилищ решает проблему дефицита воды в тех или иных регионах, а также решается мелиоративная задача подачи воды в соответствии с наиболее оптимальными сроками полива сельскохозяйственных культур. Водоохранилища повсеместно являются площадками для организации рыбного хозяйства. Нередко в искусственных резервуарах выращиваются промысловые виды рыб (лещ, судак и др.). Кроме того, здесь проводятся мероприятия по акклиматизации таких ценных видов рыб, как толстолобик, белый амур, радужная форель и других.

Помимо хозяйственного значения водохранилища имеют значение и для биосферы. Например, на их акватории создаются благоприятные условия для гнездования, размножения и зимовки водоплавающих птиц. То же касается и млекопитающих, жизнь которых непосредственно связана с водой. Водоохранилища влияют на уровень и баланс внутригрунтовых вод территории. Кроме животного мира, как само водохранилище, так и непосредственно прилегающие к нему территории способствуют развитию водной растительности, а также различных моллюсков и насекомых [2, 3].

Поскольку питание водохранилищ в основном происходит за счет речных сетей, которые, в свою очередь, проходя через крупные промышленные и урбанизированные центры, несут значительное количество загрязнителей [4–6], оценка экологического состояния искусственных резервуаров является актуальным вопросом современной гидроэкологии. При этом более информативными критериями таковой оценки зачастую являются не свойства гидрохимического режима [7], а гидробиологические показатели [8, 9]. В частности, динамика фитопланктона, зоопланктона и бентоса традиционно, считается критерием-индикатором экологического состояния водоема [10, 11].

Цель исследования: изучение гидробиологической характеристики акватории Чебоксарского водохранилища в качестве критериев оценки его экологического состояния.

Материалы и методы исследования

В проекте «Большая Волга» (1931 г.) под руководством профессора А.В. Чаплыгина была выдвинута идея возведения каскада ГЭС и водохранилищ на р. Кама и Волга. Согласно данным проекта была запланирована прокладка пригодного для движения крупногабаритных судов водоходного пути, который должен был соединять Каспийское, Черное, Балтийское и Белое моря, а также возведение на всем его протяжении гидроузлов [3].

Чебоксарское водохранилище является одним из звеньев Волго-Камского каскада искусственных резервуаров и располагается на территории трех субъектов РФ: Нижегородская область, Чувашская Республика и Республика Марий Эл (рисунки). В зону его влияния попадают территории 14 административных районов, среди которых 6 городов и 119 прочих населенных пунктов (в их числе в Нижегородской области – 3 города, 14 сельских населенных пунктов и 7 низин сельскохозяйственного назначения).

Чебоксарский резервуар представляет собой водоем комплексного значения, весьма продолжительное время используемого во многих отраслях народного хозяйства. Вследствие данных обстоятельств в той или иной мере вся территория водохранилища испытывает различную интенсивности и частоты антропогенную нагрузку. В особенности данные явления сосредоточены на правобережном участке, расположенном ниже впадения реки Оки, которая, в свою очередь, несет существенное количество экотоксикантов в бассейн водохранилища [12, 13]. В частности, основными загрязняющими веществами здесь признаны нефтепродукты, органические соединения ароматического ряда, тяжелые металлы, мышьяк, марганец, алюминий, железо и многие другие [3, 14].

Гидробиологические изыскания имеют целью понимание разнообразных экологических процессов водной среды, сопряженных с жизнедеятельностью микроскопических организмов. Экологическая оценка вод Чебоксарского водохранилища проводилась в 2015–2016 гг. на основе общепринятых гидробиологических показателей, проанализированных студентами НГПУ им. К. Минина за периоды прохождения ими производственных практик в Нижегородском отделении ГосНИОРХ – критерии общей численности, биомассы и видового разнообразия фитопланктона, зоопланктона и бентоса.



Ситуационный план русла реки Волга, входящего в Чебоксарское водохранилище с обозначением постоянных точек отбора проб воды

Результаты исследования и их обсуждение

Численность, биомасса и доля водорослей различных отделов в общей численности и биомассе фитопланктона различных участков Чебоксарского водохранилища в 2015–2016 гг. представлены в табл. 1. Фитопланктон в 2015 г. наиболее высокими величинами количественного развития (свойственными для водоемов эвтрофного типа) характеризовался в среднем речном отделе. На остальных участках водохранилища степень трофии соответствовала среднепродуктивному статусу. В речных участках водоема комплекс преобладающих по биомассе видов, как и в прошлые годы исследования, определяли центрические диатомовые водоросли – показатели повышенного органического и биогенного загрязнения: виды родов *Stephanodiscus*, *Cyclotella*, *Aulacoseira*, *Melosira* с присутствием компонентов каспийского планктонного комплекса (*Actynocyclus normanii*), активно распространяющихся во всей Волге в последнее время.

В озерном и приплотинном участках возрастала роль цианобактерий и различных групп фитофлагеллят. В целом существенных изменений в показателях развития альгоценозов, распределения их по акватории водохранилища отмечено не было. Средняя биомасса фитопланктона для водохранилища в 2015 г. составила $5,61 \pm 0,35$ г/м³, трофический статус оценивался как эвтрофный; соотношение ведущих систематических групп планктонных водорослей и состав ценозообразующих видов отмечались и в предыдущие годы исследования.

Фитопланктон водохранилища в 2016 г. наиболее высокими величинами количественного развития (свойственными для водоемов эвтрофного типа) характеризовался в среднем речном отделе. На остальных участках водохранилища степень трофии соответствовала мезотрофии. Комплекс пре-

валирующих по биомассе видов, как и в прошлые годы исследования, определяли центрические диатомовые водоросли – показатели повышенного органического и биогенного загрязнения: виды родов *Stephanodiscus*, *Cyclotella*, *Aulacoseira*, *Melosira* с присутствием компонентов каспийского планктонного комплекса (*Actynocyclus normanii*). В озерном отделе возрастала роль фитофлагеллят, в приплотинном – цианобактерий (*Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*).

В целом существенных изменений в показателях развития альгоценозов, распределения их по акватории водохранилища отмечено не было. Средняя биомасса фитопланктона для водохранилища в 2016 г. составила $5,71 \pm 1,3$ г/м³, трофический статус оценивался как эвтрофный; выявленные соотношения ведущих систематических групп планктонных водорослей и состав ценозообразующих видов отмечались и в предыдущие годы исследования.

Зоопланктон Чебоксарского водохранилища в 2015 г. включал в себя 51 вид, из них 17 видов коловраток, 24 вида ветвистых и 10 видов веслоногих ракообразных. Численность, биомасса и доля трех групп в общей численности и биомассе зоопланктона различных участков Чебоксарского водохранилища в 2015 г. представлены в табл. 2.

Зоопланктон водохранилища в летнем сезоне 2015 г. в среднем характеризовался величинами количественного развития, свойственными для водоемов мезотрофного типа. Средняя биомасса зоопланктона для водохранилища в 2015 г. составляла $0,87 \pm 0,59$ г/м³, что незначительно выше среднемноголетних показателей ($0,75$ г/м³). Трофический статус оценивался как мезотрофный (среднекормный); выявленные соотношения ведущих систематических групп зоопланктона и состав ценозообразующих видов отмечались и в предыдущие годы исследования.

Таблица 1

Средняя численность (млн кл/л, числитель), биомасса (г/м³, знаменатель) и доля водорослей различных отделов в общей численности (числитель) и биомассе (знаменатель) фитопланктона различных участков Чебоксарского водохранилища в 2015–2016 г.

Участки водохранилища	Доля встречаемости					Численность Биомасса
	Диатомовые	Зеленые	Сине-зеленые	Криптофитовые	Динофитовые	
2015 г.						
Верхний речной	$\frac{5,00}{32,10}$	$\frac{0,34}{2,12}$	$\frac{94,50}{64,89}$	$\frac{0,11}{0,19}$	$\frac{0,01}{0,45}$	$\frac{49,5 \pm 8,01}{4,27 \pm 0,47}$
Окский отрог	$\frac{48,46}{85,72}$	$\frac{36,77}{11,43}$	$\frac{14,50}{2,75}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{11,13 \pm 1,07}{6,02 \pm 0,80}$
Средний речной	$\frac{29,09}{78,59}$	$\frac{17,78}{6,87}$	$\frac{51,09}{10,79}$	$\frac{1,08}{1,35}$	$\frac{0,08}{0,99}$	$\frac{22,91 \pm 3,9}{7,13 \pm 1,15}$
Озерный	$\frac{26,91}{62,17}$	$\frac{13,07}{7,29}$	$\frac{56,69}{19,12}$	$\frac{2,03}{6,66}$	$\frac{0,13}{2,67}$	$\frac{15,36 \pm 5,15}{4,79 \pm 1,69}$
Приплотинный	$\frac{17,59}{61,82}$	$\frac{2,34}{1,72}$	$\frac{75,63}{22,89}$	$\frac{3,06}{6,83}$	$\frac{0,08}{1,89}$	$\frac{33,97 \pm 14,9}{4,13 \pm 1,75}$
2016 г.						
Верхний речной	$\frac{46,21}{79,13}$	$\frac{12,52}{8,81}$	$\frac{35,91}{8,64}$	$\frac{0,12}{0,42}$	$\frac{0,10}{0,60}$	$\frac{9,53 \pm 2,30}{3,44 \pm 0,72}$
Окский отрог	$\frac{36,60}{82,80}$	$\frac{52,50}{12,16}$	$\frac{7,01}{0,24}$	$\frac{0,74}{0,24}$	$\frac{0,37}{2,78}$	$\frac{5,41}{3,31}$
Средний речной	$\frac{29,33}{82,15}$	$\frac{29,31}{7,75}$	$\frac{38,55}{3,53}$	$\frac{1,66}{1,65}$	$\frac{0,43}{4,13}$	$\frac{18,84 \pm 4,70}{8,54 \pm 2,9}$
Озерный	$\frac{20,99}{64,16}$	$\frac{25,34}{7,49}$	$\frac{47,73}{5,19}$	$\frac{2,43}{3,30}$	$\frac{2,15}{17,33}$	$\frac{13,19 \pm 4,20}{5,19 \pm 2,70}$
Приплотинный	$\frac{11,36}{41,59}$	$\frac{9,90}{4,68}$	$\frac{75,99}{48,50}$	$\frac{1,16}{0,32}$	$\frac{0,54}{4,47}$	$\frac{75,39 \pm 47,8}{4,49 \pm 2,10}$

Таблица 2

Средняя численность (тыс. экз/м³, числитель), биомасса (г/м³, знаменатель) и доля трех групп в общей численности (числитель) и биомассе (знаменатель) зоопланктона различных участков Чебоксарского водохранилища в летний сезон 2015–2016 г.

Участки водохранилища	Доля встречаемости			Численность Биомасса
	<i>Rotatoria</i>	<i>Cladocera</i>	<i>Copepoda</i>	
2015 г.				
Верхний речной	$\frac{0,4}{0,01}$	$\frac{69,6}{82,1}$	$\frac{30,0}{17,9}$	$\frac{51,8 \pm 22,01}{0,46 \pm 0,23}$
Окский отрог	$\frac{35,5}{3,4}$	$\frac{52,0}{60,6}$	$\frac{12,5}{26,0}$	$\frac{30,0 \pm 11,2}{0,5 \pm 0,26}$
Средний речной	$\frac{6,7}{1,0}$	$\frac{49,9}{54,5}$	$\frac{44,4}{44,5}$	$\frac{40,0 \pm 34,1}{0,8 \pm 0,6}$
Озерный	$\frac{3,1}{0,8}$	$\frac{68,9}{85,3}$	$\frac{22,0}{14,9}$	$\frac{46,6 \pm 34,4}{0,7 \pm 0,6}$
Приплотинный	$\frac{1,4}{0,1}$	$\frac{70,6}{87,9}$	$\frac{22,0}{12,0}$	$\frac{69,5 \pm 47,2}{1,9 \pm 1,4}$
2016 г.				
Верхний речной	$\frac{33}{1}$	$\frac{30}{95}$	$\frac{37}{4}$	$\frac{52,4 \pm 39,2}{2,4 \pm 0,6}$
Окский отрог	$\frac{62}{55}$	$\frac{5}{38}$	$\frac{33}{57}$	$\frac{16,2 \pm 14,8}{0,7 \pm 0,1}$
Средний речной	$\frac{23}{2}$	$\frac{18}{59}$	$\frac{59}{39}$	$\frac{33,4 \pm 34,4}{1,1 \pm 1,4}$
Озерный	$\frac{15}{0}$	$\frac{40}{83}$	$\frac{45}{17}$	$\frac{18,9 \pm 18,1}{0,7 \pm 0,6}$
Приплотинный	$\frac{14}{0,4}$	$\frac{20}{73,3}$	$\frac{66}{26,3}$	$\frac{116,1 \pm 79,7}{1,7 \pm 0,6}$

По уровню индекса сапробности все станции отбора проб относятся к III классу (умеренно загрязненные воды). Практически на всем протяжении преобладали виды родов *Bosmina* и *Daphnia*, лишь на отдельных участках доминировали *Cyclopoida*. По структурным показателям зоопланктона водохранилища в 2015 г. имеет статус мезотрофного водоема, со средней кормовой базой для рыб.

Видовой состав зоопланктона водохранилища в 2016 г. составил 49 видов. В составе зоопланктона преобладали эупланктонные формы. В целом по всему водохранилищу средняя численность составила 50500 экз/м³, средняя биомасса – 1,3 г/м³, что незначительно больше среднегодовалых показателей (0,75). Это характеризует Чебоксарское водохранилище как α-мезотрофный водоем с умеренной кормностью для зоопланктоядных форм рыб и их личинок. В целом, существенных изменений в показателях развития ценозов, распределения их по акватории водохранилища отмечено не было.

По уровню индекса сапробности все станции отбора проб относятся к III классу (умеренно загрязненные воды, только у н.п. Бармино лежит на границе III–IV классов сапробности за счет *Moina brachiata*). Практически на всем протяжении преобладали виды родов *Daphnia*, и разновозрастные стадии *Cyclopoida*. По структурным показателям зоопланктона Чебоксарское водохранилище в 2016 г. имеет статус мезотрофного водоема, со средней кормовой базой для рыб.

Бентос Чебоксарского водохранилища в 2015 г. характеризовался высоким уровнем развития. В его составе насчитывается 108 видов и форм: личинки хирономид – 35 видов и форм, моллюски – 31, олигохеты – 16, ракообразные – 9, пиявки – 7, прочие группы (личинки поленок, жуков, ручейников, бабочек, мокрецов, полихеты) представлены одним-тремя видами. Численность зообентонтов в среднем составляла 1702 экз/м², биомасса – 43,88 экз/м². Численность организмов в разных точках колеблется от 40 до 9500 экз/м², биомасса – от 0,04 до 550,6 г/м². Доминирующее положение в кормовой биомассе занимают моллюски – 91%, основная часть которой приходится на *Lithoglyphus naticoides* и молодые экземпляры р. *Dreissena*. По уровню биомассы бентоса только верхний речной участок характеризуется как α-мезотрофный (умереннокормный), в этом районе водохранилища мягкий бентос имеет небольшое преимущество в общей биомассе донных сообществ (57%) по от-

ношению к моллюскам (47%) Уровень биомассы донных сообществ на участках, расположенные ниже, свойственен для β-эвтрофных и α-политрофных водоемов (высококормных и очень высококормных), основу биомассы в них создают моллюски (88–97%).

Как и ранее, бентос водохранилища в 2016 г. был разнообразен (65 видов и форм), с доминированием в таксономическом составе моллюсков (22 вида) и личинок хирономид (16 форм); олигохеты и ракообразные имеют по 7 видов, пиявки – 6 видов, полихеты, клопы, личинки ручейников и некоторых двукрылых включают один-два вида. Средняя численность бентосных организмов в водохранилище составляет 2361 экз/м², биомасса – 52,36 г/м², что характеризует водоем как политрофный для бентосоядных рыб. Численность в водоеме в основном слагают ракообразные (58%) (преимущественно в среднем речном районе) и моллюски (19%), биомасса на 85% создается моллюсками.

Выводы

За исследуемый период существенных изменений в показателях развития альгоценозов, распределения их по акватории водохранилища отмечено не было. Средняя биомасса фитопланктона для водохранилища оказалась в динамической норме, трофический статус оценивается как эвтрофный; выявленные соотношения ведущих систематических групп планктонных водорослей и состав ценозообразующих видов отмечались и в предыдущие годы исследования. Бентос водохранилища также характеризовался достаточным многообразием с доминированием в таксономическом составе моллюсков и личинок хирономид.

Таким образом, несмотря на наличие определенного антропогенного воздействия на акваторию Чебоксарского водохранилища, его гидробиологическое состояние остается удовлетворительным, что, по видимому, определяется широким буферным пределом к уровню загрязнения водного объекта.

Список литературы

1. Розенберг Г.С. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. Тольятти: Кассандра, 2009. 478 с.
2. Гелашвили Д.Б., Копосов Е.В., Лаптев Л.А. Экология Нижнего Новгорода: монография. Н. Новгород: ННГАСУ, 2008. 530 с.
3. Розенберг Г.С. Волжский бассейн. Устойчивое развитие: опыт, проблемы, перспективы. М.: Институт устойчивого развития Общественной палаты РФ. 2011. 104 с.
4. Гарашук Д.Ю., Димиденко Ж.А. Мониторинг экологического состояния воды реки Ивановка Амурской области // Проблемы региональной экологии. 2017. № 5. С. 1.

5. Мажайский Ю.А., Гусева Т.М. Мониторинг тяжелых металлов в экосистеме малой реки Окского бассейна // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 2. С. 54–59.
6. Жукова Н.В., Берест Е.В., Начаркина О.В. Оценка экологического состояния поверхностных вод городского округа Саранск // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 7–11.
7. Козлов А.В., Маркова Д.С., Соколюк С.А., Тогузов В.И. Экспертиза эколого-гидрохимического состояния памятника природы – озера «Светлояр» Нижегородской области // Успехи современного естествознания. 2019. № 6. С. 74–81.
8. Батурина М.А., Макаревич О.А., Кайгородова И.А., Жукова Т.В., Адамович Б.В. Роль аннелид (*Annelida*) в озерах Нарочанской системы (Беларусь) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 12–1. С. 56–59.
9. Имант Е.Н., Новоселов А.П. Качественные и количественные показатели зоопланктона озер Лача (Архангельская область) и Голодная Губа (Ненецкий автономный округ) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 12–2. С. 266–271.
10. Габышев В.А., Габышева О.И. К изучению влияния концентрации органических и биогенных веществ на ценоотическую и флористическую структуру сообществ миксотрофных фитофлагеллят крупных субарктических рек Восточной Сибири // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 6. С. 93–97.
11. Матафонов П.В. Пространственное распределение литорального зообентоса в озере Арахлей в маловодный период // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 5–1. С. 180–184.
12. Бикбулатов Э.С. Гидролого-гидрохимические условия в Горьковском и Чебоксарском водохранилищах в летнюю межень 2001 г. // Экологическая химия. 2006. № 15 (2). С. 82–94.
13. Шурганова Г.В. Гидрохимический режим и современное состояние сообществ зоопланктона Горьковского и Чебоксарского водохранилищ // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2006. Вып. 1 (11). С. 63–68.
14. Левин Ю.Ю. Динамика современного состояния воды Чебоксарского водохранилища на территории Нижегородской области // Успехи современного естествознания. 2014. № 2. С. 94–100.

УДК 58:632.5:550.47

**БИОКОМПЛЕКС *VISCUM COLORATUM* (КОМ.) NAKAI
И *BETULA PLATYPHYLLA* SUK.:
ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО ОБМЕНА**

Леусова Н.Ю.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, e-mail: leusova@ascnet.ru

Viscum coloratum (Ком.) Nakai – многолетнее вечнозеленое, полупаразитное растение. Оно обычно используется в медицине и фармакологии, например для лечения рака. В этом исследовании были использованы методы качественного и количественного анализа минеральных компонентов *Viscum coloratum* (Ком.) Nakai и соответствующего хозяина – *Betula platyphylla* Suk. В отношении минерального обмена паразитических и полупаразитических растений, в частности омеловых, – соответствующие данные в литературе чрезвычайно скудны. Паразитические растения получают минеральные вещества, избирательно поглощая их из растений-хозяев посредством специальных органов прикрепления – гаусторий. Транспирация, осмос, активный транспорт могут играть важную роль в растворении веществ и поглощении воды. Скорость поступления катионов и анионов определяется многими факторами, включая внешние (свет, влажность, температура и т.д.) и внутренние – такие как транспирация, корневое давление, фотосинтетические особенности, дыхательный обмен и др. Между тем для нормального роста необходимы не только различные минеральные вещества и их антагонистические соотношения, но и каждому виду растения требуется свой собственный набор элементов. Сделан вывод, что растение омела окрашенная, являясь ксилемным паразитом, избирательно поглощает отдельные элементы из растения хозяина – березы плосколистной, что отражает как генетическую специфику растений и геохимические особенности среды, так и приспособленность к паразитическому образу жизни. В процессе развития система: омела – береза неотделима от среды обитания, а взаимодействуя, вносит взаимный вклад в минеральный обмен друг друга.

Ключевые слова: омела, растения-паразиты, растение-хозяин, минеральный обмен, биоконплекс

**BIOCOMPLEX *VISCUM COLORATUM* (KOM.) NAKAI
AND *BETULA PLATYPHYLLA* SUK.: FEATURES OF MINERAL EXCHANGE**

Leusova N.Yu.

*Institute of Geology and Nature Management Far Eastern Branch Russian Academy of Science,
Blagoveshchensk, e-mail: leusova@ascnet.ru*

Viscum coloratum (Kom.) Nakai is a perennial evergreen, semi-parasitic plant. It is generally used in medicine and pharmacology for treating cancer, for example. In this study, methods were used for the qualitative and quantitative analysis of the mineral components of *Viscum coloratum* (Kom.) Nakai and the corresponding host – *Betula platyphylla* Suk. Regarding the mineral metabolism of parasitic and semi-parasitic plants, in particular, mistletoe, the corresponding data in the literature are extremely scarce. Parasitic plants receive mineral substances by selectively absorbing them from host plants through special attachment organs – the haustorium. Transpiration, osmosis, active transport can play an important role in the dissolution of substances and the absorption of water. The rate of arrival of cations and anions is determined by many factors, including external (light, humidity, temperature, etc.) and internal – such as transpiration, root pressure, photosynthetic characteristics, respiratory metabolism, etc. Meanwhile, not only are necessary for normal growth various mineral substances and their antagonistic relationships, but each type of plant requires its own set of elements. It is concluded that the *Viscum coloratum* (Kom.) Nakai, being a xylem parasite, selectively absorbs individual elements from the host plant – *Betula platyphylla* Suk., which reflects both the genetic specificity of plants and the geochemical characteristics of the environment, as well as fitness for a parasitic lifestyle. In the process of development, the system: mistletoe – birch is inseparable from the environment, and interacting, makes a mutual contribution to each other's mineral metabolism.

Keywords: mistletoe, parasite plants, host plant, mineral metabolism, biocomplex

Растения являются важнейшим звеном миграционной цепи химических элементов. Каждый из элементов минерального питания подвергается круговороту, но биохимические циклы отдельных элементов включают разные компартменты биосферы, разные пулы соединений и характеризуются разными циклами превращений. Данный факт особенно интересен в системе взаимодействия растение-паразит и растение-хозяин, которая организована в уникальный биоконплекс, существование

которого взаимообусловлено и подчинено пространственной организации.

Растения паразиты и полупаразиты могут представлять достаточно большую опасность и приносить огромный вред ряду сельскохозяйственных, лесных, декоративных растений, однако их биология все еще исследована недостаточно. Полупаразитное семейство омеловые состоит из 8 родов и насчитывает около 500 видов. Для Дальневосточного региона характерен один вид *Viscum coloratum* (Ком.) Nakai –

омела окрашенная [1], сведения о котором зачастую определяются по омеле белой [2]. Омела паразитирует на листовых деревьях – осине, тополе, иве, чозении, березе, липе, клене, яблоне, груше и др., она может также поселяться и на голосеменных растениях. Пораженные деревья ослабевают и отстают в росте. Однако с точки зрения медицины и фармакологии паразит представляет значительный интерес, что обусловлено содержанием целого ряда химически сложных веществ, разнообразных по химическому действию, так, например, в литературе для *V. coloratum* приводится 41 компонент [3]. Особенно широко за рубежом используются экстракты омелы в терапии злокачественных новообразований. В качестве лекарственного сырья в основном используются листья данного растения.

В отношении минерального обмена паразитических и полупаразитических растений, в частности омеловых, – соответствующие данные в литературе чрезвычайно скудны. Паразитические растения получают минеральные вещества, избирательно поглощая их из растений-хозяев посредством специальных органов прикрепления – гаусторий. Транспирация, осмос, активный транспорт могут играть важную роль в растворении веществ и поглощении воды. Скорость поступления катионов и анионов определяется многими факторами, включая внешние (свет, влажность, температура и т.д.) и внутренние – такие как транспирация, корневое давление, фотосинтетические особенности, дыхательный обмен и др. Между тем для нормального роста необходимы не только различные минеральные вещества и их антагонистические соотношения, но и каждому виду растения требуется свой собственный набор элементов. Например, у растения-паразита *Cuscuta japonica* Choisy по сравнению со своим хозяином *Artemisia vulgaris* L. преобладают концентрации Cs (в 4,6 раза), Fe (в 2 раза), Li (в 1,6 раза), Ni (в 30,2 раза) и Ru (в 2,5 раза) при меньшем содержании Ca (в 2 раза), Cd (в 20 раз), Co (в 4,8 раза), Mg (в 2,3 раза), Mn (в 10,9 раза) и Zn (в 2,8 раза) [4]. Очевидно, для существования *Cuscuta* в конкретных экологических условиях требуется именно такой набор и содержание элементов, поэтому она поддерживает их уровень за счет хозяина.

Большинство гемипаразитов, к которым относятся и омелы, активно поглощают питательные вещества в основном за счет большой скорости транспирации, чем у соответствующих растений-хозяев [5]. В сравнении с последними отмечено [5], что омела имеет больший водный потенциал и соотношение $N/Ca > 1$, что указывает на активное

поглощение веществ из флоэмы пораженного растения. Сделан вывод, что омелы используют одновременно как активный транспорт, так и пассивный транспорт, что позволяет обладать преимуществом в среде с бедными питательными ресурсами и паразитировать на хозяине с недостатком питательных веществ.

Цель исследования: изучить валовое содержание минеральных элементов листьев и плодов растения – полупаразита омелы окрашенной (*Viscum coloratum* (Kom.) Nakai), и минеральный состав древесных побегов растения-хозяина березы плосколистной (*Betula platyphylla* Suk.).

Материалы и методы исследований

Материалом для исследований служили плоды, листья омелы окрашенной (*Viscum coloratum* (Kom.) Nakai) и побеги растения – хозяина березы плосколистной (*Betula platyphylla* Suk.), собранные в урочище «Мухинка», расположенное в 40 км к северу от г. Благовещенска.

Выбор растения-хозяина березы плосколистной обусловлен тем, что данное растение имеет более мягкую древесину и, как следствие более чаще поражается, чем другие виды потенциальных хозяев.

Состав золы растений определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 Shimadzu (Япония) в Аналитическом центре минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН.

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание отдельных элементов в паразите зависит в первую очередь от особенностей минерального питания самого растения-хозяина (табл. 1, 2), что подтверждается, например, следующими полученными данными: как в растении-паразите, так и в растении-хозяине значительно выше так называемой эталонной нормы накапливается Ca, Mg, Fe, P, Mn, K. Однако по сравнению с березой листья омелы накапливают в 2 раза больше K (табл. 1), а плоды в 1,4 раза. Данный факт, вероятно, обуславливает достаточно высокую сосущую силу паразита, что связано в том числе и с присутствием K в пасоке, который влияет также и на передвижение сахарозы по растению, – недостаток замедляет ток углеводов. Для вечнозеленого растения омелы накопление сахаров еще важно и по другой причине, – известно [6], что способность переносить низкие температуры напрямую связана с количеством связанных углеводов. Аналогичную роль для омелы играет концентрирование Na, оказывая осморегулирующую функцию,

как и калий. Антагонистически с накоплением одновалентных ионов происходит захват двухвалентного кальция (табл. 1). Однако данный элемент растение-хозяин аккумулирует в 3 раза больше, по сравнению с листьями омелы, и в 20 раз больше, чем плоды омелы, на фоне достаточно высокого его концентрирования в системе растение-хозяин. Скорость передвижения ассимилятов ускоряется и под влиянием фосфора, имеющего в целом поливалентную функцию. Содержание его в 3 раза выше, чем в растении-хозяине – березе плосколистной. Возможно, это характеризует достаточно высокую скорость обменных процессов омелы, поскольку фосфор передвигается, прежде всего, к молодым и наиболее активным центрам метаболизма. Кроме того, фосфор способствует более экономному расходованию влаги, что имеет значение для растений в засушливые периоды, или для растения-паразита, получающего влагу из растения-хозяина. Данные согласуются с показателями, полученными украинскими исследователями для омелы белой [7]. Накопление магния сопоставимо с растением-хозяином, точнее с его бесхлорофилльной частью (древесина), что может быть связано с наличием фотосинтетических процессов в организме паразита.

Отмечено более высокое содержание (в 2 раза) кремния в листьях омелы при сопоставлении с плодами паразита и с древесиной растения-хозяина. Данный факт может свидетельствовать в пользу укреп-

ления клеточной стенки клеток листа омелы за счет связывания с полифенольными соединениями.

Интересные сведения получены нами по содержанию марганца – его количество меньше, чем в растении-хозяине, что вероятно, обусловлено паразитическим образом жизни омелы, – и может свидетельствовать о снижении нормального хода работы фотосистемы II, и его участия в фотолизе воды. Существует взаимосвязь между накоплением в растении биологически активных веществ, например алкалоидов, и аккумулярованием Zn, Mn, Co, что представляет интерес для фармакологии. В работе О.Е. Самсоновой [8] омела белая определена как основной концентратор Mn в сравнении с 34 высшими «лекарственными» растениями Ставрополя. Показано, что олиственные побеги омелы более чем в 10 раз превосходили по содержанию Mn в траве сухоцвета однолетнего, горца почечуйного, лаванды узколистной, молочая степного. Однако ничего не сказано о растении-хозяине омелы белой – основном поставщике данного минерального элемента. В нашем эксперименте содержание марганца в побегах омелы в процентном соотношении отличалось на несколько порядков (0,002% по сравнению с 1,49% для омелы белой). Возможно данный факт свидетельствует о видовых особенностях омелы белой и омелы окрашенной. А также нельзя исключать и индивидуальные особенности взаимодействия паразита и пораженного растения.

Таблица 1

Среднее содержание макро- и некоторых микроэлементов (в %) паразитического растения *Viscum coloratum* (Kom.) Nakai и растения-хозяина *Betula platyphylla* Suk.

Объект исследования	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Zn
Плоды <i>V. coloratum</i>	2,904	2,581	25,36	2,794	2,359	5,899	15,141	0,211	0,014	0,673	0,00016
Листья <i>V. coloratum</i>	2,051	5,35	37,75	13,36	2,352	12,508	15,896	0,199	0,002	0,624	0,00144
побеги <i>B. platyphylla</i>	1,831	4,65	18,26	43,88	2,44	6,293	5,433	0,203	0,026	0,634	0,0029

Таблица 2

Среднее содержание микро- и ультрамикроэлементов (в ppm) паразитического растения *Viscum coloratum* (Kom.) Nakai и растения-хозяина *Betula platyphylla* Suk.

Объект исследования	V	Cr	Co	Ni	As	Rb	Sr	Zr	Ba	Cu	Y	Pb
Плоды <i>V. coloratum</i>	0	29	13	102	10	81	71	126	236	89	9	16
Листья <i>V. coloratum</i>	0	13	12	42	4	85	504	0	205	111	9	15
Побеги <i>B. platyphylla</i>	49	13	29	28	2	73	1637	0	803	205	4	14

Биогенный элемент – железо, необходимый как для процессов дыхания, так и для процессов фотосинтеза, аккумулируется интересующими нас растениями практически в одинаковом количестве (табл. 1). Что еще раз определяет его ведущую роль среди всех содержащихся в растениях (паразитных и непаразитных) тяжелых металлов.

Накопление стронция зависит не только от вида растения, но и от соотношения в окружающей среде данного элемента. Нами отмечена положительная корреляция стронция с кальцием (табл. 1, 2). Его соотношение меняется аналогично кальцию в системе паразит – растение-хозяин. Аналогичная взаимозависимость доказана для Cu и Zn, Mn для омелы белой [8], что подтверждено и в нашем эксперименте. Медь активизирует окислительно-восстановительные процессы и нормализует обмен веществ.

В отношении такого минерального вещества, как ванадий (табл. 2), являющегося элементом очень низкой интенсивности поглощения, следует обозначить следующее: омела, при наличии его в растении-хозяине (береза), совершенно не всасывает данный элемент. Возможно, в клетках паразита имеются специфические барьеры, – препятствующие поступлению ванадия.

Из наиболее токсичных элементов, относящихся к I классу опасности, в небольших количествах концентрируются As, Pb, Zn, содержание которых также регулируется генетическими особенностями растений. Так, в отношении цинка, аккумулируемого всеми растениями, береза сосредотачивает его в пределах так называемой эталонной «нормы» (0,002%), тогда как листья омелы – в 2 раза, а плоды – на целый порядок меньше (табл. 1). Свинец является приоритетным загрязнителем атмосферного воздуха, почвы и других компонентов окружающей среды, и его накопление в среде идет наиболее высокими темпами [9, 10]. Однако в изучаемых растениях отношение средней концентрации свинца (табл. 2) к среднемировому значению (0,00125%) [10] меньше на два порядка, что может указывать на слабое загрязнение почвы (урочище «Мушкинка») данным тяжелым металлом, – место сбора растительного материала. Аналогичные данные получены по мышьяку, содержание которого ниже его концентрации в растениях на незагрязненных почвах, представленных А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиас (0,009–1,5 мг/кг) [10].

Роль никеля для высших растений была доказана относительно недавно [10]. Показано, что в растениях, обеспеченных никелем, активность уреазы, – фермента,

осуществляющего разложение мочевины, выше. В нашем эксперименте содержание никеля у паразитического растения, как в листьях, так и в семенах, больше в 1,5 и 3,6 раза (табл. 2), что может косвенно свидетельствовать об активном преобразовании мочевины в тканях омелы и возможном снижении катаболических процессов у растения-хозяина. Показатели Ni наиболее были высоки в плодах омелы, что нужно учитывать при фармакологическом использовании сырья данного растения.

Интересен факт накопления в плодах омелы еще одного, мало изученного элемента – циркония, вероятно поступающего в растения в составе галогенидов, что тоже может отражать геохимические особенности среды обитания.

Несмотря на то, что Rb, как и другие одновалентные катионы легко поглощаются растениями, замещая позиции K в соединениях, паразитное растение омела и береза плосколистная содержат его в очень малых количествах (табл. 2) по сравнению с большинством проанализированных видов растений (0,02–0,07%) [10], что доказывает, вероятно, низкую концентрацию данного элемента в почве.

Необходимо отметить еще один факт – из анионных элементов в омеле и в березе плосколистной содержится йод (табл. 2), что определяется нахождением его в почве и видом самого растения. Поглощая данный элемент из березы, омела концентрирует его в 2 раза больше. Известен факт антагонизма Cl и Y [11, 12], количество хлора под действием йода снижается, и это имеет значение для солеустойчивых форм растений, к которым можно отнести и омелу. Кроме того, омела, помимо большого спектра биологических веществ, содержащихся в ней, может быть использована в комплексной терапии заболеваний щитовидной железы, а также в качестве источника йода в йододефицитных районах. В работе Р.Г. Фархутдинова с соавторами (2013) [12] приводятся сведения по количественному содержанию йода в йодсодержащих растениях Башкортостана, топ рейтинга среди которых занимают вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata* L.) и дурнишник обыкновенный (*Xanthium strumarium* L.). В сравнении с ламинарией сахаристой (*Laminaria saccharina* (L.) Lamour) уровень йода был ниже в 2,7–5,4 раза. В нашем случае омела содержит йод в 2,1 раза меньше по сравнению с таковым в ламинарии (0,26 мг% и 0,53 мг% соответственно).

Очевидно, что аккумуляция, соотношение элементов, способность к их избирательности поглощения зависит от видовых

особенностей и способа жизнеобитания паразита и хозяина, что заметно и по распределению элементов в рядах накопления, которые выглядят следующим образом: плоды *V. coloratum*: $K > P > Si > Na > Ca > Mg > Al > Fe > Ti > Mn > Ba > Zn > Zr > Ni > Cu > Rb > Sr > Cr > Pb > Co > As > I$; листья *V. coloratum*: $K > P > Ca > Si > Mg > Al > Na > Fe > Ti > Mn > Zn > Sr > Ba > Cu > Rb > Ni > Pb > Cr > Co > I > As$; древесина *Betula platyphylla*: $Ca > K > Si > P > Mg > Al > Na > Fe > Ti > Mn > Zn > Sr > Ba > Cu > Rb > V > Co > Ni > Pb > Cr > I > As$.

Заключение

Таким образом, растение омела окрашенная, являясь ксилемным паразитом, избирательно поглощает отдельные элементы из растения хозяина – березы плосколистной, что отражает как генетическую специфику растений и геохимические особенности среды, так и приспособленность к паразитическому образу жизни. Использование как пассивного, так и активного транспорта может быть селективным преимуществом в среде с низким содержанием или недостаточным содержанием питательных веществ. Концентрирование омелой минеральных элементов скорее всего ослабляет растение-хозяина, на котором она произрастает. В процессе развития система омела – береза неотделима от среды обитания и, взаимодействуя, вносит обоюдный вклад в минеральный обмен друг друга.

Исследование влияния паразитического растения омелы на растение-хозяина является актуальным, поскольку действие, которое оказывает паразит на растение, определяет вред, причиняемый ею ряду сельскохозяйственных, лесных и декоративных растений. Изучение механизмов взаимодействия омелы с растением-хозяином необходимо для изыскания средств защиты от него. Селективность накопления

минеральных элементов омелой окрашенной нужно также учитывать при фармакологическом использовании сырья данного растения, поскольку растение представляет значительный интерес для медицины.

Список литературы

1. Христофорова Н.К. Основы экологии М.: Магистр: ИНФРА, 2014. 640 с.
2. Горовой П.Г., Бальшев М.Е., Крылов А.В., Щеклина В.В., Низкий С.Е. Омела окрашенная (*Viscum coloratum* (Kom.) Nakai) в Восточной Азии (таксономия, ареал, возможности использования) // Acta Biologica Sibirica. 2018. Т. 4. № 4. С. 103–107.
3. Леусова Н.Ю., Катола В.М., Крылов А.В. Фитохимия растений омелы (*Viscum L.*) и их лечебные свойства // Бул. физиол. и патол. дыхания. 2008. № 2008. С. 69–73.
4. Леусова Н.Ю., Катола В.М., Радомская В.И., Радомский С.М. Содержание минеральных элементов растения паразита *Cuscuta japonica* // Проблемы региональной экологии. 2008. № 3. С. 67–71.
5. Okubamichael D.Y., Griffiths M.E., Ward D. Host specificity, nutrient and water dynamics of the mistletoe *Viscum rotundifolium* and its potential host species in the Kalahari of South Africa. Journal of Arid Environments. 2011. vol. 75. no. 10. P. 898–902.
6. Марковская Е.Ф., Шерудило Е.Г., Галибина Н.А., Сысоева М.И. Роль углеводов в реакции теплолюбивых растений на кратковременные и длительные низкотемпературные воздействия // Физиология растений. 2010. Т. 57. № 5. С. 687–694.
7. Ельпителифов Е.Н., Иваницкая Б.А., Малашук Е.В. Сравнительная оценка содержания химических элементов *Viscum album L.* и *Viscum album subsp. austriacum* (Wiesb.) Vollmann // Научный вестник НЛТУ Украины. 2017. Т. 27. № 5. С. 93–97.
8. Самсонова О.Е. Биоэлементы Mn, Cu, Zn в некоторых полезных и ядовитых растениях Ставрополя // Вестник ОГУ. 2006. № 12. С. 215–217.
9. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. С. 368–375.
10. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
11. Абдыев В.Б. Поглощательная активность ионов (по хлору) одно- и двудольных растений // Вестник МГУ. Сер.: Естественные науки. 2010. № 2. С. 22–27.
12. Фархутдинов Р.Г., Кудашкина Н.В., Хасанова С.Р., Трофимова С.В. Определение содержания иода в растениях республики Башкортостан // Растительные ресурсы. 2013. Т. 49. № 1. С. 139–146.

УДК 504:631.4

ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭРОЗИОННО-ОПАСНЫХ ПОЧВ ПОД МОЛОДЫМИ И СРЕДНЕВОЗРАСТНЫМИ ЗАЛЕЖАМИ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

^{1,2}Миллер Г.Ф., ¹Филимонова Д.А., ¹Безбородова А.Н., ^{1,3}Соловьев С.В.

¹ФГБУН «Институт почвоведения и агрохимии» СО РАН, Новосибирск, e-mail: miller@issa-siberia.ru;

²ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», Новосибирск;

³ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет экономики и управления НИИХ», Новосибирск

Проведена комплексная почвенно-экологическая оценка эродированных почв под молодыми и средневозрастными залежами юго-востока Западной Сибири с расчетом баллов почвенно-экологического индекса. Восстановление почвенных свойств под залежами молодого и среднего возраста происходит медленно и постепенно. Изменение свойств почв находит подтверждение в балльной оценке. В то же время средневозрастные залежи по степени восстановления свойств далеко не всегда явно отличаются от залежей молодого возраста и не всегда обнаруживают значительную степень восстановления исходных почвенно-физических свойств, и при этом они не достигают своего исходного состояния. Возвращение средневозрастных залежей в сельскохозяйственный оборот не представляется целесообразным, так как часто в состоянии залежи переводятся почвы в разной степени смыто-намытые, что является причиной, замедляющей восстановление их свойств. Следует учитывать, что возврат в пахотный фонд залежей на эродированных почвах может нанести этим землям еще больший экологический ущерб. Таким образом, в связи с тем, что эрозионные процессы являются сдерживающим фактором возвращения земель в равновесное состояние с условиями среды, следует с особой тщательностью подходить к изучению пригодности склоновых территорий для возвращения в сельскохозяйственный оборот.

Ключевые слова: почва, почвенно-экологическая оценка, залежи, эрозия

PEDOLOGICAL-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF EROSION-HAZARDOUS SOILS UNDER YOUNG AND MIDDLE-AGED FALLOWS OF THE SOUTH-EAST OF WESTERN SIBERIA

^{1,2}Miller G.F., ¹Filimonova D.A., ¹Bezborodova A.N., ^{1,3}Solovov S.V.

¹Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, e-mail: miller@issa-siberia.ru;

²Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk;

³Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk

The complex soil-ecological assessment of eroded soils under young and middle-aged fallows of the South-East of Western Siberia with calculation of scores of the soil-ecological index was carried out. Recovery of properties of soil developed under fallows of young and middle age is slow and gradual. The change of soil properties is confirmed in the score of the soil-ecological index. At the same time, middle-aged fallows, according to the degree of recovery of properties, are not always noticeably different from the fallows of young age and do not always show a significant degree of recovery of the original soil-physical properties, and they do not reach their original state. The return of middle-aged fallows in agriculture is not appropriate, as often soil is already washed out when being transferred in the state of fallows, which is the reason that slows the recovery of their properties. It should be borne in mind that the return of the fallows developed on the eroded soils into the plowing can cause even greater environmental damage to these lands. Thus, due to the fact that erosion processes are a deterrent to the return of land to equilibrium with environmental conditions, it is necessary to carefully approach the study of the suitability of slope areas to the returning into agricultural circulation.

Keywords: soil, soil-ecological assessment, fallows, erosion

Среди процессов, ведущих к деградации, особую опасность представляет эрозия почв. Интенсивному ее проявлению способствуют многие факторы. Для юга Западной Сибири данная проблема характерна практически повсеместно, но наиболее угрожающий характер она носит в юго-восточной ее части [1]. Так, территория юго-востока Западной Сибири характеризуется высокой эрозионной опасностью в первую очередь

в силу особенностей рельефа. Наиболее расчлененная часть этого региона – Буготакский мелкосопочник. На исследуемой территории под залежами можно встретить почвы разной степени смытости и отследить изменения их свойств, отраженные в баллах почвенно-экологического индекса (ПЭИ). Целью исследования является выявление степени восстановления их исходных почвенно-физических характеристик.

Буготакский мелкосопочник имеет преобладающие высоты от 220–248 м [2]. Основные элементы рельефа данного района – склоны с крутизной в приводораздельной части до 9–12° и в прибалочной – 25–30° (рисунок). Выпуклая форма склонов является причиной интенсивного смыва в средней и нижней их частях [3]. Большая протяженность склонов обеспечивает значительный объем поверхностного стока. Величина горизонтального расчленения может составлять до 1–1,2 км/км² [4].



Типичный ландшафт Предсалаирья (Буготакский мелкосопочник)

К факторам, определяющим интенсивность смыва, кроме длины склона и уклона поверхности, относятся податливость почв смыву, способ хозяйственного использования земель, защитная роль растительного покрова, интенсивность осадков, характер снегоотложения и другие [5]. Так, летние осадки производят кратковременное эрозионное воздействие на почву, и в силу частичной защищенности почвы растениями, эродирующее воздействие ливней намного слабее, чем при смыве почвы талыми водами во время снеготаяния. В весеннее же время на интенсивность смыва влияет степень увлажнения и промерзания почв, от которых зависит их водопроницаемость.

На исследуемой территории кратковременные сильные холода (до –30 °С) на фоне общей морозной погоды вызывают накопление холода в почве. К началу снеготаяния (конец марта) глубина промерзания почвы достигает 1,4–2,2 м, а температура колеблется от –0,5 до –4,2 °С. Глубокое промерзание является одним из факторов образования ледяной прослойки в почве, препятствующей инфильтрации талых вод [2]. Это, в сумме с вышеперечисленными факторами, способствует формированию большого объема поверхностного стока при весеннем снеготаянии.

Исследуемая территория характеризуется холодной и умеренно и достаточно снежной зимой. Весна короткая, засушли-

вая и полусушливая; осень средней продолжительности, полувлажная и влажная в конце. Лето короткое, умеренно теплое, умеренно влажное. В год выпадает 440–537 мм, при этом большая часть (270 мм осадков) – в период с температурами, превышающими 10 °С. Коэффициент увлажнения составляет > 1. Продолжительность безморозного периода – 105–116 дней. Средняя температура наиболее теплого месяца составляет 19,0...20,0 °С, средняя температура наиболее холодного месяца –18,0...–19,0 °С при среднегодовой температуре –1,1 °С. Сумма температур > 10 °С равна 1700–2000 °С. Коэффициент континентальности (по Иванову) – 215 [1].

Систематически обрабатывать землю на территории Предсалаирья начали сравнительно недавно. Масштабное земледельческое освоение этого района началось со второй половины XIX в. При этом действительно массовая распашка началась здесь в связи с земельными реформами начала прошлого столетия. В то же время на 1950-е гг. приходится тотальная распашка любых, даже совершенно не подходящих для этого, местоположений. Вовлечение целинных и залежных земель в сельскохозяйственное производство затронуло в том числе эрозионно-опасные склоновые территории. Именно их распашка явилась причиной выхода эрозионных процессов за рамки их естественных значений [3].

Эрозионную опасность территории, наряду с рельефом, обеспечивает также и климат. Среднегодовое количество осадков составляет около 450 мм [4], при этом характерны многоснежные зимы, после которых следует обильный поверхностный сток талых вод, приводящий к смыву твердой фазы почвы (до 10 т/га) [3].

Почвообразующими породами исследуемой территории являются лессовидные суглинки [2]. Высокое содержание крупнопылеватой фракции в них способствует тому, что при взаимодействии с водой они быстро размокают и становятся весьма податливыми к размыву, что приводит к интенсивному развитию почвенно-эрозионных процессов [3].

В ходе многолетних исследований, проводимых сотрудниками Института почвоведения и агрохимии СО РАН на территории Предсалаирья, установлено, что процесс современной эрозии почв может начинаться на склонах с крутизной > 1 [2].

В данном исследовании представлены результаты почвенно-экологической оценки черноземов оподзоленных, выщелоченных, а также темно-серых лесных почв под залежами молодого и среднего возраста.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования стали почвы Предсалаирья. Исследованы 6 почвенных разрезов на черноземах выщелоченных, оподзоленных и серых лесных почвах. По степени смывости исследованные почвы относятся к несмытым, слабосмыто-намытым, смыто-намытым, среднесмытым и сильно-смытым. Согласно классификации [6], залежи на исследуемых почвах имеют молодой (2–5 лет) и средний (10–15 лет) возраст.

Отбор почвенных образцов осуществлялся сплошной колонкой для определения содержания гумуса, кислотности, подвижных форм фосфора и калия, гранулометрического состава. Производился отбор образцов для определения плотности почвы (объемной массы).

Для почвенно-экологической оценки исследованных почв была использована методика расчета почвенно-экологического индекса (ПЭИ). Преимущества данной почвенно-оценочной методики перед традиционной бонитировкой, в основе которой состоит оценка содержания гумуса, азота и фосфора, заключается в ее комплексном подходе. Так, традиционная бонитировка лишь отчасти отображает полноту собственно почвенных показателей, не учитывает климатические данные и не в полной мере отражает агрохимические показатели [1]. Методика же расчета ПЭИ сочетает в себе факторы почвенного плодородия, климатические и геоморфологические показатели оценки почв [4, 7].

Расчет ПЭИ производился по методике, разработанной в Почвенном институте им. В.В. Докучаева И.И. Кармановым [8], рассчитывался по формуле

$$\text{ПЭИ} = 12,5 \times (2 - V) \times \Pi \times \text{Дс} \times \frac{\sum t > 10^\circ \times (\text{КУ} - \text{Р})}{\text{КК} + 100} \times \text{А},$$

где ПЭИ – почвенно-экологический индекс;
 V – плотность (объемная масса) почвы, г/см³;
 2 – максимально возможная плотность г/см³;
 Π – «полезный» объем почвы в метровом слое;
 Дс – дополнительно учитываемые свойства почвы;

$\sum t > 10^\circ \text{C}$ – среднегодовая сумма активных температур;

КУ – коэффициент увлажнения;

Р – поправка к коэффициенту увлажнения;

КК – коэффициент континентальности;

А – итоговый агрохимический показатель содержания элементов питания.

Поскольку формула расчета ПЭИ содержит почвенный, климатический и агрохимический сегменты, она в конечном итоге отражает суммарное влияние по-

чвенно-экологических условий на производительность почв [4].

При проведении исследований по изучению агрофизических свойств почв залежных земель использовались следующие методы: определение гранулометрического состава почв посредством ситово-пипеточного метода [9]; определение органического углерода (гумуса) по Тюрину [10]; определение рН почвы потенциометрическим методом [9], определение плотности (объемной массы) почвы [11].

Результаты исследования и их обсуждение

При проведении почвенно-экологической оценки исследуемые почвы были ранжированы в зависимости от возраста залежей, сформированных на них. Полученные результаты представлены в виде таблицы.

Распределение значений ПЭИ в почвах под разновозрастными залежами

Объект	Балл ПЭИ
Почва под молодой залежью (2–3 года)	26,6
Почва под молодой залежью (3–4 года)	38
Почва под средневозрастной залежью (5–7 лет)	45
Почва под средневозрастной залежью (7–10 лет)	41,4
Почва под средневозрастной залежью (14 лет)	25,1
Почва целины	63,1

Исходя из данных, представленных в таблице, мы можем сделать следующие выводы.

Один из самых низких показателей ПЭИ маркирует почвы под молодыми залежами – это чернозем выщелоченный среднесмытый среднесуглинистый и темно-серая лесная среднесплодная среднесуглинистая почва. Находясь под залежами 2–3- и 3–4-летнего возраста, они имеют показатели ПЭИ 26,6 и 38,0 соответственно. Разница объясняется как степенью смывости первых, так и недолгим их нахождением под залежью.

Почвы под средневозрастными залежами (чернозем выщелоченный слабосмыто-намытый глубоковскипающий среднесуглинистый под залежью 5–7 лет; чернозем выщелоченный среднесуглинистый под залежью 7–10 лет) имеют практически схожие показатели ПЭИ: 45,0 и 41,4 соответственно. Не настолько заметная разница данного показателя для почв под молодыми и средневозрастными залежами может объясняться тем, что, в силу разных при-

чин средневозрастные залежи (как по степени восстановления почвенно-физических свойств, так и по стадии сукцессии), далеко не всегда явно отличаются от залежей молодого возраста.

Особо следует отметить показатель ПЭИ для почвы под залежью возрастом 14 лет – чернозем выщелоченный сильноносмый среднесуглинистый. Значение индекса здесь составляет лишь 25,1 балла. Снижение показателя ПЭИ для сильноносмых почв является закономерным [1], так как самый ценный гумусовый горизонт был смыт, из-за чего заметно снизилось содержание гумуса, питательных элементов, изменилась структура бывшего пахотного горизонта, произошло изменение плотности.

Поскольку в современных условиях восстановить потери гумусового горизонта практически невозможно, наибольшую значимость представляют меры по предотвращению дальнейших потерь гумуса и, следовательно, поддержанию сохранившегося к настоящему времени плодородия почв [1].

Наибольшие значения ПЭИ характерны для почвы целины (чернозем оподзоленный среднесуглинистый) – 63,1 балла, что объясняется слабой выраженностью эрозионных процессов ввиду отсутствия распашки, а потому наиболее полным сохранением ее производительности.

Таким образом, проведенная почвенно-экологическая оценка почв под молодыми и средневозрастными залежами юго-востока Западной Сибири выявила незначительные различия в степени восстановления их исходных почвенно-физических свойств. В сочетании с высокой эрозионной опасностью территории это делает нецелесообразным возвращение их в сельскохозяйственный оборот в качестве пашни, поскольку в таком случае через короткое время действие почвенно-эрозионных процессов продолжит наносить непоправимый ущерб данным почвам как средству сельскохо-

зяйственного производства, что в будущем сделает маловероятным их восстановление даже в отдаленной перспективе.

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.

Список литературы

1. Миллер Г.Ф. Почвенно-экологическая оценка агроландшафтов лесостепи Присалаирья: дис. ... канд. биол. наук. 03.02.13. Новосибирск, 2013. 127 с.
2. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. 349 с.
3. Танасиенко А.А. Ландшафты и почвы Присалаирской дренированной равнины // Путеводитель научных полевых экскурсий IV съезда Докучаевского общества почвоведов. Новосибирск, 2004. С. 12–31.
4. Безбородова А.Н., Миллер Г.Ф., Соловьев С.В., Филимонова Д.А. Почвенно-экологическая оценка эродированных черноземов юга Западной Сибири с учетом специфики климатических и геоморфологических особенностей территории // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 8. С. 59–63.
5. Смоленцева Е.Н., Чумбаев А.С., Соколов Д.А., Соколова Н.А. Почвы Предалтайской лесостепной почвенной провинции Западной Сибири (на примере Буготакского мелкосопочника): Путеводитель полевой почвенной экскурсии Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН, «Почвы в биосфере» / Под ред. Б.А. Смоленцева. Томск: Издательский Дом ТГУ, 2018. 50 с.
6. Абаймов В.Ф., Ледовский Н.В., Ходячих И.Н. Типы залежей степной зоны Южного Урала и их хозяйственно-биологическая оценка // Известия оренбургского государственного аграрного университета. 2013 № 4 (42). С. 227–230.
7. Шпедт А.А., Аксенова Ю.В., Жуланова В.Н., Рассыпнов В.А., Ерунова М.Г., Бутырин М.В. Оценка агрочерноземов Сибири на основе современных подходов // Земледелие. 2019. № 4. С. 8–13. DOI: 10.24411/0044-39132019-10402.
8. Шишов Л.Л., Дурманов Д.Н., Карманов И.И. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв. М.: Наука, 1991. 303 с.
9. Почвоведение: учеб.-метод. пособие / составитель Л.П. Галеева. Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2012. 95 с.
10. Некрасова О.А. Методы анализа органического вещества почв. Руководство к лабораторным занятиям. Екатеринбург, 2008. 107 с.
11. Терпелец В.И., Слюсарев В.Н. Учебно-методическое пособие по изучению агрофизических и агрохимических методов исследования почв. Учебное издание. Краснодар: КубГАУ, 2010. 65 с.

ОБЗОРЫ

УДК 612.335.2

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ТРАНСПОРТА ЛИПИДОВ ИЗ ЭНДОПЛАЗМАТИЧЕСКОГО РЕТИКУЛУМА В КОМПЛЕКС ГОЛЬДЖИ В ЭНТЕРОЦИТЕ КИШЕЧНОЙ ВОРСИНКИ

¹Здорикова М.А., ¹Жаказова Т.Е., ²Димов И.Д., ¹Сесорова И.С.

¹ФГБОУ ВО «Ивановская государственная медицинская академия» Минздрава России, Иваново, e-mail: mrs.rearmouse@yandex.ru, ttattyana@list.ru, irina-s3@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, e-mail: doktordimov@mail.ru

В статье представлен обзор исследований, посвященных изучению молекулярных механизмов транспорта липидов в энтероците кишечной ворсинки на этапе эндоплазматический ретикулум (ЭР) – комплекс Гольджи (КГ). Описаны основные белковые машины, обеспечивающие сборку прехиломикрона (ПреХМ) в ЭР и дальнейшее его перемещение в комплекс Гольджи. Показана роль фермента моноацилглицерол-ацил-трансферазы; протеина apoB-48 и белка-шаперона микросомального белка-переносчика триглицеридов, блокада или недостаток синтеза которых прекращает или замедляет формирование частицы. Обсуждается роль COPII покрытия и его субъединиц в транспортировке ПреХМ из ЭР в комплекс Гольджи. Доказано обязательное участие субъединиц COPII-покрытия и TANGO-белков в переносе ПреХМ, показана их совместная локализация. Однако нет морфологических доказательств образования COPII-покрытия, а также переноса ПреХМ особыми транспортными везикулами (PCTV) или так называемыми «мегавезикулами». Обсуждаются альтернативные механизмы транспорта ПреХМ в комплекс Гольджи. Приведены доказательства участия SNARE-белков: VAMP7, CD36, FABP белок печени в формировании транспортного переносчика. Высказано предположение, что субъединицы COPII-покрытия необходимы для слияния переносчика из ЭР с мембранами цис-полюса комплекса Гольджи. Необходимы морфологические доказательства обсуждаемых молекулярных механизмов.

Ключевые слова: энтероцит, эндоплазматический ретикулум, транспорт липидов

THE MOLECULAR MECHANISMS OF LIPID TRANSPORT THROUGH THE GOLGI IN ENTEROCYTE INTESTINAL VILLI

¹Zdorikova M.A., ¹Kazakova T.E., ²Dimov I.D., ¹Sesorova I.S.

¹Ivanovo State Medical Academy MOH Russia, Ivanovo, e-mail: mrs.rearmouse@yandex.ru, ttattyana@list.ru, irina-s3@yandex.ru;

²St. Petersburg State Pediatric Medical University MOH Russia, Saint-Petersburg, e-mail: doktordimov@mail.ru

The article provides a review on studies of the molecular mechanisms of lipid transport in enterocyte of intestinal villi at the endoplasmic reticulum (ER) – Golgi complex stage. The main protein machines that ensure the assembly of prechylomicron (PC) in the ER and its further transfer to the Golgi complex are described. The role is shown of the monoacylglycerol acyltransferase enzyme; the apoB-48 protein and the chaperone protein of the microsomal triglyceride carrier protein the blockade or lack of synthesis of which stops or slows down particle formation. The role of COPII coating and its subunits in the transport of PC from the ER to the Golgi complex is discussed. Imperative participation of COPII-subunits and TANGO-proteins in PC transfer has been proved, their joint localization is shown. However, there is no morphological evidence of the formation of a COPII coating, as well as the transfer of PC by special transport vesicles (PCTV) or the so-called «mega vesicles». The alternative mechanisms of PC transport to the Golgi complex are discussed. Evidence of the involvement of SNARE proteins: VAMP7, CD36, FABP protein of the liver in the formation of a transport carrier is presented. It is suggested that the subunits of the COPII coating are necessary for the fusion of the transporter from ER with the cis-pole membranes of the Golgi complex. Morphological evidence of the discussed molecular mechanisms is needed.

Keywords: enterocyte, endoplasmic reticulum, lipid transport

Общие механизмы транспорта в кишечной ворсинке были описаны во второй половине XX в. [1–3]. Поскольку образование дефектных хиломикронов (ХМ) является причиной целого ряда наследственных патологий, с развитием генетики и молекулярной биологии стала необходима детализация как молекулярных, так и клеточных механизмов, регулирующих динамику хиломикронов. Транспорт липидов лучше всего изучен на этапе биогенеза ХМ в эн-

доплазматическом ретикулуме (ЭР). Кроме того, разрабатываются модели транспорта ХМ из ЭР в комплекс Гольджи (КГ). Как правило, они предлагаются на основе данных, полученных при изучении транспорта белков *in vitro* [4], что часто приводит к спорным и противоречивым результатам.

Согласно общепринятому мнению, транцитоз липидов через энтероциты происходит с помощью хиломикронов [2, 5, 6]. ХМ содержат нейтральный липид (три-

глицерид и сложный эфир холестерина) в ядре и полярные липиды (фосфолипид и свободный холестерин) вместе с аполипопротеинами (в основном ApoB) на их поверхности [6–8].

Целью настоящего обзора является анализ имеющихся в мировой литературе данных о молекулярных машинах, участвующих в транспорте ХМ из эндоплазматического ретикулума в КГ и выявление наиболее спорных моментов, нуждающихся в дальнейшем детальном изучении.

*Синтез прехиломикронов
в эндоплазматическом ретикулуме*

Сборка прехиломикронов (ПреХМ; негликозилированных ХМ) начинается в эндоплазматическом ретикулуме, где синтезируется триацилглицерин (ТАГ). Установлено, что через 5 минут после введения жира в просвет кишки маркировка на ApoB в гранулярном эндоплазматическом ретикулуме (ШЭР) значительно снижена. При этом наблюдается интенсивное мечение в профиллях гладкого ЭР (ГЭР) [1, 2, 9]. Наши исследования также выявили на данном сроке электронно-плотные липидные частицы в просвете ГЭР [10].

Синтез триацилглицерида, входящего в состав ХМ, осуществляется ферментом моноацилглицерол-ацилтрансферазой (MGAT), локализованным на мембране ER [11, 12]. Найдены и описаны три гомолога этого фермента (MGAT1, MGAT2, и MGAT3), тем не менее только MGAT2 имеет значение для синтеза ТАГ в энтероците кишечника [12, 13].

MGAT2 синтезирует диацилглицерид (ДАГ) из субстратов моноацилглицерида (МАГ) и кофермента ацетилирования – ацетил-КоА жирной кислоты [14, 15]. ТАГ плохо растворим в мембранах (около 2%) [15]. Поэтому ДАГ может или выйти в просвет ЭР как субстрат для образования ПреХМ, или в цитозоль как компонент липидных капель [16].

Необходимым компонентом в образовании ПреХМ является протеин apoB-48, блокада или недостаток синтеза которого прекращает или замедляет формирование частицы [9]. Ключевую роль также играет белок-шаперон, называемый микросомальным белком-переносчиком триглицеридов (MTP). Он инициирует включение apoB в липид и затем его перенос с мембраны ЭР в ХМ [6, 17].

Кроме того, MTP опосредует дополнительное объемное липидирование первичной частицы за счет переноса и встраивания в нее люминальных липидных частиц, не содержащих ApoB. Во время этого процесса

к поверхности частицы добавляется также apoA-IV, предположительно участвующая в процессе сборки. Превращение мелких частиц ПреХМ в более крупные иногда называют вторым этапом «расширения ядра», который требует значительного увеличения площади поверхности ПреХМ. Поскольку каждая частица липопротеина содержит одну молекулу apoB, площадь поверхности более крупных липопротеинов, возможно, требует стабилизации другими белками, и это может быть достигнуто путем присоединения нескольких аполипопротеинов. Действительно, экспериментальные подходы, такие как «сверхэкспрессия» или «нокдаун», продемонстрировали, что обменные аполипопротеины, включая apoE, apoC-III и apoA-IV способствуют сборке липопротеинов [17].

*Транспорт прехиломикронов
из эндоплазматического
ретикулума к комплексу Гольджи*

После образования в ЭР прехиломикроны должны переместиться в КГ [8]. Молекулярные механизмы данного этапа продолжают обсуждаться [5, 18]. Наиболее широкое распространение получила так называемая «везикулярная гипотеза», в которой авторы проводят аналогию между транспортом крупномолекулярных белковых агрегатов, например проколлагена, с ПреХМ.

Известно, что в клетке секреторные белки концентрируются на мембране ER с помощью белков покрытия COPII. Крупномолекулярные агрегаты белков, например проколлаген, встраиваются в цистерну КГ также с помощью COPII [19, 20], с участием белкового комплекса TANGO1 [21].

В большинстве гипотез о транспорте липидов через КГ принимается, что ПреХМ транспортируются COPII-производными везикулами [2]. Однако размеры COPII-везикул у млекопитающих составляют 65–80 нм [22, 23]. Недавние исследования с использованием криоэлектронной микроскопии выяснили архитектуру покрытия COPII. Эти исследования показали, что геометрия покрытия COPII достаточно гибкая, чтобы вместить грузы больших размеров, но не более 100 мкм. Следовательно, размер покрытия является серьезным контраргументом против переноса данными везикулами частиц диаметром более 90 нм [8, 24].

Напротив, есть исследования, показывающие, что *in vitro* образование ХМ не требует белков COPII и GTP, но при этом необходимы АТФ, а также SNARE-белки: VAMP7, синтаксин-5, Bet1 и vtila [19]. SNARE

представляют собой мембранные белки, которые имеют определенную локализацию: на донорской мембране – v-SNARE, на акцепторной – t-SNARE. За счет строгого взаимодействия определенной комбинации SNARE-белков осуществляется адресное слияние мембран. Интересно, что в ЭР энтероцитов в качестве v-SNARE присутствует VAMP7, который является преимущественно белком пост-Гольджи [19]. Он образует комплекс с синтаксином-5, *rbet1* и *vtia*, в качестве t-SNARE, функциональность которого была продемонстрирована блокированием каждого из его компонентов. Ингибирование гена VAMP7, а также AроВ48 или CD36 также приводит к прекращению продукции ПреХМ *in vitro* [19].

Было высказано предположение, что перенос ПреХМ из ЭР к КГ осуществляется СОП-зависимыми мегавезикулами диаметром 250 нм [6, 24].

Коатомер 2 состоит из пяти белковых субъединиц: Sec23p, Sec24p, Sec13p, Sec31p, Sar1p, которые собираются в белковый комплекс на мембране ЭР, сворачивая ее в сферу. СОП не только концентрирует грузовые белки, рецепторы и другие элементы, но и способствует образованию транспортера, который в дальнейшем перенесет грузовые молекулы из цистерн ЭР к КГ [4,25]. Биогенез СОП-везикул высоко организован и формируется на определенных участках, сайтах выхода из ЭР (ERES, «ER exit» сайты). До сих пор никто не описывал места выхода ЭР в энтероцитах *in situ*. В наших исследованиях выходные сайты ни на мембранах ШЭР, ни на цистернах ГЭР, в том числе содержащих ПреХМ, также обнаружены не были [10].

Остается неясным, важно ли СОП-покрытие для транспортировки ХМ из ЭР к КГ. Процесс образования СОП-каймы на ЭР начинается с присоединения к мембране специального адапторного белка Sar1 в GDP-связанной форме с Sec12, интегрального белка ER-мембраны, который функционирует как фактор обмена гуаниновых нуклеотидов для Sar [20, 25]. Sec12 катализирует превращение Sar1-GDP в Sar1-GTP, что вызывает встраивание альфа-спирального компонента Sar1 в мембрану ER. Связанный с мембраной белок Sar1 привлекает комплекс белков Sec23-Sec24 в качестве гетеродимера, который образует внутренний слой покрытия СОП. Этот мембраносвязанный комплекс Sar1-Sec23-Sec24 часто называют комплексом предварительного выделения. Sec24 помогает отобрать белки, которые будут транспортироваться в пузырьке, взаимодействуя с цитозольными доменами специфических, потенциальных грузовых молекул.

Показано взаимодействие Sar1b, Sec23 и Sec24C с AроВ48 [19, 26]. Ингибирующие антитела к Sar1 полностью подавляют выделение СОП-зависимых везикул, но увеличивают генерацию носителей, предположительно содержащих ХМ [5]. При этом фосфорилирование белка Sar1b важно для выхода ХМ из ЭР [27], а избыточная экспрессия Sar1b способствует кишечному транспорту липидов [28]. Транспортеры, образовавшиеся в отсутствие Sar1, не сливаются с мембранами КГ [5].

В энтероцитах человека выделены два паралоогических белка, Sar1a и Sar1b, имеющих 91% гомологии [29]. Неизвестно, какие существуют функциональные различия между этими белками, процесс образования СОП изучался без учета изоформ белка. Однако показано, что клетки Caco-2 и McArdleRH7777, экспрессирующие Sar1b, секретируют большее количество AроВ-48 и AроВ-100, а также хиломикронны больших размеров [29]. Мутация гена Sar1b приводит к болезням накопления липидов. Поэтому предполагается, что белок Sar1b позволит сформировать более крупные СОП-производные везикулы, чем Sar1a, в большей степени уменьшая жесткость мембраны.

Было высказано предположение о существовании в энтероците особых транспортных везикул (prechylomicron transport Vesicle, PCTV) [5, 17]. В условиях искусственной клеточной системы были проведены исследования, которые показали, что PCTV: во-первых, могут содержать прехиломикроны, на что указывают присутствие в их структуре AроВ-48 и AроА-IV, а также наличие маркерных белков прехиломикронов; во-вторых, не несут ER-резидентные белки калнексин или калретикулин; в-третьих, не разрушают мембраны ER, поэтому AроВ-48, имеющийся в прехиломикроне, защищен от протеолиза сильными протеазами, находясь внутри частицы; в-четвертых, могут сливаться с Гольджи и доставлять груз (прехиломикроны) в его просвет [6]. В их образовании, как считают авторы, необходим белок Sar1, а также присутствуют все пять компонентов оболочки СОП, которые, вероятно, нужны для слияния PCTV с КГ.

Было показано также участие в транспорте ПреХМ из ЭР в КГ белков TANGO1 и Mia2/cTAGE5 (TALI), которые поддерживают перемещение больших молекулярных агрегатов из ЭР в КГ в клетках млекопитающих [6].

Обсуждение возможной роли «мегавезикул» в транспорте ПреХМ от ЭР к КГ продолжается [30, 31]. Действительно, в фибробластах описаны агрегаты

проколлагена-I, формирующие структуру до 300 нм длиной, которые образуются внутри просвета ЭР [32, 33]. Далее с помощью субъединицы COPII-покрытия Sec31 и с участием белков TANGO может быть увеличена протяженность COPII-слоя и сформирован транспортер, адаптированный к размерам грузовой молекулы [34]. Однако четкой совместной локализации между белком Sec13 и проколлагеном-I и III обнаружено не было. Локализация проколлагена-I в типичных местах выхода грузовых молекул ERES не найдена [30]. Cutrona et al. также не привели к четкой совместной локализации проколлагена и Sec23A и не показали наличие проколлагена в вытянутых почках на ER [30].

Тем не менее при отсутствии комплекса белков COPII [30] или TANGO1 [31], проколлаген-I и VII не может выйти из ER. Совместная локализация проколлагена-VII и TANGO1 наблюдается в условиях синхронизации выхода проколлагена-VII из ЭР и не выявляется в нормальных условиях.

В энтероците показана совместная локализация Sec31A и TANGO1 [35], а также взаимодействие TANGO1 с COPII и с ароВ [6], и субъединиц COPII-покрытия (Sar1b, Sec23, и Sec24C) с ароВ-48 [29]. Возможным объяснением полученных данных может быть предположение, что изначально белки COPII-покрытия полимеризуются на мембране ER, концентрируют TANGO1, а затем TANGO1 образует вытянутый транспортер, внутри которого концентрируется проколлаген.

В составе транспортера в энтероците были найдены белки ароВ-48, SNARE-белки (VAMP7), CD36 и FABP печени (L-FABP) [29]. При этом белок L-FABP способен самостоятельно формировать транспортер (PCTV) без COPII-покрытия, однако такие «везикулы» не способны к слиянию с КГ [36, 37].

Мы не нашли морфологических подтверждений формирования «мегавезикул» для транспортировки ПреХМ ни на одном из срезов трансмиссионного электронного микроскопа, ни на срезах, полученных ЭМ-томографией, изолированных мегавезикул и почек, покрытых COPII и содержащих осмиофильное вещество. Поэтому, вероятнее всего, транспорт ПреХМ не требует белков COPII, в то время как второй кофактор необходим для слияния переносчика из ER с мембранами *цис*-Гольджи (Sar1b и Sec23 / 24) вместе с SNARE-белками – VAMP7, синтаксина 5, Bet1 и vti1a [5, 24].

Заключение

Таким образом, ключевую роль в сборке ПреХМ в ЭР играют фермент моноациогли-

церол-ацилтрансфераза, протеин ароВ-48 и белок-шаперон, микросомальный белок-переносчик триглицеридов. Многочисленные эксперименты доказывают обязательное участие в транспорте прехиломикрона из ЭР в КГ субъединиц COPII-покрытия, TANGO- и SNARE-белков. Нет экспериментальных доказательств образования COPII-покрытия, в том числе не найдены COPII-почки и мембранные переносчики, сформированные данным комплексом белков. Требуется морфологические доказательства переноса ПреХМ из ЭР в КГ особыми транспортными везикулами или «мега везикулами» с участием COPII-покрытия, как предполагает ряд авторов, или альтернативным механизмом транспорта.

Список литературы

1. Ralph A. Jersild Jr. A time sequence study of fat absorption in the rat jejunum. *The American journal of anatomy*. 1966. vol. 118. no. 1. P. 135–162.
2. Sabesin S.M., Frase S. Electron microscopic studies of the assembly, intracellular transport, and secretion of chylomicrons by rat intestine. *J. Lipid Res.* 1977. vol. 18. no. 4. P. 496–511.
3. Карелина Н.П. Резорбция липидов в кишечной ворсинке у новорожденных крыс // *Морфология*. 1996. № 2. С. 57.
4. Mironov A.A., Beznoussenko G.V., Sesorova I.S. Golgi's way: a long path toward the new paradigm of the intragolgi transport. *Histochemistry and Cell Biology*. 2013. vol. 140. no. 4. P. 383–393.
5. Siddiqi S.A., Gorelick F.S., Mahan J.T., Mansbach C.M. II. COPII proteins are required for Golgi fusion but not for endoplasmic reticulum budding of the pre-chylomicron transport vesicle. *J Cell Sci*. 2003 vol. 116. Pt. 2. P. 415–427.
6. Santos A.J.M., Nogueira C., Ortega Bellido M., Malhotra V. TAN GO1 and Mia2/cTAGE5 (TALI) cooperate to export bulky pre-chylomicrons/VLDLs from the endoplasmic reticulum. *J. Cell Biol.* 2016. vol. 213 no. 3. P. 343–354.
7. Pan X., Hussain M. M. Gut triglyceride production. *Biochim Biophys Acta*. 2012. vol. 1821. no. 5. P. 727–735.
8. Giammanco A, Cefalù A.B., Noto D, Averna M.R. The pathophysiology of intestinal lipoprotein production. *Front Physiol*. 2015. vol. 6. P. 1№. 10.
9. Chougule P., Herlenius G., Hernandez N.M., Patil P.B., Xu B., Sumitran-Holgersson S. Isolation and characterization of human primary enterocytes from small intestine using a novel method. *Scand J Gastroenterol*. 2012. vol. 47. no. 11. P. 1334 № 1343.
10. Сесорова И.С., Казакова Т.Е., Димов И.Д., Мионов А.А. Транспорт липидов через комплекс Гольджи в энтероците кишечной ворсинки // *Морфология*. 2019. Т. 155. № 2. С. 257.
11. Jin Y., McFie P.J., Banman S.L., Brandt C.J., Stone S.J. Diacylglycerol acyltransferase-2 (DGAT2) and monoacylglycerol acyltransferase-2 (MGAT2) interact to promote triacylglycerol synthesis. *J. Biol. Chem.* 2014. vol. 289. P. 28237–28248.
12. Cao J., Hawkins E., Brozinick J., Liu X., Zhang H., Burn P., Shi Y. A predominant role of acyl-CoA:monoacylglycerol acyltransferase-2 in dietary fat absorption implicated by tissue distribution, subcellular localization, and up-regulation by high fat diet. *J. Biol. Chem.* 2004. vol. 279. no. 18. P. 18878–18886.
13. Zhang J., Xu D., Nie J., Cao J., Zhai Y., Tong D., Shi Y. Monoacylglycerol acyltransferase-2 is a tetrameric

- enzyme that selectively heterodimerizes with diacylglycerol acyltransferase-1. *J. Biol. Chem.* 2014. Vol. 289. P.10909–10918.
14. Chon S.H., Zhou Y.X., Dixon J.L., Storch J. Intestinal monoacylglycerol metabolism: developmental and nutritional regulation of monoacylglycerol lipase and monoacylglycerol acyltransferase. *J. Biol. Chem.* 2007. vol. 282. no. 46. P. 33346–33357.
15. Mansbach C.M., Siddiqi S. Control of chylomicron export from the intestine. *Am. J. Physiol. Gastrointest Liver Physiol.* 2016. vol. 310. no. 9. P. 659–68.
16. Thiam A.R., Farese R.V. Jr., Walther T.C. The biophysics and cell biology of lipid droplets. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 2013. vol. 14. no. 12. P. 775–786.
17. Hussain M.M. Intestinal lipid absorption and lipoprotein formation. *Curr. Opin. Lipidol.* 2014. vol. 25. no. 3. P. 200–206.
18. Siddiqi S.A., Mansbach C.M. PKC zeta-mediated phosphorylation controls budding of the pre-chylomicron transport vesicle. *J. Cell. Sci.* 2008. vol. 121. no. 14. P. 2327–2338.
19. Siddiqi S., Saleem U., Abumrad N.A., Davidson N.O., Storch J., Siddiqi S.A., Mansbach C.M. A novel multiprotein complex is required to generate the prechylomicron transport vesicle from intestinal ER. *J. Lipid. Res.* 2010. vol. 51. no. 7. P. 1918–1928.
20. Cutrona M.B., Beznoussenko G.V., Fusella A., Martella O., Moral P., Mironov A.A. Silencing of the mammalian Sar1 isoforms reveals COPII-independent protein sorting and transport. *Traffic.* 2013. vol. 14. no. 6. P. 691–708.
21. Saito K., Chen M., Bard F., Chen S., Zhou H., Woodley D., Polischuk R., Schekman R., Malhotra V. TANGO1 facilitates cargo loading at endoplasmic reticulum exit sites. *Cell.* 2009. vol. 136. no. 5. P. 891–902.
22. Antony B., Gounon P., Schekman R., Orci L. (). Self-assembly of minimal COPII cages. *EMBO Rep.* 2003. vol. 4. no. 4. P. 419–424.
23. Bacia K., Futai E., Prinz S., Meister A., Daum S., Glatte D., Briggs J.A., Schekman R. Multibudded tubules formed by COPII on artificial liposomes. *Sci Rep.* 2011. vol. 1. no. 17. P. 1–15.
24. Black D.D. Development and physiological regulation of intestinal lipid absorption. I. Development of intestinal lipid absorption: cellular events in chylomicron assembly and secretion. *Am. J. Physiol. Gastrointest Liver Physiol.* 2007. vol. 293. no. 3. P. 519–524.
25. Tiwari S., Siddiqi S.A. Intracellular trafficking and secretion of VLDL. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 2012. vol. 32. no. 5. P. 1079–1086.
26. Siddiqi S., Mansbach C.M. Phosphorylation of Sar1b protein releases liver fatty acid-binding protein from multiprotein complex in intestinal cytosol enabling it to bind to endoplasmic reticulum (ER) and bud the pre-chylomicron transport vesicle. *J. Biol. Chem.* 2012. vol. 287. no. 13. P. 10178–10188.
27. Levy E., Harmel E., Laville M., Sanchez R., Emonnot L., Sinnett D., Ziv E., Delvin E., Couture P., Marcil V., Sane A.T. Expression of sar1b enhances chylomicron assembly and key components of the coat protein complex II system driving vesicle budding. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2011. vol. 31. no. 11. P. 2692–2699.
28. Xiao C., Stahel P., Lewis G.F. Regulation of Chylomicron Secretion: Focus on Post-Assembly Mechanisms. *Cell Mol Gastroenterol Hepatol.* 2019. vol. 7. no. 3. P. 487–501.
29. Malhotra V., Erlmann P., Nogueira C. Procollagen export from the endoplasmic reticulum. *Biochem Soc Trans.* 2015. vol. 40. 3 no. 1. P. 104–107.
30. Gorur A., Yuan L., Kenny S.J., Baba S., Xu K., Schekman R. COPII-coated membranes function as transport carriers of intracellular procollagen I. *J. Cell. Biol.* 2017. vol. 216. no. 6. P. 1745–1759.
31. Миронов А.А., Комиссарчик Я.Ю., Миронов В.А. Методы электронной микроскопии в биологии и медицине. Л.: Наука, 1994. 400 с.
32. Mironov A.A., Mironov A.A. Jr., Beznoussenko G.V., Trucco A., Lupetti P., Smith J.D., Geerts W.J., Koster A.J., Burger K.N., Martone M.E., Deerinck T.J., Ellisman M.H., Luini A. ER-to-Golgi carriers arise through direct en bloc protrusion and multistage maturation of specialized ER exit domains. *Dev. Cell.* 2003. vol. 5. no. 4. P. 583–594.
33. Jin L., Pahuja K.B., Wickliffe K.E., Gorur A., Baumgartel C., Schekman R., Rape M. Ubiquitin-dependent regulation of COPII coat size and function. *Nature.* 2012. vol. 482. no. 7386. P. 495–500.
34. Raote I., Ortega Bellido M., Pirozzi M., Zhang C., Melville D., Parashuraman S., Zimmermann T., Malhotra V. TANGO1 assembles into rings around COPII coats at ER exit sites. *J Cell Biol.* 2017. vol. 216. no. 4. P. 901–909.
35. Neeli I., Siddiqi S.A., Siddiqi S., Mahan J., Lagakos W.S., Binas B., Gheyi T., Storch J., Mansbach C.M. Liver fatty acid-binding protein initiates budding of pre-chylomicron transport vesicles from intestinal endoplasmic reticulum. *J. Biol. Chem.* 2007. vol. 282. No. 25. P. 17974–17984.
36. Gillon A.D., Latham C.F., Miller E.A. Vesicle-mediated ER export of proteins and lipids. *Biochim Biophys Acta.* 2012. vol. 1821. no. 8. P. 1040–1049.
37. Al-Ghadban S., Kaissi S., Homaidan F.R., Naim H.Y., El-Sabban M.E. (2016) Cross-talk between intestinal epithelial cells and immune cells in inflammatory bowel disease. *Sci Rep.* 2016 vol. 6. P. 29789.

СТАТЬИ

УДК 502:631.95

**РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ РАЦИОНАЛЬНОГО
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
СТЕПНЫХ И ЛЕСОСТЕПНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ
В XVIII–XXI ВВ.: ОПЫТ ПЕРИОДИЗАЦИИ**

Грошева О.А.

*Институт степи Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное
подразделение ОФИЦ УрО РАН, Оренбург, e-mail: Groshev06@yandex.ru*

Анализ истории развития научных представлений о рациональном землепользовании приобретает в настоящее время особую актуальность, являясь одним из приоритетных направлений агрономии и геоэкологии. Изучение трудов классиков агрономической науки во многом определяет развитие рационального землепользования в XXI в. Проведение анализа развития аграрной науки во взаимосвязи с государственными процессами обусловлено тем, что серьезные трансформации общественно-политической и социально-экономической жизни неизбежно отражались на характере землепользования и экологическом состоянии лесостепей и степей. В XXI в. лесостепь и степь как природные зоны, их биологическое, ландшафтное и почвенное разнообразие оказались на грани исчезновения. В целях разработки научной оптимизации природо- и землепользования стал особенно актуальным обстоятельный анализ научного наследия классиков отечественной агроэкологической науки. Выделено 4 этапа в развитии научных основ рационального землепользования в XVIII–XXI вв., отражающих объективную связь между уровнем и направленностью исследований и особенностями хозяйственной деятельности, социально-экономической и политической жизнью общества. Необходимо отметить, что периоды наибольшего внимания учёных к проблемам землепользования (конец XVIII в., конец XIX в., конец XX в.) связаны с возникающими социально-экономическими и экологическими кризисами. На основе анализа научных работ известных классиков агрономической науки и геоэкологии можно сделать вывод о необходимости консолидации учёных с целью разработки современной стратегии развития сельскохозяйственного производства и землепользования, предусматривающей экологическую оптимизацию агроэкосистем и агроландшафтов.

Ключевые слова: рациональное землепользование, степные и лесостепные регионы, экологические кризисы, периодизация, научное наследие, классики агрономической науки

**THE DEVELOPMENT OF THE SCIENTIFIC BASES
OF RATIONAL LAND USE AND THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT
OF THE STEPPE AND FOREST-STEPPE REGIONS OF RUSSIA
IN THE XVIII–XXI CENTURIES: EXPERIENCE OF PERIODIZATION**

Grosheva O.A.

*Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences OFRC UB RAS, Orenburg,
e-mail: Groshev06@yandex.ru*

An analysis of the history of the development of scientific ideas about rational land use is currently becoming particularly relevant, being one of the priority areas of agronomy and geoecology. The study of the works of the classics of agronomic science largely determines the development of rational land use in the 21st century. The analysis of the development of agricultural science in conjunction with state processes is due to the fact that serious transformations of socio-political and socio-economic life inevitably affected the nature of land use and the ecological condition of forest-steppes and steppes. In the 21st century, the forest-steppe and steppe as natural zones, their biological, landscape, and soil diversity were on the verge of extinction. In order to develop scientific optimization of nature and land use, a detailed analysis of the scientific heritage of the classics of domestic agroecological science has become especially relevant. There are 4 stages in the development of the scientific foundations of rational land use in the XVIII–XXI centuries, reflecting the objective relationship between the level and focus of research and the characteristics of economic activity, socio-economic and political life of society. It should be noted that the periods of the greatest attention of scientists to land use problems (the end of the 18th century, the end of the 19th century, the end of the 20th century) are associated with emerging socio-economic and environmental crises. Based on an analysis of the scientific works of famous classics of agronomic science and geoecology, it can be concluded that scientists need to be consolidated in order to develop a modern strategy for the development of agricultural production and land use, providing for environmental optimization of agroecosystems and agrolandscapes.

Keywords: rational land use, steppe and forest-steppe regions, environmental crises, periodization, scientific heritage, classics of agronomic science

Анализ истории развития научных представлений о рациональном землепользовании приобретает в настоящее время особую актуальность, являясь одним из приоритетных направлений агрономии и геоэкологии. Изучение трудов ученых-практиков

XVIII в. и представителей агрономической науки XIX–XX вв. во многом определяет развитие аграрной науки в XXI в.. Вместе с тем выяснение причин возникновения и эволюции научных идей и современных представлений о рациональном землеполь-

зовании аграрных регионов России дает новый материал для выявления закономерностей общего эволюционного развития науки и прогнозирования процессов взаимодействия природы и общества в будущем.

Проведение анализа развития аграрной науки во взаимосвязи с государственными процессами обусловлено тем, что серьезные трансформации общественно-политической и социально-экономической жизни неизбежно отражались на характере землепользования и экологическом состоянии лесостепей и степей. За достаточно непродолжительный исторический период с начала XVIII в. в основных земледельческих регионах России вследствие варварского отношения к природе утрачены многие виды растений и животных, виды почв, источники поверхностных вод, объекты, имеющие природное и историческое значение, как уникальные и редкие, так и зональные лесостепные и степные ландшафты. Поэтому в XXI в., когда лесостепь и степь как природные зоны, их биологическое, ландшафтное и почвенное разнообразие оказались на грани исчезновения, в целях разработки научных основ природоподобных технологий и оптимизации природо- и землепользования стал особенно актуальным обстоятельный ретроспективный анализ научного наследия классиков отечественной агроэкологической науки.

Цель исследования: анализ развития научных основ рационального ведения сельского хозяйства, создания и внедрения технологий неразрушительного землепользования в трудах отечественных учёных на протяжении XVIII – начала XXI вв.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили опубликованные научные работы отечественных естествоиспытателей XVIII–XIX вв., а также современные источники, посвящённые рассматриваемому вопросу. Анализ развития научных основ рационального землепользования и устойчивого развития аграрных регионов России проведён на основе сравнительно-исторического метода.

Результаты исследования и их обсуждение

История исследований, направленных на разработку и развитие стратегий рационального природопользования и устойчивого развития степных и лесостепных регионов России, тесным образом связана с сельскохозяйственным освоением земель и обострением экологических кризисов. Сравнительно-исторический анализ научных трудов

классиков отечественного земледелия позволяет выделить четыре основных этапа в развитии научных основ рационального землепользования в XVIII–XXI вв., отражающих объективную связь между уровнем и направленностью исследований и особенностями хозяйственной деятельности, социально-экономической и политической жизнью общества и государства.

Характеристика I этапа (начало XVIII в. – первая половина XIX в.):

– *особенности социально-политического и экономического развития*: 1. Развитие мануфактурной промышленности и формирование единого рынка в России. 2. Расширение территории Российской империи (Казхстан, Причерноморье и Предкавказье). 3. Перепроизводство и экспорт продукции сельскохозяйственного производства.

– *особенности хозяйственной деятельности*: 1. Активная земледельческая колонизация европейских степей (Центральное Черноземье, Северное Причерноморье, Предкавказье, Поволжье, Южный Урал). 2. Господство переложной и паровой систем земледелия. 3. Увеличение нагрузки на пастбища. 4. Широкое распространение сенокосения;

– *особенности экологического состояния степных ландшафтов*: 1. Увеличение степени распаханности с 10 до 25–30% от площади современной пашни. 2. Значительное возрастание пастбищных нагрузок. 3. Уменьшение мощности степного войлока и изменение видового состава растительности. 4. Интенсификация процессов водной эрозии, дефляции почв и оврагообразования;

– *особенности исследований по оптимизации степного землепользования*: 1. Рост заинтересованности передового русского дворянства первой половины XVIII в. в оптимизации сельского хозяйства и повышении его доходности, разработка инструкций о ведении помещичьего и крестьянского хозяйств с рекомендациями по улучшению хлебопашества, скотоводства и садоводства («Инструкции» А.П. Волынского (1725), Н.Г. Строганова (1725), В.Н. Татищева (1742) и др.). 2. Объединение значительной части исследований в крупных научных центрах – Петербургской академии наук (1724), Вольном экономическом обществе (1765) и Русском Географическом обществе (1845), сыгравшие важную роль в развитии отечественного земледелия. 3. Появление специализированных агрономических периодических изданий («Труды Императорского Вольного экономического общества» (1766–1915), «Сельский житель» (1778–1779), «Экономический

магазин» (1780–1789), «Земледельческая газета» (1834–1905; 1913–1917) и др.). 4. Начало опытного земледелия в России (М.И. Афонин, А.Т. Болотов, И.М. Комов, М.Г. Павлов и др.). 5. Формирование основ неразрушительного степного землепользования в научных трудах М.И. Афолина, А.Т. Болотова, И.М. Комова, М.Г. Павлова, М.Е. Ливанова, Я.А. Линовского, С.М. Усова и др. учёных-практиков [1].

Характеристика II этапа (вторая половина XIX в. – первая половина XX в.):

– *особенности социально-политического и экономического развития*: 1. Аграрная реформа 1861 г. 2. Формирование промышленного капитализма в России. 3. Торгово-промышленный характер земледельческого хозяйства, что определило зерновое направление сельхозпроизводства. 4. Кризис степного природопользования (1890-е гг.), вызванный процессами аридизации климата (периодически повторяющиеся засухи), земледельческим освоением (применение несовершенных орудий обработки почв, распашка склонов). 5. Столыпинская аграрная реформа (1906–1916 г.). 6. Революции (1905–1907 г. и 1917 г.), Мировая (1914–1917 г.), Гражданская (1917–1922 г.) и Отечественная (1941–1945 г.) войны, репрессии 1930–1950-х гг., породившие разруху и голод, фактически уничтожившие генетику, селекцию, сельскохозяйственную экономику. 7. Реализация «Сталинского плана преобразования природы» (1948–1953);

– *особенности хозяйственной деятельности*: 1. Завершение освоения европейских степей и широкая колонизация степных территорий Сибири. 2. Замена переложной и паровой систем земледелия на многопольные плодосменные севообороты. 3. Массовая вырубка и выжигание лесной растительности. 4. Сплошная коллективизация с организацией колхозов, совхозов и МТС. Интенсификация сельскохозяйственного производства (механизация и электрификация, применение минеральных удобрений). 5. Разработка и внедрение травопольной системы земледелия;

– *особенности экологического состояния степных ландшафтов*: 1. Аридизация климата степной зоны, вызванная природными и антропогенными факторами. 2. Истощение земельных ресурсов. 3. Значительные потери органического вещества и биофильных элементов в почвах. 4. Значительное уменьшение облесенности;

– *особенности исследований по оптимизации степного землепользования*: 1. Дифференциация агрономической науки (развитие почвоведения, агрохимии, луговодства, семеноводства и т.д.). 2. Создание в 1929 г.

Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина (ВАСХНИЛ), ставшей центром формирования агрономической науки в стране. 3. Организация сети научно-исследовательских институтов сельского хозяйства, опытных станций. 4. Рост активности теоретических и практических исследований, направленных на развитие рациональных основ использования биологических и земельных ресурсов (А.В. Советов, А.С. Ермолов, А.Н. Энгельгардт, И.А. Стебут, В.В. Докучаев, П.А. Костычев, В.Р. Вильямс, Д.Н. Прянишников, К.А. Тимирязев, А.Г. Дояренко, Л.Г. Раменский). 5. Анализ кризиса степного природопользования представителями географической школы В.В. Докучаева и его последователями: Н.М. Сибирцевым, К.Д. Глинкой, Г.Н. Высоцким, Г.Ф. Морозовым, М.К. Турским, А.А. Измайльским, Н.А. Димо, Л.И. Прасоловым, С.С. Неуструевым, Б.Б. Полюновым и др. Первый план оптимизации степного природопользования В.В. Докучаева (1892) [2, 3]. Развитие ландшафтно-экологического земледелия (И.Е. Овсинский, Н.М. Тулайков). 6. Формирование к 1930-м г. микробиологии почв как самостоятельного раздела почвоведения (С.А. Севергин, В.Л. Омелянский, Н.Г. Холодный, С.П. Костычев, Д.М. Новгородский, Н.Н. Худяков и др.). 7. Мировое признание к началу 1930-х гг. русской генетической школы во главе с Н.И. Вавиловым, заложившей основы выведения устойчивых сортов растений. 8. Разработка и внедрение травопольной системы земледелия (В.Р. Вильямс) 9. Формирование основ биосферной идеологии природопользования и принципов земледелия на ландшафтной основе (В.В. Докучаев, В.И. Вернадский).

Характеристика III этапа (середина XX в. – начало 90-х г. XX в.):

– *особенности социально-политического и экономического развития*: 1. Утверждение природопокорительной идеологии в середине XX столетия. Освоение целинных и залежных земель степной зоны Заволжья, Южного Урала, Казахстана и Южной Сибири (1954–1963). 2. Интенсивное развитие добывающей и перерабатывающей промышленности. 3. Административно-командная система управления экономикой, слабость материальной базы, нарастание социальных противоречий (начало 1950-х – конец 1980-х г.);

– *особенности хозяйственной деятельности*: 1. Практически полная распашка азиатских степей бывшего СССР (на площади более 42 млн га). 2. Ликвидация отгонного пастбищного животноводства. 3. Интенсивное использование земель в сельском хозяйстве и отведение земель

под промышленное и городское строительство, транспортные коммуникации. 4. Экстенсивный характер сельскохозяйственно-производства;

– *особенности экологического состояния степных ландшафтов*: 1. Степной тип растительности на зональных полнопрофильных почвах стал самым редким в СССР. 2. Деграция растительности вследствие перевыпаса. 3. Значительное сокращение пойменных и байрачных лесов. 4. Степные экосистемы потеряли способность к саморегуляции и самовосстановлению. 5. Нарушение гидрологического режима малых рек;

– *особенности исследований по оптимизации степного землепользования*:

1. Развитие в ведущих географических центрах ландшафтно-экологического подхода к организации сельскохозяйственного природопользования (В.Б. Сочава, А.Г. Исаченко, Ф.Н. Мильков, В.А. Анучин, А.В. Ларин, В.С. Преображенский, В.А. Николаев и др.). 2. Расширение сети экспериментальных станций в земледелии. 3. Преодоление застоя в сельскохозяйственном производстве. Формирование новых представлений об обработке почв и регулировании их плодородия (Т.С. Мальцев). Безотвальная обработка почвы стала важнейшим агротехническим приёмом, что позволяло защитить почву от эрозии, повысить устойчивость земледелия. 4. Создание в 1957 г. Казахского (впоследствии Всесоюзного) НИИ зернового хозяйства во главе с А.И. Бараевым. Формирование системного подхода к решению проблем «сухого» земледелия от подбора культур и сортов, технологий их возделывания до создания оптимальной структуры земледелия. Разработка почвозащитной системы земледелия. Создание отечественной противозерозионной техники на глубокой научной основе (первые плоскорезы, стерневые сеялки). Расширение полевого экспериментирования и развитие новой методологии опытного дела. 5. Организация исследований (1970-е гг.) по разработке контурно-мелиоративных (А.Н. Каштанов) и адаптивно-ландшафтных (В.И. Кирюшин) систем земледелия [4]. 6. Разработка региональными НИИСХ зональных систем земледелия и их внедрение в практику с.-х. производства в начале 1980-х гг. 7. Организация работ коллективов учёных под руководством академиков И.С. Шатилова, А.И. Бараева, М.С. Кузнецова, А.Н. Каштанова, В.И. Кирюшина и др. по борьбе с дефляцией, плоскостной и линейной эрозией. 8. Разработка региональных программ по сохранению биоразнообразия степей и рациональному использованию

природных ресурсов (А.С. Хоментовский, А.А. Чибилёв) [5].

Характеристика IV этапа (начало 1990-х гг. – по настоящее время):

– *особенности социально-политического и экономического развития*: 1. Эколого-экономический кризис 1990-х г. сменился подъёмом, в том числе и в сельскохозяйственном производстве, в целом за счёт оказания крестьянам господдержки и налаживания системы агрострахования и кредитования, привлечение инвестиций. 2. Вступление России во Всемирную торговую организацию (2012). Принятие стратегии устойчивого развития сельских территорий до 2030 г. (2015) и разработка Проекта концепции устойчивого развития мясного скотоводства в Российской Федерации на период до 2030 г. (2017). 3. Завершение Земельной реформы (передача земли из государственной собственности в частную), проводимой без должного экологического сопровождения на государственном уровне. 4. Низкий контроль за использованием земель сельскохозяйственного назначения, за состоянием естественных островных лесов (колков) и защитных лесных полос;

– *особенности хозяйственной деятельности*: 1. Переход от государственного регулирования сельскохозяйственного производства к многоукладности сельского хозяйства (от крупных агрохолдингов до мелких крестьянско-фермерских хозяйств). 2. Рыночная и экспортная ориентация в производстве зерновых, пропашных культур. 3. Рост площади залежей и снижение пастбищных нагрузок. Повсеместное прекращение пастбищеоборотов, полевые севообороты сведены до примитивных форм;

– *особенности экологического состояния степных ландшафтов*: 1. Нарастание, с начала 1990-х г., процессов самовосстановления степей. 2. Расширение сети особо охраняемых природных территорий различного ранга, охраняющие степные экосистемы (в том числе реализация проектов реинтродукции, в частности, лошади Пржевальского);

– *особенности исследований по оптимизации степного землепользования*:

1. Активизация научных разработок академической и отраслевой науки по вопросам экологизации степного природопользования, устойчивости ландшафта к сельскохозяйственному воздействию (А.А. Чибилёв, А.А. Тишков, Б.И. Кочуров, С.В. Левыкин, Л.Л. Шишов, И.И. Карманов, М.С. Дзыбов и др.) [5, 6]. 2. Внедрение ландшафтно-экологических (А.Н. Каштанов) и ландшафтно-адаптивных (В.И. Кирюшин, А.Л. Иванов, А.Т. Волощук) систем земледелия [4].

3. Качественно новый уровень проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) на основе реализации системы агроэкологической оценки земель и агрогеоинформационных систем (АгроГИС). Разработка цифровых карт почвенного плодородия в целях устойчивого развития и рационального использования черноземов (И.Ю. Савин, А.Я. Воронин, Д.Л. Голованов и др. – Почвенный институт им. В.В. Докучаева). 4. Развитие учения об эколого-генетических функциях почв в биосфере (Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин). Создание Красной книги почв Российской Федерации (2009) (Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин, С.А. Шоба, Б.Ф. Апарин, А.Х. Мукатанов, А.И. Климентьев, Л.Н. Ташнинова и др.). 5. Формирование комплекса природоподобных ресурсосберегающих агротехнологий как элемента рационального степного природопользования и формирования устойчивости агроландшафтов. Развитие концепций оптимального степного землепользования на Международных степных форумах в Оренбурге (А.А. Чибилёв, С.В. Левыкин, А.А. Тишков, Д.С. Булгаков, Г.С. Куст, И.А. Трофимов и др.).

Выводы

Проведённая периодизация развития агроэкологической науки, основанная на характеристике отличительных особенностей и качественных преобразований в социально-экономическом, политическом и хозяйственном развитии общества, показывает, что периоды наибольшего внимания учёных к проблемам землепользования (конец XVIII в., конец XIX в., конец XX в.) связаны в первую очередь с возникающими социально-экономическими и экологическими кризисами.

Кризис землепользования конца XIX в. предопределил появление плеяды учёных: В.В. Докучаева и его школы, А.В. Советова, И.А. Стебута, П.А. Костычева и многих других, научная деятельность которых позволила поднять агрономическую науку на качественно новый уровень. На проявление очередного кризиса аграрного землепользования, вызванного освоением целинных и залежных земель (1954–1963 г.) и экстенсивным ведением сельского хозяйства, учёные ответили разработкой ландшафтно-

экологического подхода к ведению сельскохозяйственного производства, созданием почвозащитных и адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Земледельческий кризис 1990-х гг. становится пусковым механизмом новой активизации исследований академической и отраслевой науки по вопросам экологизации степного природопользования и создания природоподобных технологий, развития учения об эколого-генетических функциях почв в биосфере.

На основе анализа научных работ известных учёных-аграриев и степеведов можно сделать вывод о необходимости консолидации учёных с целью разработки стратегии новационного развития сельскохозяйственного производства и землепользования, предусматривающего экологическую оптимизацию агроэкоосистем и агроландшафтов, реализации приёмов и методов воспроизведения основных характеристик природных экосистем. Такой подход на современном этапе рассматривается как оптимальный вектор исследований по восстановлению биологического разнообразия и экологического равновесия в ландшафтах.

Статья подготовлена по теме НИР Института степи УрО РАН: «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природной и антропогенных изменений окружающей среды», № ГР АААА-А17-117012610022-5.

Список литературы

1. Компанеев М.Н. Учёные-агрономы России. (Из истории агрономической науки). М.: Колос, 1971. 184 с.
2. Иванов А.Л. Докучаевское почвоведение. Единство теории и практического приложения. Противоречия. Есть ли они? (к 170-летию В.В. Докучаева) // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2016. Вып. 85. С. 150–173.
3. Левыкин С.В., Казачков Г.В., Яковлев И.Г., Грудинин Д.А., Норейка С.Ю. В.В. Докучаев и план преобразования природы степей: идейное и практическое наследие, перспективы развития // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (72). С. 8–11.
4. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: КолосС, 2011. 443 с.
5. Чибилёв А.А. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Свердловск: УрО АН СССР, 1992. 172 с.
6. Чибилёв А.А., Левыкин С.В., Казачков Г.В. Степное землепользование и перспективы его модернизации в современных условиях // Вызовы XXI века: природа, общество, пространство. Ответ географов стран СНГ. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 337 с.

УДК 550.83

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ПЕРИФЕРИИ КУРГАНА ТУННУГ-1

¹Едемский Д.Е., ¹Попов А.В., ¹Прокопович И.В., ²Садыков Т.Р.,
²Блохин Е.К., ^{3,4}Каспари Дж.

¹ФГБУН «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова» РАН, Троицк, e-mail: deedemsky@gmail.com;

²ФГБУН «Институт истории материальной культуры» РАН, Санкт-Петербург, e-mail: tim.sadykov@gmail.com;

³Институт археологических исследований Бернского университета, Берн, e-mail: gino.caspari@iaw.unibe.ch;

⁴Департамент археологии Сиднейского университета, Сидней

В статье приведено обоснование и результаты применения комплекса геофизических методов, в частности магнитометрического метода и георадиолокации для обследования сложной ритуальной и погребальной архитектуры раннескифского кургана Туннуг-1, расположенного в долине реки Уюк, Республика Тыва. Общая площадь геофизического обследования составила более 12000 м². Результаты исследований показали, что применение двух геофизических методов, работающих на разных физических принципах, дает достоверное и целостное представление о строении такого сложного захоронения, как раннескифский курган. Георадиолокация позволяет регистрировать отражения от радиоcontrastных границ раздела сред, слоев или объектов с разной проводимостью и диэлектрической проницаемостью, а строительный материал каменных структур памятника обладает разной магнитной восприимчивостью с вмещающей средой, что позволяет магнитометрии надежно локализовать данные археологические объекты. Площадные георадиолокационные и магнитометрические исследования взаимно дополняют друг друга и увеличивают достоверность детального геофизического обследования сложных археологических памятников в непростой, слабо дренированной, заболоченной местности и при наличии многолетних мерзлых грунтов с неравномерной глубиной их оттаивания. Результаты геофизических работ выявили места размещения археологических объектов, что позволит более эффективно и обоснованно выбирать участки для проведения раскопок.

Ключевые слова: магнитная съемка, магнитометр, георадиолокация, георадар, археология, Туннуг, раннескифский курган

APPLICATION OF GEOPHYSICAL METHODS TO THE TUNNUG-1 MOUND PERIPHERAL SURVEY

¹Edemskiy D.E., ¹Popov A.V., ¹Prokopovich I.V., ²Sadykov T.R.,
²Blokhin E.K., ^{3,4}Kaspari Dzh.

¹Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, RAS, Troitsk, e-mail: deedemsky@gmail.com;

²Institute for the History of Material Culture, RAS, St. Petersburg, e-mail: tim.sadykov@gmail.com;

³Institute for Archaeological Sciences, University of Bern, Bern, e-mail: gino.caspari@iaw.unibe.ch;

⁴Department of Archaeology, University of Sydney, Sydney

The article presents the results of applying different geophysical approaches, in particular, magnetometry and ground penetrating radar (GPR) to study complex ritual and funeral architecture of the early Scythian mound Tunnug-1 located in the Uyuk river valley, the Republic of Tuva. The total area of the geophysical survey was more than 12 000 m². The results of the survey show that the use of two geophysical methods, with different physical principles, gives a reliable and full view of the structure of such a complex burial as an early Scythian mound. GPR probing allows recording reflections from radio-contrast interfaces of media, layers or objects with different conductivity and dielectric permittivity. The building material of the stone structures of the monument has a different magnetic susceptibility with the surrounding medium, which allows magnetometry to reliably localize these archaeological objects. GPR and magnetometric areal measurements complement each other and increase the reliability of a detailed geophysical study of complicated archaeological objects in difficult, poorly drained, swampy areas and in the presence of permafrost with unequal depth of thawing. The results of geophysical work revealed the location of archaeological sites, which will allow more efficient and justified select of sites for excavation.

Keywords: magnetic survey, magnetometer, GPR, georadar, archeology, Tunnug, Early Scythian mound

Курган Туннуг-1 (рис. 1) расположен в болоте долины реки Уюк, Республика Тыва. Конструкция этой скифской гробницы похожа на самый ранний идентифицированный скифский курган Аржан-1 [1], имеет правильную круглую форму диаметром

более ста метров, высота над современной поверхностью – чуть более метра. Туннуг-1 относится к древнейшему скифскому культурному горизонту и потенциально предшествует Аржану-1. Курган нужно рассматривать как сложный археологический

памятник, состоящий из самого кургана и прилегающих к нему сооружений и территорий – так называемой периферии кургана. Объектами периферии большого кургана могут являться рвы, валы, жертвенные комплексы, ритуальные дороги, каменные площадки и каменные кольца, опоясывающие курган [2].

Такие сложные археологические объекты, как курган и его периферия, разнообразны по составу, структуре и, как следствие, обладают различными электрическими, магнитными, гидрогеологическими, литологическими характеристиками. Исходя из этого, для получения наиболее полных и объективных результатов исследования вполне обоснованным является применение комплексного подхода, при котором различные геофизические методы совместно используются [3, 4] для зондирования подповерхностной среды и изучения археологического памятника.

Длительное время изучению периферии курганов придавалось минимальное значение. Но именно здесь могут встречаться следы поминальной тризны, выраженные кострищами, вымостками, культовыми площадками и ритуальными подзахоронениями как людей, так и животных, содержащие большое разнообразие сопровождающего инвентаря. Все эти конструкции и объекты являются свидетельствами религиозно-культурной практики погребально-поминального цикла древних кочевников, фиксация и исследование которых могут внести значительный вклад в вопросы интерпретации мировоззрения населения скифского мира. Следует отметить, что территория в непосредственной близости к кургану использовалась как место культовых мероприятий и ритуальных подзахоронений племенами, проживающими в данной местности и в более поздние времена.

Методы и условия проведения измерений

Одним из возможных способов исследований периферии кургана является применение геофизических методов, в частности магнитометрического метода [5], основанного на выявлении аномалий (в непосредственной близости от археологических объектов) в магнитном поле земли путем измерения вектора магнитной индукции (модуля либо составляющих этого вектора). Физическими причинами появления аномалий магнитного поля над археологическими объектами являются повышение или понижение магнитных свойств археологических объектов по сравнению с вмещающей их природной средой. Другим возможным к применению геофизическим методом является георадиолокация – эффективный метод инженерно-геотехнического обследования грунтов на глубинах от нескольких сантиметров до десятков метров. Принцип действия георадаров основан на излучении сверхширокополосных электромагнитных импульсов в подстилающую среду и регистрации отражений от радиоконтрастных границ раздела сред, слоев или объектов с разной проводимостью и диэлектрической проницаемостью.

Для проведения обследования вокруг кургана с учетом мозаичности археологических раскопов обследуемая территория была разбита на пятнадцать участков размерами от 8×16 до 40×48 м так, чтобы охватить всю площадь периферии кургана (рис. 2, 4), где возможно размещение объектов религиозно-культурной практики кочевников [6, 7]. В южной части памятника участки № 1–3, а с восточной и западной сторон участки № 13–15 примыкают к основному раскопу 2018 г. Работы по обследованию периферии кургана были проведены в период с 08.05.2019 г. по 25.05.2019 г. Общая площадь геофизического обследования составила более 12000 м².



Рис. 1. Аэрофотоснимок кургана Туннуг-1

Магнитометрия

При магнитометрическом обследовании объектов чаще всего используют протонные или квантовые магнитометры, именно эти приборы обладают наибольшей чувствительностью и точностью при измерении модуля вектора магнитной индукции. Магнитометрическое картирование Туннуг-1 выполнялось с использованием протонного магнитометра МИНИМАГ. Этот прибор является одним из наиболее чувствительных и точных в настоящее время и используется как в научных, так и археолого-геофизических исследованиях с 2006 г. К преимуществам данного прибора можно отнести высокую надежность, стабильность и высокую чувствительность. Конструкция прибора позволяет выполнять съемку в движении и обеспечить расстояние от датчика до поверхности земли 0,3–0,4 м.

Для компенсации краткосрочных и суточных вариаций магнитного поля земли в результатах измерений был применен базовый магнитометр, установленный в непосредственной близости от объекта. Работам на объекте была оказана методическая поддержка со стороны Центра прогнозов космической погоды ИЗМИРАН в части прогноза магнитной активности и предупреждения возникновения магнитных бурь, в период которых проведение измерений нецелесообразно.

Георадиолокация

В данных исследованиях применялся георадар повышенной мощности серии «Лоза» [8]. Применение антенной системы с центральной частотой 300 МГц обеспечило эффективное зондирование на глубинах от десятков сантиметров до 2–3 м.

При обработке и интерпретации полученных данных основное внимание было уделено выделению слоев и их границ, приведению радарограммы к истинному масштабу глубин с учетом скорости распространения сигнала в среде. Слои георадарного разреза выделялись с помощью процедуры разграничения максимумов и минимумов сигнала, выделения осей синфазности сигнала и их анализа, представления разреза как в линейном режиме, так и в режиме производной функции амплитуды сигнала – процедур, реализованных в применяемом программном обеспечении «Крот» [8].

Для правильной интерпретации полученных радиолокационных профилей и восстановления по ним геологических структур на характерных участках периферии кургана было проведено зондирование по методу общей глубинной точки (ОГТ) [9], позволя-

ющему определить скорость электромагнитных волн в среде и пересчитать георадарный разрез из масштаба времен в масштаб глубин без привлечения априорной информации.

Результаты исследования и их обсуждение

Геомагнитная площадная съемка

Участки для обследования были размечены с четкой привязкой к топографическому плану и с учетом передвижения оператора по параллельным профилям, проложенным в направлении с юга на север. Пространственная привязка пикетов выполнялась оператором вручную через 0,25 или 0,5 м. Длина профиля определялась размерами участка и варьировалась в пределах от 8 до 40 м. Расстояние между профилями составляло 0,5 м.

После обработки полученной информации была построена карта магнитного поля обследованных участков (рис. 2). Карта магнитной съемки кургана характеризуется неравномерным расположением локальных неоднородностей, со значениями магнитного поля от долей нТл до сотен нТл относительно фона (60300 нТл). Такая неоднородная картина связана с неравномерным распределением каменных структур вокруг кургана, а также с неравномерной магнитной восприимчивостью отдельных камней, формирующих данные структуры. Проведенный анализ отдельных образцов показал, что большая часть камней, обследованных на раскопе, обладает слишком низкой магнитной восприимчивостью для уверенной их регистрации в процессе съемки, а количество помех, связанных с присутствием в грунте черного металла, минимально.

На магнитограмме участков, вытянутых вдоль северного и восточного края кургана, отчетливо фиксируется каменное кольцо в виде прерывистой полосы вытянутых аномалий. Данная структура наблюдается от участков № 3, № 4 до участка № 10, кольцо располагается на расстоянии 12–16 м от вала, опоясывающего курган.

На юге кургана можно выделить участки № 1–3, на которых отчетливо фиксируются локальные каменные структуры диаметром 8–10 м, некоторые из которых частично попадают на раскопы. Отдельные каменные структуры расположены достаточно близко друг к другу, образуя единый объект. На участках от № 6 до № 10 включительно, за пределами каменного кольца ярко выраженных магнитных аномалий не зарегистрировано. На участках № 13–15 результаты магнитометрических исследований каменных структур не выявили.

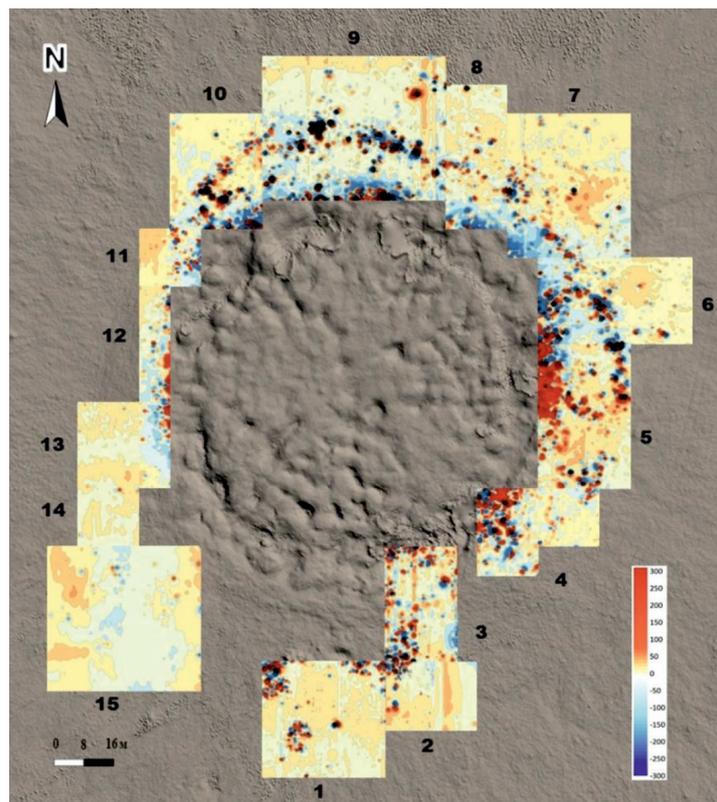


Рис. 2. Магнитная карта периферии кургана: 1–15 – геофизические участки с результатами магнитной съемки

Следует отметить, что особенностью данной экспедиции является привлечение сразу двух независимых магнитометрических исследований, затрагивающих одни и те же участки – результаты параллельной магнитометрической съемки изложены в работе [3]. Полученные нами данные и результаты работы [3] близки и отражают основные особенности периферии погребального комплекса, они довольно интересны с методологической точки зрения, так как работы проводились на отличающихся по конструкции приборах, а для обработки и представления итоговых результатов использовались различные подходы.

Георадиолокационная площадная съемка

Георадарное обследование периферии кургана проводилось методом площадной съемки; выбранный участок разбивался на ряд параллельных профилей, разнесенных на 0,5 м, с фиксированным шагом измерений 0,25 м вдоль профиля.

На основании полученных данных строилась трехмерная модель (3D) участка. На рис. 3 приведен пример 3D модели одного из 15 обследованных участков, которая позволяет анализировать объемное строение

участка послойно; для анализа можно использовать как горизонтальные OXY , так и вертикальные X_1, Y_1 разрезы.

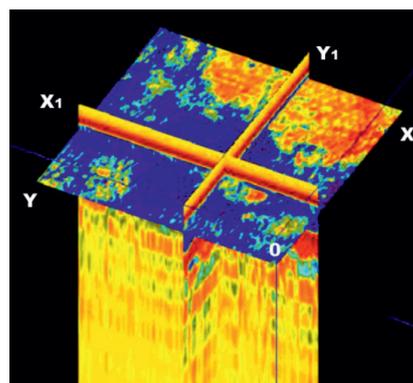


Рис. 3. 3D модель участка № 1

По результатам георадарного зондирования участков сформирована единая 3D модель периферии кургана. Разрез в плоскости X_1Y_1 для 3D георадарной модели периферии кургана по уровню 15 нс ($\sim 0,5$ м) представлен на рис. 4. Цветом выделена амплитуда отраженного зондирующего сиг-

нала от локальных объектов, неоднородностей и границ раздела отдельных слоев почвенно-грунтовой толщи. Анализ 3D модели и отдельных радарограмм позволяет локализовать места размещения неоднородностей, их геометрические размеры и глубину залегания в подповерхностной среде.

Анализ радарограмм более сложен по сравнению с магнитометрическими данными, так как георадар не только фиксирует отражение от локальных радиоконтрастных объектов, привнесенных в зондируемую среду, но и от всех радиоконтрастных неоднородностей среды, вызванных изменением структуры подстилающей поверхности, влажности отдельных слоев, уровня промерзания грунта и т.д.

На юге кургана, на участке № 1 и на границе участков № 2 и № 3, без проведения дополнительной обработки можно выделить локальные аномалии диаметром 8–10 м, которые по месту размещения совпадают с выявленными на магнитограммах объектами. На участках, расположенных на севере и востоке периферии кургана, устойчиво фиксируется аномалия в виде полосы шириной до 8 м, расположенной на расстоянии до 10–12 м от вала, опоясывающего курган.

Данная структура фиксируется на участках № 8 – № 13. Результаты зондирования также содержат информацию о геологическом строении подповерхностной среды вокруг памятника, позволяют выделить зоны с нарушением субгоризонтальной слоистости среды, локализовать зоны повышенной влажности, зоны оттаивания мерзлых грунтов.

Среда обследования

Подстилающая среда обследуемого объекта представляет собой почвенно-грунтовую толщу, имеющую субгоризонтальную структуру (рис. 5), состоящую из современного гумусового горизонта, однородного серо-желтого суглинистого горизонта почвообразующей породы, маломощной погребенной лугово-аллювиальной почвы и толщи чередующихся прослоев песка и суглинка с хорошо выраженным прослоем ожелезненного тонкозернистого песка на глубине около 0,8 м, ниже которого расположен слой, содержащий в себе большое количество включений щебня и дресвы (русловой аллювий) [6, 10]. Подстилающая среда памятника в естественном состоянии не содержит вмещающих объектов в виде каменных структур или отдельных камней.

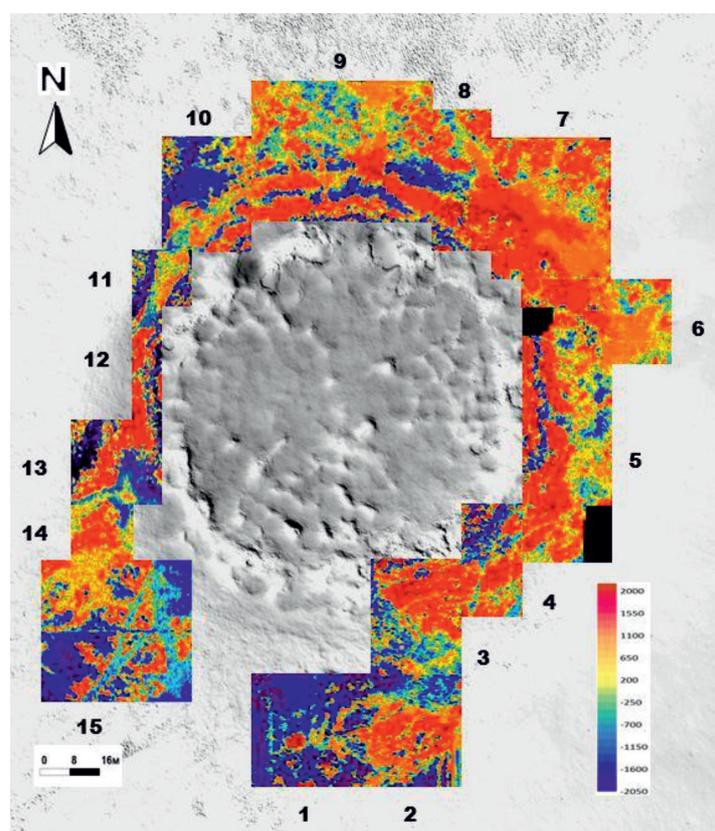


Рис. 4. Результаты георадарного зондирования. Горизонтальный срез на отметке 15 нс (~0,5 м): 1–15 – геофизические участки с результатами георадарного зондирования



Рис. 5. Геологический разрез, раскоп. Современный почвообразующий слой удален

На радиообраз субгоризонтальной структуры подстилающей поверхности оказывает влияние неравномерность влагонасыщенности грунта. Изменение характера слоистости подстилающей поверхности (рис. 6) происходит из-за естественного неравномерного оттаивания почвы в зависимости от состояния травяного покрова (1), (2) или в результате воздействия человека на растительный покров – вытаптывание травы (тропинка), уплотнение почвы и, как следствие, ускоренное оттаивание мерзлой поверхности земли (3).

На территории периферии кургана на момент проведения измерений (май 2019 г.) глубина оттаивания грунта зависела от состояния травяного покрова. В местах с густым сухим травяным покровом глубина оттаивания составляла 0,1–0,15 м, с менее густым покровом и на южной стороне кургана глубина оттаивания составляла 0,2–0,35 м, а в местах, лишенных термоизолирующего покрова из сухой травы глубина

оттаивания была более 0,5 м. Наибольшая увлажненность почвы наблюдалась в местах с большой глубиной оттаивания. По результатам проведенного зондирования по методу ОГТ радиолокационная скорость (в два раза выше скорости радиоволны в среде) зондирующего сигнала в оттаявшем влагонасыщенном грунте, составляет около 4 см/нс, тогда как в более сухих местах эта скорость достигает 6,4–9,6 см/нс.

Выделение объектов

Подтверждением наличия объектов на георадарных профилях при субгоризонтальной структуре подстилающей поверхности являются радиофизические признаки – нарушение осей синфазности, особенности формы сигнала, многочисленные сдвиги по фазе сигнала и наличие кратных переотражений сигнала. Площадные горизонтальные разрезы в плоскости XY позволяют локализовать объекты в плане по характерным признакам (размеры, форма, глубина залегания), а георадарные профили (плоскость ХТ) позволяют, опираясь на радиолокационные признаки, выявлять объекты, определять их размеры, особенности строения и уточнять природу аномалии.

На аэрофотоснимок, рис. 7.1, южной части периферии кургана наложен георадарный разрез 3D модели участка № 1 на отметке 16 нс (~0,5 м). На разрезе четко просматриваются две аномалии (выделены пунктиром). Одна из них расположена на стыке участка с раскопом и является продолжением уже вскрытой каменной насыпи, а вторая диаметром ~8 м располагается в середине участка и предположительно является конструктивной основой захоронения, выложенного из камня.

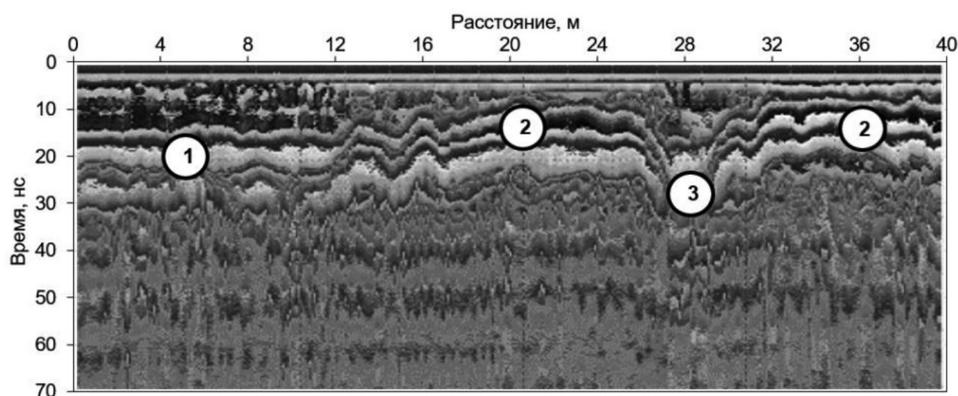


Рис. 6. Участок № 15, георадарный профиль с субгоризонтальной структурой подстилающей поверхности: 1 – зона с регулярной структурой повышенной влажности, с глубиной оттаивания более 0,5 м; 2 – зона с регулярной структурой малой увлажненности и малой глубиной оттаивания; 3 – тропа, оттаявший уплотненный грунт с повышенной влажностью

При смещении горизонтального разреза XY на 3D георадарной модели на отметку 21 нс (~0,7 м), рис. 7.2, в середине разреза фиксируется еще один объект, более контрастный, чем каменная насыпь, и имеющий выраженную прямоугольную форму, который предположительно является захоронением. В восточной части участка № 1 глубина оттаивания мерзлых грунтов выше, чем на остальном участке, из-за густого травяного покрова и составляет ~0,5 м, что зафиксировано на георадарном разрезе в виде увеличения амплитуды отраженного от этой границы зондирующего сигнала (красный, желтый цвет). На горизонтальном разрезе 3D модели, отметка 27 нс (~1,0 м), рис. 7.3, в центре участка уже одновременно наблюдаются два объекта, расположенные в непосредственной близости друг к другу и ориентированные по линии север – юг. При анализе разрезов с большей величиной задержки, например, на отметке 41 нс (~1,6 м), уже наблюдается только один объект, что говорит о разной глубине залегания расположенных рядом объектов.

Применение двух геофизических методов магнитометрии и георадиолокации

при проведении обследования периферии кургана значительно улучшает качество и повышает достоверность полученных результатов. По итогам магнитного обследования в центре участка № 1, рис. 8, б, обнаружена каменная структура (насыпь) в форме эллипса, но исходя из магнитометрических данных сказать о наличии захоронения под каменной насыпью, его размерах, глубине залегания нельзя. Этой структуре на георадарном разрезе XY 3D модели участка (рис. 8, а) соответствуют два объекта. Объект (2) на георадарном профиле, рис. 8, в, по бокам ограничен двумя наклонными стенками, формирующими погребальную яму, а «звон» сигнала говорит о наличии на глубине порядка 1,2–1,4 м полости с разуплотненным грунтом или наличие двух локальных контрастных границ. Объект (1), вероятно, находится вне каменной насыпи, поскольку в явном виде отсутствует радиобраз каменной насыпи, глубина залегания объекта, исходя из рис. 8, в, не превышает 1,0 м. Можно предположить, что объект (2) относится к более раннему захоронению, чем объект (1).

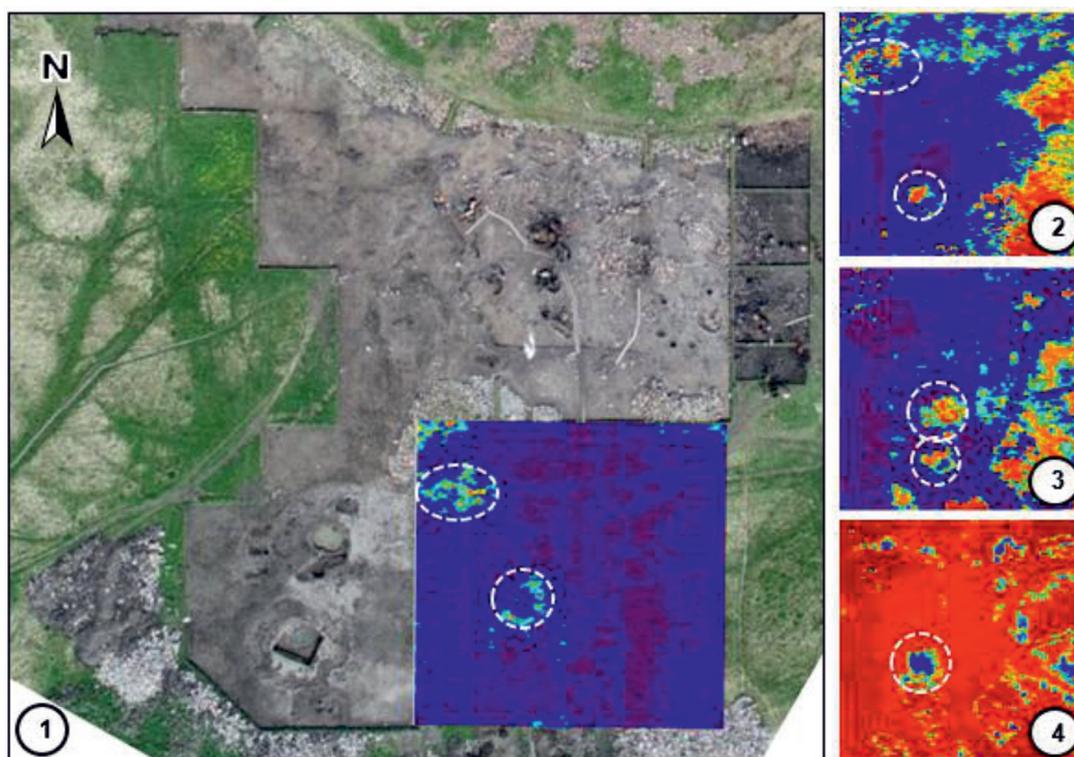


Рис. 7. Участок № 1. Аэрофотоснимок раскопа кургана с разрезами в плоскости XY 3D модели: 1 – аэрофотоснимок с георадарным разрезом 16 нс (~0,5 м); 2 – георадарный разрез 21 нс (~0,7 м); 3 – георадарный разрез 27 нс (~1,0 м); 4 – георадарный разрез 41 нс (~1,6 м)

На магнитограмме участка № 2–3 более четверти площади занимает каменная насыпь, рис. 9, б, однако только георадиолокация позволяет локализовать место размещения погребальной ямы под каменной структурой и определить ее размеры (рис. 9, а). На георадарном профиле (рис. 9, в) на фоне ненарушенной субгоризонтальной структуры подстилающей поверхности (3) четко фиксируется вертикальный разрез захоронения (1), по краям которого наблюдаются неоднородности V-образной формы, которые характерны для тонких вертикальных стенок. Можно предположить наличие вертикально расположенных камней, фиксирующих границы захоронения. Глубина основания захоронения 1,0–1,2 м, диаметр погребальной ямы 8–9 м.

Магнитометрия позволяет локализовать только те археологические объекты, в состав которых входят конструкции из магнитоконтрастных материалов, в данном случае каменных структур. Применение георадиолокации может дополнить результаты магнитометрии в случае, если археологический объект радиоконтрастен относительно вмещающей его

среды. На магнитограммах участков (рис. 2) вытянутых вдоль северного и восточного края кургана, отчетливо фиксируется каменный пояс в виде прерывистой полосы вытянутых аномалий, расположенных на расстоянии 12–16 м от вала, опоясывающего курган. Один из элементов данной конструкции приведен на рис. 10, б. Результаты георадиолокации (рис. 4) не выявили каких-либо значимых нарушений субгоризонтальной слоистости подповерхностной среды под каменным поясом. Однако на радарограммах зафиксировано, что между валом и каменным кольцом кургана наблюдаются нарушения регулярной слоистости георадарного разреза шириной 6–8 м, правильной трапециевидной формы (1) с вмещающим грунтом повышенной влажности, фрагмент которого приведен на рис. 10, а. По своему строению данная конструкция напоминает ров или погребенное русло реки вокруг кургана, в отдельных местах глубиной до 1,5 м, а на части участков сильно разрушен и практически не наблюдается. Вероятно, изъятый грунт был использован для создания вала вокруг кургана или строительства самого кургана.

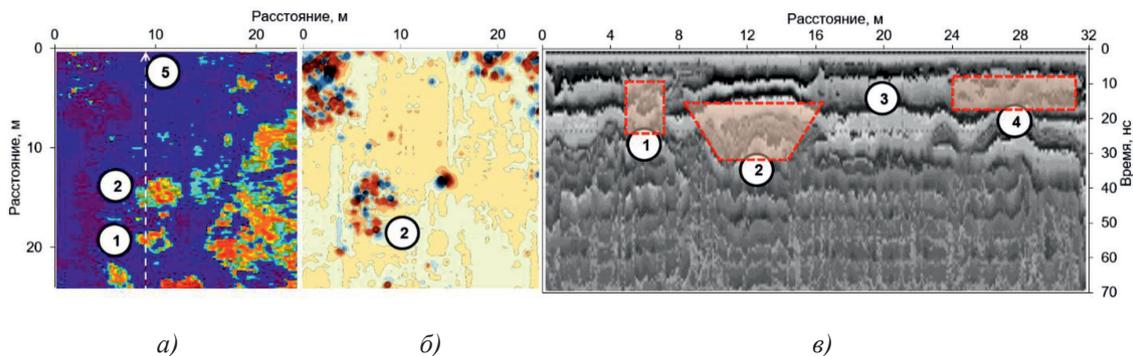


Рис. 8. Участок № 1: 1, 2, 4 – археологические объекты; 3 – зона с ненарушенной субгоризонтальной структурой подстилающей поверхности; а) – горизонтальный георадарный XY разрез на отметке 27 нс (~1,0 м); б) – геомагнитная карта участка; в) – георадарный профиль по трассе (5)

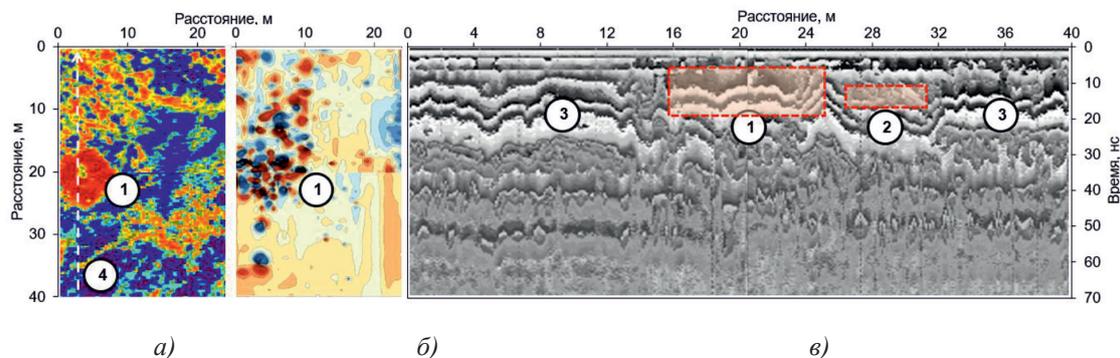


Рис. 9. Участок № 2–3: 1, 2 – археологические объекты; 3 – зона с ненарушенной субгоризонтальной структурой подстилающей поверхности; а) – горизонтальный георадарный XY разрез 3D модели на отметке 20 нс; б) – геомагнитная карта участка; в) – фрагмент георадарного профиля по трассе (4)

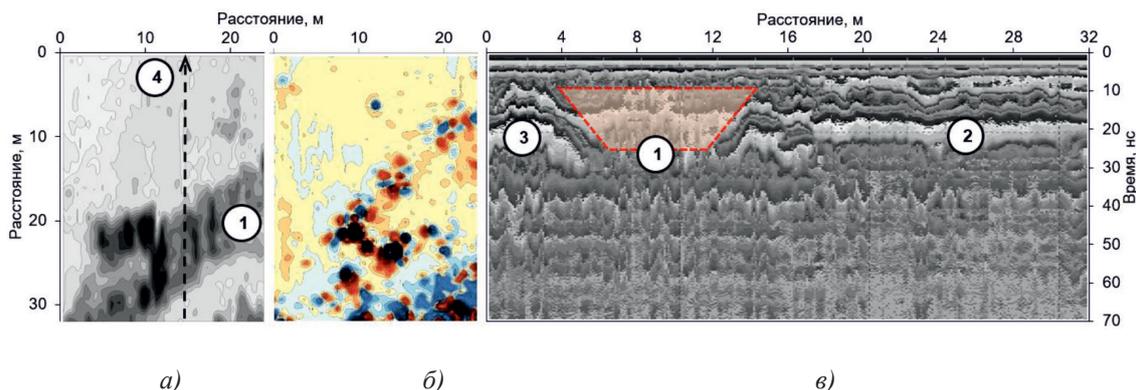


Рис. 10. Участок № 10: 1 – погребенный ров; 2 – ненарушенные субгоризонтальные радиоконтрастные слои; 3 – вал вокруг кургана; а) – георадарный 3D образ рва, опоясывающего курган для участка; б) – геомагнитная карта участка с фрагментом каменного кольца; в) – георадарный профиль по трассе (4)

Приведенные результаты обследования подповерхностной среды двумя геофизическими методами – георадиолокацией и магнитометрией – показали эффективность их совместного использования при изучении периферии раннескифского кургана. С помощью магнитометрии удалось локализовать каменное кольцо вокруг кургана, а благодаря георадиолокации – обнаружить ров между валом и каменным кольцом.

Выводы

Применение двух геофизических методов, работающих на разных физических принципах зондирования, дает достоверное и целостное представление о строении периферии такого сложного захоронения, как раннескифский курган Туннуг-1. Георадиолокация и магнитометрия взаимно дополняют друг друга и увеличивают шанс на успех при геофизическом обследовании сложных археологических памятников в непростой, слабо дренированной, заболоченной местности и при наличии многолетних мерзлых грунтов с неравномерным по площади оттаиванием.

Метод геомагнитометрии с большой достоверностью фиксирует каменные структуры памятника, а георадиолокация позволяет детально изучать конструкцию и геометрию захоронений, объекты, не содержащие магнитоконтрастных материалов. С помощью георадиолокации локализуются места проведения земляных работ (нарушения субгоризонтальных структур подстилающей поверхности), тем самым может быть получена дополнительная информация для понимания процесса создания памятника.

Применение геофизических методов привело к обнаружению ряда каменных структур на южной периферии кургана, хорошо сохранившегося каменного кольца в южной и за-

падной частях периферии кургана, погребенного рва, возможно, русла реки, между валом и каменным кольцом глубиной до 1,5 м.

Работы выполнены при поддержке РФФИ, грант № 18-02-00185 и содействии Экспедиционного центра МО РФ и Российского географического общества.

Список литературы

1. Грязнов М.П. Аржан – царский курган раннескифского времени. Л.: Наука, 1980. 62 с.
2. Гасс А., Парцингер Г., Фассбиндер Й. Первые шаги исследований периферии больших курганов раннего железного века северного Кавказа. «Анфимовские чтения» по археологии Западного Кавказа. Проблемы изучения погребального обряда народов Западного Кавказа в древности и средневековье: Материалы международной археологической конференции (г. Краснодар, 31 мая – 2 июня 2016 г.). Краснодар: ИП Смородин, 2016. 278 с.
3. Caspari G., Sadykov T., Blochin J., Buess M., Nieberle M., Balz T. Integrating Remote Sensing and Geophysics for Exploring Early Nomadic Funerary Architecture in the «Siberian Valley of the Kings». Sensors. V. 19 (14). Pii: E3074. DOI: 10.3390/s19143074.
4. Бузин В., Гарбачев В., Едемский Д., Попов А., Прокопович И., Хуторской А. Применение высокоточной магнитометрии и мощного георадара для поиска объектов военно-технической истории. // Военная археология. 2018. № 5 (56). С. 20–27.
5. Фассбиндер Й. Магнитометрия в археологии – от теории к практике // Российская археология. 2019. Вып. 3. С. 75–91. DOI: 10.31857/S086960630005672-8.
6. Садыков Т.Р., Каспари Дж., Блохин Е.К. Раннескифский курган Туннуг-1: результаты первых работ на южной периферии памятника // Теория и практика археологических исследований. 2019. Т. 25. № 1. С. 29–38. DOI: 10.14258/traip(2019)1(25).-03.
7. Грушин С.П., Кирюшин Ю.Ф., Тишкин А.А. и др. Елунинский археологический комплекс Телеутский Взвоз-1 в Верхнем Приобье / Отв. ред. А.П. Деревянко. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2016. 270 с.
8. Сайт ООО «Компани ВНИИСМИ» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.geo-radar.ru/> (дата обращения: 05.10.2019).
9. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 2004. 153 с.
10. Ельцов М.В. Почвенно-археологические исследования кургана Туннуг-1 (Республика Тыва) // Археология поймы рельеф, палеосреда, история заселения. Тезисы научного семинара. М.: ИА РАН, 2019. С. 31–34.

СТАТЬИ

УДК 616.717.55-001.5-089.227:616.151-071

**ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРОВИ У ПАЦИЕНТОВ
С ПОВРЕЖДЕНИЕМ ДИАФИЗА ЛУЧЕВОЙ КОСТИ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ЧРЕСКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА
АППАРАТОМ ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ СТЕРЖНЕВОЙ КОМПОНОВКИ**

¹Бутаев Ч.З., ^{1,2}Пусева М.Э., ¹Кинаш И.Н., ¹Ипполитова Е.Г.

¹ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии»,
Иркутск, e-mail: chingiz-2307@mail.ru;

²Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал
ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования»
Минздрава России, Иркутск

Цель исследования: оценить динамику лабораторных показателей крови у больных с переломами лучевой кости на уровне диафиза при использовании чрескостного остеосинтеза аппаратом внешней фиксации стержневой компоновки. В клинике ФГБНУ ИНЦХТ проведены лабораторные исследования показателей крови 46 пациентов в возрасте 25–60 лет с переломами диафиза лучевой кости на уровне средней трети со смещением костных отломков, которым применён чрескостный остеосинтез аппаратом внешней фиксации (АВФ) стержневой компоновки. Исследования крови, проведённые пациентам с повреждением диафиза лучевой кости, которым применён чрескостный остеосинтез стержневой компоновки, позволили выявить определённые закономерности. Количество эритроцитов, уровень гемоглобина, количество лейкоцитов до операции и в послеоперационном периоде не имели статистически значимых различий. Выявлено увеличение количества тромбоцитов за счёт выброса их из депо, укорочение активированного парциального тромбопластинового времени (АПТВ), снижение количества растворимых фибрин-маломерных комплексов (РФМК). На 7-е сутки послеоперационного периода количество тромбоцитов увеличилось на 11,8%, что можно объяснить их массивным выбросом из депо; показатель РФМК снизился, по сравнению с дооперационным периодом, на 35,7%, что свидетельствует о положительной динамике процесса. Суммируя все данные по исследованию лабораторных показателей крови при хирургическом лечении лучевой кости, можно сделать вывод о том, что в системе гемостаза претерпели изменения показатели АПТВ, РФМК и количества тромбоцитов, что является защитной реакцией организма в системе регуляции гемостаза. Выявленные изменения характеризуют активацию внутренних механизмов свёртывающей системы крови и свидетельствуют в пользу применения чрескостного остеосинтеза стержневой компоновки у пациентов с переломами лучевой кости на уровне диафиза. Необходим постоянный контроль этих показателей на всех этапах реабилитации с целью оценки состояния пациента и возможностей своевременной профилактики осложнений.

Ключевые слова: тромбоциты, фибриноген, растворимые фибрин-мономерные комплексы, чрескостный остеосинтез

**DYNAMICS OF BLOOD COUNTS IN PATIENTS WITH RADIAL SHAFT FRACTURE
TREATED BY TRANSOSSEOUS OSTEOSYNTHESIS WITH THE EXTERNAL
FIXATION DEVICE OF THE ROD CONFIGURATION**

¹Butaev Ch.Z., ²Puseva M.E., ³Kinash I.N., ⁴Ippolitova E.G.

¹Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology, Irkutsk, e-mail: chingiz-2307@mail.ru;

²Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Russian Medical
Academy of Continuing Professional Education, Irkutsk

The aim of the research was to evaluate the dynamics of laboratory blood parameters in patients with radial shaft fractures when using transosseous osteosynthesis with an external fixation device of the rod configuration. A laboratory study of blood parameters in a group of 46 patients (26 women and 20 men, aged from 25 to 60) with radial midshaft displaced fractures was carried out in the clinic of ISCST using transosseous osteosynthesis with an external fixation device of the rod configuration. Blood tests performed on patients with radial shaft damage treated with transosseous osteosynthesis of the pin configuration, revealed certain patterns. The number of erythrocytes, hemoglobin level, the number of leukocytes before the operation and in the postoperative period did not have statistically significant differences. An increase in the number of platelets due to their release from the depot, shortening of the activated partial thromboplastin time (APTT), a decrease in the number of soluble fibrin-small-dimensional complexes (SFMCs) were detected. On the 7th day of the postoperative period, the number of platelets increased by 11.8%, which can be explained by their massive release from the depot; SFMC index decreased, compared with the preoperative period, by 35.7%, which indicates a positive dynamics of the process. Summarizing all the data on the study of laboratory blood parameters in the surgical treatment of the radial bone, it can be concluded that in the hemostasis system, the APTT, SFMC and platelet count have changed, which is a protective reaction of the body in the system of hemostasis regulation. The revealed changes characterize the activation of the internal mechanisms of the blood coagulation system and testify in favor of the use of transosseous osteosynthesis of the pin configuration in patients with radial shaft fractures. It is necessary to continuously monitor these indicators at all stages of rehabilitation in order to assess the patient's condition and the possibilities of timely prevention of complications.

Keywords: platelets, fibrinogen, soluble fibrin monomer complexes, transosseous osteosynthesis

Чрескостный остеосинтез как метод лечения переломов костей предплечья на уровне диафизов используется ограниченно, но продолжает совершенствоваться. Анализируя литературу, можно встретить достаточное количество публикаций, под-

тверждающих эффективность применения чрескостного остеосинтеза разнообразными видами фиксаторов: спицами, резьбовыми стержнями и их комбинациями [1–3].

При изучении биомеханических исследований чрескостного остеосинтеза в большинстве случаев проводится сравнительный анализ функциональных возможностей аппаратов внешней фиксации разных компоновок и стабильности систем «аппарат – кость» [3, 4].

Наряду со спицевыми компоновками аппаратов внешней фиксации, стали внедряться стержневые аппараты и их модификации, что дало возможность дифференцированного и оптимального выбора конструкций. Это позволило обеспечить маневренность аппаратов – упрощение проведения монтажа аппарата за счёт уменьшения количества чрескостных элементов (стержней-шурупов) в рекомендуемые позиции; проведение максимально точной закрытой репозиции отломков с восстановлением целостности кости; восстановление функций мышечного аппарата сегмента и смежных ему суставов в наиболее короткие сроки; адаптированность аппаратов к сегментам; проведение адекватного лечения ран мягких тканей сегмента при открытых повреждениях.

Известно, что продолжительность реабилитационного срока зависит от многих факторов (точная репозиция, жёсткая фиксация костных фрагментов, ранняя функция в смежных суставах, снижение общего веса конструкции), в том числе и от баланса в системе гемостаза.

Нами проведено исследование влияния введённых чрескостных элементов (спиц) при выполнении чрескостного остеосинтеза повреждённой лучевой кости на показатели периферической крови. Считаем данное направление комплексного исследования гемостатических показателей перспективным и требующим дальнейшего изучения при использовании технологии чрескостного остеосинтеза [5].

Цель исследования: оценить динамику лабораторных показателей крови у больных с переломами лучевой кости на уровне диафиза при использовании чрескостного остеосинтеза стержневой компоновки аппарата внешней фиксации.

Материалы и методы исследования

Обследовано 46 пациентов: 26 женщин и 20 мужчин в возрасте от 25 до 60 лет с переломом диафиза лучевой кости в средней трети со смещением костных отломков согласно классификации АО/ASIF (тип 22A2).

Забор крови для исследования проводили утром натощак из локтевой вены в пла-

стиковые пробирки для гематологических исследований в следующие сроки: до операции; на третьи и седьмые сутки после операции. Определялись следующие показатели: эритроциты, гемоглобин, лейкоциты, тромбоциты, фибриноген, активированное парциальное тромбопластиновое время (АПТВ), растворимые фибрин-мономерные комплексы (РФМК). На коагулометре Sysmex (Япония) определяли АПТВ, фибриноген, РФМК при помощи диагностических наборов фирмы «Технология – стандарт». Эритроциты, гемоглобин, лейкоциты, тромбоциты определяли на автоматическом гематологическом анализаторе Mindray BC-5300 (China).

Монтаж аппарата внешней фиксации выполняли согласно «Методу унифицированного обозначения чрескостного остеосинтеза» [6].

Чрескостные элементы – стержнями-шурупами М6, D = 4 мм, L = 90 мм конической формы в количестве четырёх, проведёнными через оба кортикальных слоя лучевой кости, изолированно от локтевой кости на уровне I, III, VI и VIII. Таким образом, сохранялась ротация предплечья. Стремясь уменьшить вес и размеры аппарата, а также повисить его репонирующие возможности, была изменена форма внешней опоры – кольцевая на сектор, и добавлен репонирующий узел [7]:

I, 9, 90;	III, 10, 80;	VI, 11, 90;	VIII, 12, 90
сектор	сектор	сектор	сектор

В основу исследования положено сравнение динамики изменений показателей крови обследуемых пациентов с переломами лучевой кости на уровне диафиза, пролеченных методикой чрескостного остеосинтеза стержневой компоновкой аппарата внешней фиксации.

Для оценки достоверности полученных данных применяли стандартные значения критерия Стьюдента. При обработке результатов на персональном компьютере использовали статистическую программу «Statistica».

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования крови, проведённые на базе ФГБНУ ИНЦХТ, в группе больных с повреждением диафиза лучевой кости, которым применён чрескостный остеосинтез АВФ стержневой компоновки, позволили выявить определённые закономерности. В дооперационном периоде изучаемые показатели крови находились в пределах физиологической нормы (таблица).

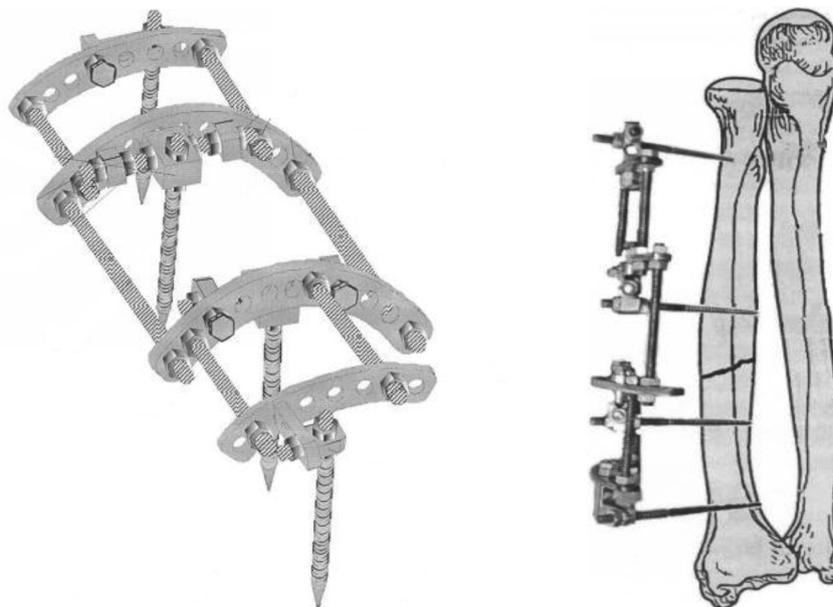


Рис. 1. Схема стержневой компоновки лучевой кости (диаметр опор выбран условно)

Лабораторные показатели крови при лечении перелома диафиза лучевой кости чрескостным остеосинтезом с помощью АВФ стержневой компоновки

Показатели	До операции	3-и сутки после операции	7-е сутки после операции
Эритроциты, $\times 10^{12}$ г/л	$4,25 \pm 0,24$	$3,7 \pm 0,18$	$4,0 \pm 0,21$
Гемоглобин, г/л	$134 \pm 6,5$	$120 \pm 5,9$	$135 \pm 6,0$
Лейкоциты, $\times 10^9$ г/л	$7,6 \pm 1,57$	$10,0 \pm 1,5$	$8,2 \pm 0,97$
Тромбоциты, $\times 10^9$ г/л	$221 \pm 16,5$	$238 \pm 11,8$	$247 \pm 19,9$
Фибриноген, г/л	$3,8 \pm 0,5$	$3,2 \pm 0,58$	$3,7 \pm 0,33$
АПТВ, с	$38 \pm 0,24$	$28 \pm 0,35$	$29 \pm 0,25$
РФМК, мг/100 мл	$4,18 \pm 0,32$	$3,71 \pm 0,63$	$2,7 \pm 0,34$

Количество эритроцитов, гемоглобина, лейкоцитов до операции и в послеоперационном периоде не имело статистически значимых различий. Отмечено, что на протяжении всего срока наблюдения страдает система гемостаза. По данным таблицы, по сравнению с дооперационным периодом лабораторные показатели гемостаза у больных выявили статистически значимые различия (увеличение количества тромбоцитов за счёт выброса их из депо, укорочение времени АПТВ, снижение количества РФМК). На седьмые сутки послеоперационного периода количество тромбоцитов увеличилось на 11,8%, что можно объяснить их массивным выбросом из депо. Определение активированного парциального тромбопластинового времени (АПТВ) обычно используется для оценки внутреннего пути свёртывания плазмы крови. По данным таблицы, показатель

АПТВ снизился на 23,7% (с 38 до 29 с), укорочение времени свёртывания возможно при синдроме коагулопатии. Определение в плазме крови растворимых фибрин-маломерных комплексов (РФМК) является маркером внутрисосудистого свёртывания крови при тромбозах, тромбоземболиях, ДВС-синдромах. Показатель РФМК на седьмые сутки после операции снизился по сравнению с дооперационным периодом на 35,7% (рис. 2), свидетельствуя о положительной динамике процесса.

Изучение количества тромбоцитов, АПТВ и РФМК является важным для определения гемодинамических сдвигов, наблюдающихся при чрескостном остеосинтезе аппаратом стержневой компоновки, и определяет эффективность данного способа лечения. Циркулирующая в кровеносном русле кровь при нарушении целостности стенки кровеносных сосудов вследствие

травмы претерпевает изменения, в свёртывающей системе срабатывает система регулирующая агрегатное состояние крови. Данная регуляция осуществляется механизмами с участием факторов свёртывающей и противосвёртывающей, и фибринолити-

ческой систем. При переломе кости нарушение функциональных взаимосвязей взаимодействующих систем может привести к патологическим состояниям, опасным для организма (кровоточивость или внутрисосудистое тромбообразование).

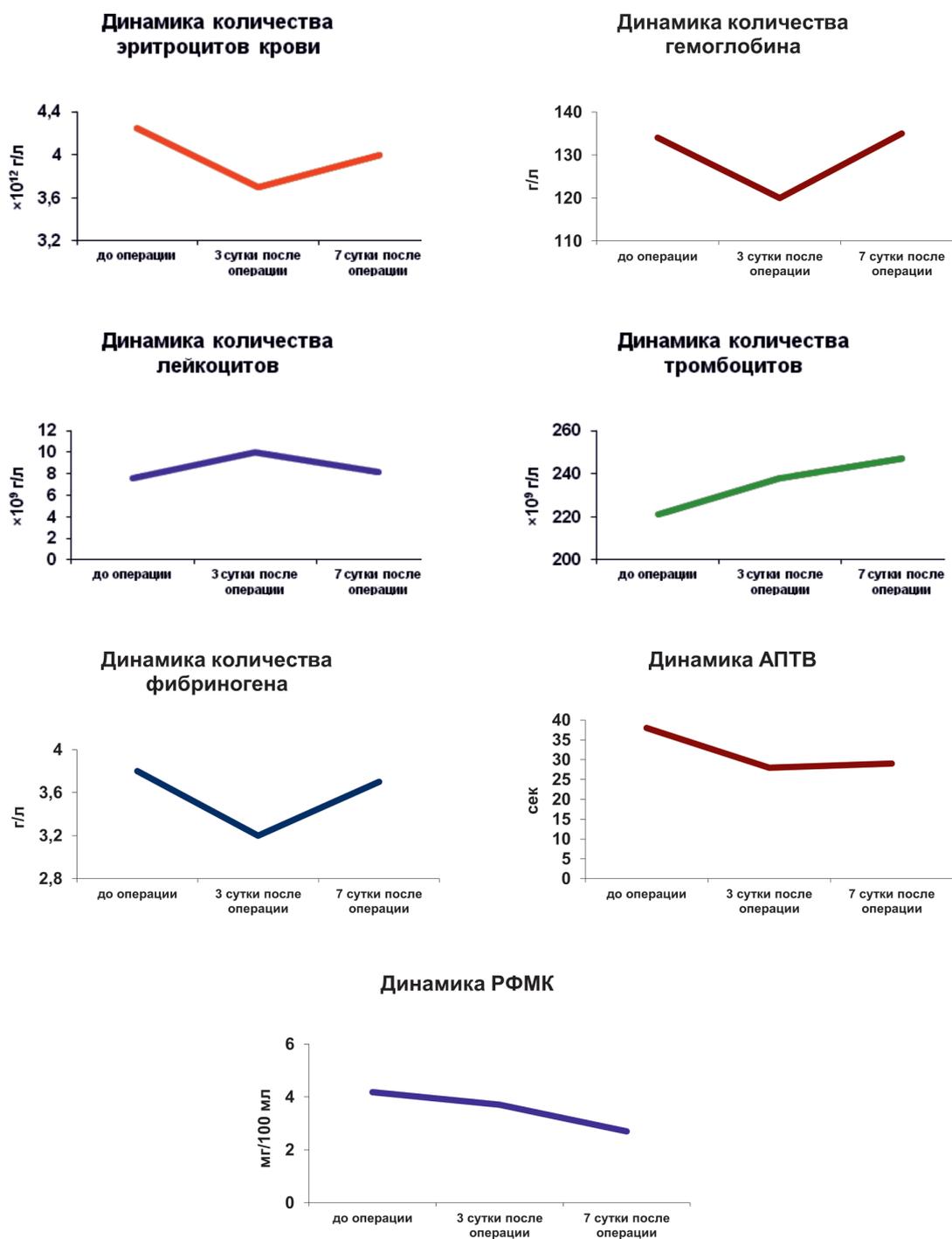


Рис. 2. Динамика показателей крови при лечении перелома диафиза лучевой кости чрескостным остеосинтезом с помощью АВФ стержневой компоновки

Отсутствие достоверных изменений фибриногена по сравнению с показателями в дооперационном периоде, возможно, связано с низкой острофазовой реакцией организма на механическое повреждение мягких тканей кости при проведении стержней-шурупов.

Монолатеральное проведение чрескостных стержней при монтаже аппарата внешней фиксации вызывает незначительную механическую травму сегмента и, следовательно, не происходит выраженной активации процессов свёртывания, как по внешнему механизму за счёт поступления в кровяное русло тромбопластина, так и по внутреннему – за счёт контакта с повреждённой поверхностью эндотелия.

Таким образом, суммируя все данные по исследованию лабораторных показателей крови при хирургическом лечении лучевой кости с применением метода чрескостного остеосинтеза аппаратом внешней фиксации стержневой компоновки, можно сделать вывод, что в системе гемостаза претерпели изменения показатели активированного парциального тромбопластинового времени (АПТВ), растворимых фибрин-маломерных комплексов (РФМК) и количества тромбоцитов, что является защитной реакцией организма в системе регуляции гемостаза. Выявленные изменения в системе свёртывания крови могут иметь значение при выборе тактики хирургического лечения в пользу чрескостного остеосинтеза стержневой компоновки.

Выводы

1. Эффективность репозиции отломков при переломах диафиза лучевой кости с применением стержневой компоновки аппарата внешней фиксации заключалась в снижении веса аппарата в целом за счёт секторов, улучшении его функциональности за счёт наличия репозиционных узлов, позволяющих устранять остаточное смещение отломков в любой плоскости. Стабильная фиксация костных отломков меньшим количеством чрескостных элементов (стержней) уменьшает риск воспаления мягких тканей вокруг чрескостных элементов. Жёсткость фиксации в системе «аппарат – кость» даёт возможность начать

ранние движения в суставах оперированного предплечья, в том числе и ротационных.

2. Выявленные изменения в системе гемостаза (увеличение количества тромбоцитов, снижение уровня фибриногена и уровня РФМК) характеризуют активацию внутренних механизмов свёртывающей системы крови и свидетельствуют в пользу применения чрескостного остеосинтеза стержневой компоновки у пациентов с переломами лучевой кости на уровне диафиза. Необходим постоянный контроль этих показателей на всех этапах реабилитации с целью оценки состояния пациента и возможности своевременной профилактики осложнений.

Список литературы

1. Шестерня Н.А., Лазарев А.Ф., Иванников С.В., Жарова Т.А., Солод Э.И., Джанибеков М.Х., Абдул А-М. Подкожно-субфасциальный остеосинтез переломов дистального отдела плечевой кости // Кафедра травматологии и ортопедии. 2017. № 1 (21). С. 5–9.
2. Кесян Г.А., Самков А.С., Карапетян Г.С., Дан И.М. Способ комбинированного остеосинтеза внутрисуставных переломов блока плечевой кости с использованием погружных компрессионных винтов и шарнирно-дистракционного аппарата внешней фиксации. Патент РФ № 2612812. 2017.
3. Соломин Л.Н., Виленский В.А., Утехин А.И., Террел В. Сравнительный анализ жёсткости остеосинтеза, обеспечиваемой чрескостными аппаратами, работающими на основе компьютерной навигации, и комбинированным спице-стержневым аппаратом // Травматология и ортопедия России. 2009. № 2. С. 20–25.
4. Бутаев Ч.З., Пусева М.Э., Кинаш И.Н., Ипполитова Е.Г. Динамика показателей крови у пациентов с повреждением диафиза лучевой кости при использовании метода чрескостного остеосинтеза АВФ спицевой компоновки // Acta Biomedica Scientifica. 2018. № 3 (6). С. 95–99.
5. Соломин Л.Н. Основы чрескостного остеосинтеза аппаратом Г.А. Илизарова. СПб.: ООО «МОРСАР АВ», 2005. 544 с.
6. Пусева М.Э., Гришин М.М., Корзун А.М., Михайлов И.Н. Способ чрескостного остеосинтеза диафизарный повреждений костей предплечья и аппарат для его осуществления: Пат. № 2328242 Рос. Федерация; МПК А61В17/66 (2005.08). Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научный центр реконструктивной и восстановительной хирургии» Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. № 2005125886/14; заявл. 15.08.2005.
7. Шуйский А.А., Кесян Г.А., Уразгильдеев Р.З., Карапетян Г.С., Арсеньев И.Г., Дан И.М. Опыт лечения внутрисуставных переломов дистального метаэпифиза плечевой кости методом комбинированного остеосинтеза погружными винтами и шарнирно-дистракционным аппаратом внешней фиксации // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2018. № 2. С. 56–62.

УДК 616.71-003.93

ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ КЛЕТОЧНО-ИНЖЕНЕРНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОСТНОГО ДЕФЕКТА У КРОЛИКА

Живцов О.П., Алейник Д.Я., Орлинская Н.Ю., Митрофанов В.Н.

ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Нижний Новгород, e-mail: daleynik@yandex.ru

Работа посвящена изучению особенностей регенерации костной ткани на модели экспериментальной костной раны кролика при использовании клеточно-инженерной конструкции, сформированной из ксеногенной коллагеновой матрицы («Коллатамп ИГ» Collatamp EG, «СинтколлГмбХ», Германия) и аллогенных мезенхимальных стволовых клеток костного мозга (МСК – КМ). С помощью методов флуоресцентной микроскопии показано, что МСК-КМ кролика сохраняют жизнеспособность и морфологическую однородность при культивировании на матрице («Коллатамп ИГ» Collatamp EG, «СинтколлГмбХ», Германия) в течение не менее 120 ч. Исследование *in vivo* выполнено на 25 кроликах породы «Серый великан». Фрезой диаметром 4,0 мм вдоль оси кости формировали стандартизированный дефект надкостницы, кортикального слоя и губчатого вещества размерами 8,0х4,0 мм и глубиной 4,0 мм. Сформированный дефект в опытной группе заполняли конструктором. Контрольная группа была представлена животными, у которых происходило спонтанное заживление костного дефекта. Наблюдение за размерами дефекта, особенностями формы и структуры костной ткани в области очага, его точным расположением, конфигурацией осуществляли в сроки 4, 8, 12 недель с помощью рентгенографии и гистологического исследования, выполненного с использованием световой микроскопии, с применением стандартных методов окрашивания. Проведенное исследование показало эффективность конструкции на основе аллогенных МСК-КМ и матрицы – «Коллатамп ИГ» (Collatamp EG, «СинтколлГмбХ», Германия), для восстановления дефектов костной ткани в эксперименте.

Ключевые слова: аллогенные МСК, костнопластические материалы, «Коллатамп ИГ» (Collatamp EG, «СинтколлГмбХ», Германия), регенерация костной ткани

PECULIARITIES OF BONE TISSUE REGENERATION IN CONDITIONS OF A CELL ENGINEERING CONSTRUCTION FOR RESTORING BONE DEFECT IN A RABBIT

Zhivtsov O.P., Aleynik D.Ya., Orlynskaya N.Yu., Mitrofanov V.N.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Privolzhsky Research Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Nizhny Novgorod, e-mail: daleynik@yandex.ru

The investigation is devoted to studying the features of bone tissue regeneration on a model of an experimental wound using a cell engineering construct from a collagen matrix and allogeneic mesenchymal stem cells (MSC – BM). Using fluorescence microscopy methods was shown that rabbit MSC-BM retain viability and morphological uniformity when cultured on a collagen matrix Collatamp IG (Collatamp EG, SintkollGmbH, Germany) for at least 120 hours. An *in vivo* study was performed on 25 rabbits. A standard defect along the axis of tibia 8.0x4.0 mm and a depth of 4.0 mm was performed. The defect in the experimental group of rabbits was filled with a construct. The control group was represented by animals in which spontaneous healing of the bone defect occurred. The size of the defect, the shape and structure of the bone tissue in the area of the lesion, its exact location, and configuration were monitored at 4, 8, 12 weeks using x-ray and histological studies, light microscopy, standard staining methods. The study showed the effectiveness of the design based on allogeneic MSC-KM and the matrix – «Collatamp IG» (Collatamp EG, «SintkollGmbH», Germany), for the restoration of bone tissue defects in the experiment.

Keywords: allogeneic MSCs, osteoplastic materials, Collatamp IG, bone tissue regeneration

Потребность в костно-пластических материалах постоянно возрастает [1–3] не только в связи с увеличением числа травм и заболеваний костной ткани, но и в результате активизации хирургической тактики в травматологии, ортопедии, онкологии и челюстно-лицевой хирургии. Многие из известных и разнообразных костно-пластических материалов не удовлетворяют требованиям современной высокотехнологичной хирургии, поэтому разработки инновационных костнопластических материалов и операций продолжают во всем мире [4–6]. На современном этапе наиболее перспектив-

ными являются разработки новых комбинированных биодеградируемых имплантатов, в первую очередь природных биополимеров, обладающих выраженной остеоиндуктивностью, остеокондуктивностью, моделируемостью, способностью поддерживать жизнеспособность и функциональную активность мезенхимальных стволовых клеток (МСК) [7, 8]. МСК в настоящее время рассматриваются как наиболее перспективные клетки для регенеративной медицины [9–11]. Данные о взаимодействии МСК с ксеногенной коллагеновой матрицей и воздействии сформированного продук-

та на процессы восстановления в области модельного дефекта костной ткани могут послужить основой для разработки современных технологий восстановления костных дефектов.

Цель исследования: изучить особенности взаимодействия МСК – КМ кролика с ксеногенной коллагеновой матрицей и особенности восстановления экспериментального костного дефекта при использовании сформированной клеточно-инженерной конструкции.

Материалы и методы исследования

Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом и утвержден Ученым советом ФГБОУ ВО ПИМУ Минздрава России. Все процедуры работы с животными проводились в условиях вивария с соблюдением требований «Европейской конвенции по работе с животными» и в соответствии с приказом Минздравсоцразвития России № 708н от 23.08.2010 «Об утверждении правил лабораторной практики». Выведение животных из эксперимента осуществлялось методом воздушной эмболии под наркозом.

Получение МСК – КМ кролика и подготовка клеточно-инженерной конструкции. МСК кролика выделяли из костного мозга бедренных костей двух животных и получали культуру с помощью селективной адгезии к пластику. В качестве ростовой среды использовали α – MEM (HyClone, США) с добавлением 15% телячьей эмбриональной сыворотки (ТЭС, HyClone, США), 100 Ед/мл пенициллина, 100 мкг/мл стрептомицина и 2 Мм глутамин (все реактивы ООО «ПанЭко», культуральный пластик «Costar», США. По мере достижения клетками субконфлюэнтного монослоя (до 80%) осуществляли пересев. Состояние культуры контролировали в динамике с помощью инвертированного микроскопа Leica DMI 3000 В (Германия) с программным обеспечением LAS.V.4.3. Фенотип клеток определяли с использованием моноклональных антител CD 44 FITC, CD 105 PE, CD 45 PE с соответствующими изотипическими контролями на цитофлуориметре FACS CANTO II (Betman Dickinson, USA). Дифференцировочный потенциал клеток оценивали на культуре третьего пассажа. Клетки были способны дифференцироваться в адипоциты, остеобласты, хондробласты.

В экспериментах *in vitro* и *in vivo* использовали клетки 3-го пассажа в концентрации ($2 \cdot 10^6$ кл/мл). Образовавшуюся клеточную суспензию собирали в шприцы по 1 мл и вводили непосредственно в толщу образцов губки «Коллатамп ИГ» (Collatamp

EG, «СинтколлГмбХ», Германия). Образцы губки в соответствии с размерами формируемого костного дефекта (8,0x 4,0 мм и глубиной 4,0 мм) готовили перед введением клеток. Клетки культивировали на матрице в течение 5 суток (120 ч). Часть образцов использовали для оценки выраженности адгезии и жизнеспособности клеток методом флуоресцентной микроскопии в контрольные сроки (48, 96 и 120 ч после введения в матрицу).

Исследование адгезии и жизнеспособности клеток на матрице. Для визуализации ядер клеток, адгезировавшихся на матрице, использовали прижизненное окрашивание ядер с применением флуорохрома Hoechst 3334 (BD Pharmingen™), обладающего высокой специфичностью к двухцепочечной молекуле ДНК (длина волны возбуждения 377 нм, длина волны эмиссии 447 нм).

Для маркировки живых клеток и характеристики их морфологии на материале использовали флуорохром кальцеин (Calcein AM, BD Pharmingen™), легко проникающий в цитоплазму жизнеспособных клеток (фотометр-имиджер Cytation 5, BioTek, USA).

Образцы, предназначенные для эксперимента *in vivo*, через 48 ч после введения клеток отмывали стерильным физиологическим раствором и передавали для введения животным.

Исследование на модели in vivo. Эксперимент выполнен на 25 кроликах породы «Серый великан». Оперативный доступ осуществляли по внутренней поверхности проксимальной метадиафизарной области левой большеберцовой кости продольным разрезом, с послойным рассечением кожи, подкожной клетчатки, фасции длиной 3,0 см. Острыми крючками разводили края раны. Распатором скелетировали большую берцовую кость на площади 2x1 см. Фрезой диаметром 4,0 мм вдоль оси кости формировали стандартизованный дефект надкостницы, кортикального слоя и губчатого вещества размерами 8,0x4,0 мм и глубиной 4,0 мм. Размеры дефекта контролировали при помощи штангенциркуля ШЦ-1 с глубиномером и ценой деления 0,1 мм. Животным опытной группы полость дефекта заполняли матрицей «Коллатамп ИГ» (Collatamp EG, «СинтколлГмбХ», Германия), с предварительно введенными аллогенными МСК-КМ. В качестве контрольной группы использовали животных, у которых сформированный костный дефект заживал спонтанно.

Наблюдение за размерами дефекта, особенностями формы и структуры костной ткани в области очага, его точным расположением и конфигурацией осуществляли

с помощью рентгенографии в двух проекциях на аппарате «Dira-RC», компьютерной томографии на аппарате «Toshiba 32 Aquillon» с оценкой трёхмерной реконструкции сегмента.

После выведения животных из эксперимента на сроках 4, 8 и 12 недель проводилось гистологическое исследование серийных срезов зоны дефекта и окружающих его тканей. После фиксации материала в растворе нейтрального 10% формалина осуществлялась стандартная гистологическая проводка на аппарате «Excelsior ES» (Thermo Scientific, USA). Далее изготавливались парафиновые блоки. Серийные срезы толщиной 4–6 мкм получали на микротоме «Microm HM 325» (Thermo Scientific, USA). Срезы окрашивались гематоксилином и эозином.

Результаты исследования и их обсуждение

Выделенные из костного мозга кроликов клетки хорошо распластывались на пластике и приобретали характерную фибробластоподобную форму. На протяжении всего периода наблюдения клетки культуры были морфологически однородными с выраженными отростками, четко очерченными ядрами. Клетки культур третьего пассажа были способны дифференцироваться в остеогенном и адипоогенном направлении. Фенотип клеток CD 44+, CD 105+, CD 45-. Таким образом, характеристики полученных клеток были аналогичны критериям, определенным международным обществом по клеточной терапии для мезенхимальных стволовых клеток человека [12].

Известно, что МСК могут быть выделены из различных тканей, но клетки, выделенные из костного мозга, обладают более выраженным остеогенным потенциалом [13, 14]. Поэтому для создания биоинженерного продукта мы использовали аллогенные МСК костного мозга. Показано, что эти клетки способны стимулировать функции уже имеющихся высокоспециализированных клеток [10, 11], обладают высоким пролиферативным потенциалом и могут дифференцироваться в другие типы клеток [12].

В качестве матрицы был выбран продукт из ксеногенного коллагена – «Коллатамп ИГ» (Collatamp EG, «СинтколлГмбХ», Германия). Ксеногенный коллаген использовали в качестве матрицы, так как в клинической практике предполагается применение именно ксеногенных коллагеновых продуктов (из тканей свиньи, коровы, лошади). Коллагеновые импланты применяются в практической медицине для заполнения

небольших дефектов костной ткани [7, 8]. «Коллатамп ИГ» (Collatamp EG, «СинтколлГмбХ», Германия) представляет собой стерильный биodeградируемый продукт на основе высокоочищенного ксеногенного коллагена в виде губки, содержащей антибиотик гентамицин. Достоинствами подобного материала являются пластичность при заполнении дефектов и гемостатические свойства. Составляющий основу данного препарата коллаген обладает слабой антигенностью и токсичностью, быстро резорбируется в организме, стимулируя репаративные процессы. В предварительном исследовании было показано не только отсутствие цитотоксичности, но и отсутствие влияния на функциональную (пролиферативную и секреторную) активность субстрат-зависимых клеток в ксеногенной модели [15].

При культивировании МСК – КМ кролика на коллагеновой матрице уже через 48 ч с помощью флуоресцентной микроскопии отчетливо визуализировали овальные ядра клеток, окрашенные синим. Более длительное культивирование (96, 120 ч) приводило к увеличению плотности клеток (окрашенных ядер) в поле зрения. Использование флуорохрома Calcein AM, BD Pharmingen™, проникающего в цитоплазму только жизнеспособных клеток, продемонстрировало на поверхности матрицы большое количество живых клеток типичной фибробластоподобной формы через 24, 48, 120 ч культивирования (рис. 1).

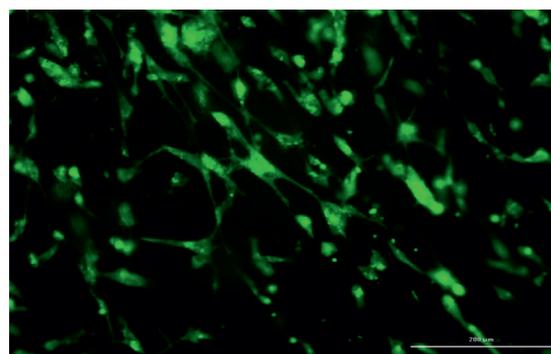


Рис. 1. МСК – КМ кролика на коллагеновой матрице, флуорохром кальцеин (зеленое окрашивание), 120 ч культивирования; увеличение $\times 100$

Полученные данные по исследованию состояния клеток на матрице «Коллатамп ИГ» в разные сроки после введения позволяют вполне корректно предполагать, что на образцах, использованных для эксперимента на животных после 48 ч культивиро-

вания, также сохраняются жизнеспособные и морфологически однородные МСК – КМ. Следует отметить, что не зафиксировано отрицательных эффектов при взаимодействии МСК – КМ кролика и ксеногенного коллагена, что демонстрирует перспективность совместного использования МСК различного происхождения с ксеногенным коллагеном в клинической практике.

При исследовании *in vivo* анализ состояния костного дефекта у кролика, проведенный с помощью рентгенологических методов исследования, показал, что видимые признаки восстановления дефекта наблюдаются на сроке 12 недель, на сроках до 8 недель видимых различий рентгенологических теней дефектов не обнаружено. При анализе выполненных МСКТ продемонстрировано, что на экспериментальном сроке 12 недель сквозной дефект кортикального слоя не обнаруживается. При изучении КТ картины на самых поздних сроках наблюдения обнаруживается лишь след нанесенного повреждения большой берцовой кости в виде желоба размерами в среднем 4x2 мм. На более ранних этапах наблюдаются прогрессивно уменьшающиеся размеры сквозного дефекта, которые на сроке эксперимента 4 недели составили 5x3 мм.

Полученные данные согласуются с результатами гистоморфологических исследований.

В опытной группе на сроке эксперимента 4 недели в препаратах отмечено формирование губчатой костной ткани в зоне

дефекта. Края дефекта были представлены компактной костной тканью, заметно утолщены с наличием их перестройки, расширенными гаверсовыми каналами в этой области (рис. 2, А). Новообразованные костные балки были окружены значительным количеством остеобластов. Вокруг формирующихся костных балок имелась довольно нежная ретикуло-фиброзная ткань с неравномерным количеством клеточных элементов. Со стороны миелоидного костного мозга, а также в ряде препаратов отмечено активное образование костных структур. В участках пластинчатой костной ткани, прилежащих к зоне дефекта, отмечались явления её перестройки в направлении губчатой костной ткани, сопровождавшиеся выделением остеонов с четкими границами.

В контрольной группе на сроке эксперимента 4 недели в зоне дефекта отмечались немногочисленные хаотично расположенные костные балки, окруженные миелоидным костным мозгом (рис. 2, Г). Между костными балками имелись мелкие участки ретикуло-фиброзной ткани. Со стороны краев дефекта заметного утолщения костных балок, их перестройки не отмечалось. Со стороны надкостницы также не отмечалось заметной активизации пролиферативных процессов, направленных на замещение дефекта. Таким образом, наиболее выраженная активизация процессов репарации наблюдалась со стороны костномозгового пространства.



Рис. 2. Восстановление дефекта бедренной кости животных экспериментальной и контрольной групп на разных сроках эксперимента. Окраска гематокислин-эозин, ув. x50

Сравнительная характеристика состояния костной ткани в зоне дефекта бедренной кости животных экспериментальной и контрольной групп на разных сроках эксперимента

Показатель Me (25%; 75%)	Площадь костных балок зоны дефекта, в 10 п.з., ув.х200, мкм ²		Толщина кортикальной костной пластинки в зоне дефекта, мкм
Срок эксперимента	4 недели	8 недель	12 недель
Экспериментальная группа n = 4	216501,1 (192210,7; 240633,6)*	312295,4 (262213,0; 381100,0)	1027,2 (865,3; 1250,0)*
Контрольная группа n = 4	162354,2 (136345,9; 189816,2)*	231550,0 (204451,5; 251583,1)	630,8 (534,5; 899,1)

Примечание. * – $p \leq 0,05$ по сравнению с контрольной группой.

Через 8 недель в опытной группе и контрольной группах в зоне дефекта отмечали формирование тонкой компактной костной пластинки, но в контрольной группе новообразованные костные структуры не соединяли края дефекта. Одновременно фиксировали сохранение умеренно выраженных изменений со стороны пластинчатой костной ткани краев дефекта в виде их утолщений и расширений гаверсовых каналов. Со стороны миелоидного костного мозга и надкостницы образования костных балок не отмечалось как в экспериментальной (рис. 2, Б), так и в контрольной группе (рис. 2, Д).

Морфометрический анализ (таблица) показал, что площадь новообразованных костных балок в группе животных, в которой применялась клеточно-инженерная конструкция, по сравнению с контрольной на 25,0% больше ($p = 0,035$) на 4 неделе эксперимента и на 25,9% через 2 месяца ($p = 0,410$).

На экспериментальном сроке 12 недель в зоне дефекта бедренной кости у всех животных контрольной группы отмечалось неполное восстановление дефекта с формированием довольно тонкой кортикальной костной пластинки, толщина которой была меньше в 4 раза по сравнению с неизмененной компактной костной тканью рядом расположенных участков (рис. 2, Е).

В экспериментальной группе животных зона дефекта была выполнена сформированной компактной костной пластинкой, соединяющей несколько утолщенные края дефекта. В зону дефекта вдавался участок миелоидного и жирового костного мозга. Толщина кортикальной костной пластинки в среднем была на 38,6% больше ($p = 0,029$), чем в контрольной группе.

Таким образом, уже через 4 недели наблюдения отмечалось заметное различие в степени выраженности остеогенеза в зоне дефекта, который был значительно выражен в экспериментальной группе. К 12 неделям наблюдения, как в опытной, так

и в контрольной группе животных фиксировалось восстановление кортикальной костной пластинки. Но в опытной группе восстановленная кортикальная костная пластинка по толщине была сравнима с интактными участками, тогда как в контрольной группе ее толщина была значительно меньше толщины неповрежденной костной ткани. То есть можно говорить о том, что клеточно-инженерная конструкция на основе аллогенных МСК-КМ и ксеногенного коллагена стимулируют восстановление модельного костного дефекта у кролика.

Заключение

Проведенное исследование показало, что клетки, выделенные из костного мозга кролика, соответствовали критериям мезенхимальных стволовых клеток. При культивировании на ксеногенной коллагеновой матрице в течение всего срока наблюдения (120 ч) МСК – КМ кролика сохраняли жизнеспособность, типичные морфологические характеристики и пролиферативную активность.

Сформированная клеточно-инженерная конструкция (через 48 ч после введения клеток) содержала жизнеспособные клетки и может быть использована для восстановления костного дефекта.

Использование клеточно-инженерной конструкции на основе ксеногенного коллагена и аллогенных МСК – КМ было эффективно при восстановлении костного дефекта в эксперименте, о чем свидетельствовало ускорение и оптимизация репаративных процессов в области дефекта костной ткани у животных опытной группы по сравнению с контрольной группой.

Авторы выражают благодарность С.Н. Бугрову за помощь в проведении гистоморфологических исследований.

Список литературы

1. Воробьев К.А., Божкова С.А., Анисимова Л.И., Нетьлько Г.И. Влияние методов заготовки костнопластического материала на процессы ремоделирования

- в модели костного дефекта в эксперименте *in vivo* // Практическая медицина. 2019. Т. 17. № 1. С. 67–72. DOI: 10.32000/2072-1757-2019-1.
2. Колсанов В.С., Савельев Р.И., Петров В.А., Аляев В.А., Максудов Р.Н., Валиуллин Л.Р., Рагинов И.С., Идиятов И.И., Бирюля В.В. Получение высокоочищенного композитного материала для замещения дефектов кости методами сверхкритической очистки и импрегнации // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 20. С. 177–178.
3. Бочкарев В.В., Виденин В.Н., Дружинина Т.В., Трофимов К.В., Климентьева А.А., Попов В.П. Биодegradирuемый материал на основе гидроксиапатита для замещения костной ткани в эксперименте на животных // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2016. Т. 2. № 30. С. 28–31.
4. Кутепов С.М., Волокитина Е.А., Гилев М.В., Антониади Ю.В., Помогаев Е.В. Аугментация костных дефектов дистального отдела большеберцовой кости синтетическим b-трикальций фосфатом и ксенопластическим материалом «Остеоматрикс» при хирургическом лечении внутрисуставных импрессионных переломов // Гений ортопедии. 2016. № 3. С. 14–20. DOI: 10.18019/1028-4427-2016-3-14-20.
5. Кузнецова Д.С., Тимашев П.С., Баграташвили В.Н., Загайнова Е.В. Костные имплантаты на основе скаффолдов и клеточных систем в тканевой инженерии (Обзор) // СТМ. 2014. Т. 6. № 4. С. 206–212.
6. Шехтер А.Б., Гуллер А.Е., Истранов Л.П., Истранова Е.В., Бутнару Д.В., Винаров А.З., Захаркина О.Л., Курков А.В., Кантимеров Д.Ф., Антонов Е.Н., Марисов Л.В., Глыбочко П.В. Морфология коллагеновых матриц для тканевой инженерии (биосовместимость, биодegradация, тканевая реакция) // Архив патологии. 2015. Т. 77. № 6. С. 29–38.
7. Сагинова Д.А. Локальное использование биодegradируемых материалов в лечении хронического остеомиелита // Вестник Казахского Национального медицинского университета. 2018. № 1. С. 199–214.
8. Митрофанов В.Н., Живцов О.П. Опыт применения ультразвуковой кавитации при лечении пациентов с хроническим полостным остеомиелитом // Медицинский альманах. 2013. Т. 3. № 27. С. 115–116.
9. Шудрик А.В., Киселев И.Г., Безин А.Н. Влияние стромально-васкулярной фракции жировой ткани на репаративный остеогенез у животных // АПК России. 2019. Т. 26. № 1. С. 105–110.
10. Caplan A.I. Why are MSCs therapeutic? Neu data: new insight. J. Pathol. 2009. vol. 217. P. 318–324. DOI: 0.1002/path.2469.
11. Caplan A.I., Hariri R. Body Management: Mesenchymal Stem Cells Control the Internal Regenerator. Stem Cells Transl. Med. 2015. vol. 4. no. 7. P. 695–700. DOI: 10.5966/sctm.2014-0291.
12. Dominici M., Le Blanc K., Mueller I., Slaper-Cortenbach I., Marini F., Krause D., Deans R., Keating A., Prockop D.J., Horwitz E. Minimal criteria for defining multipotent mesenchymal stromal cells. The International Society for Cellular Therapy position statement. Cytotherapy. 2006. vol. 8. no. 4. P. 315–317. DOI: 10.1080/14653240600855905.
13. Gun-Il I., Shin Y.W., Lee K.B. Do adipose tissue-derived mesenchymal stem cells have the same osteogenic and chondrogenic potential as bone marrow-derived cells? Osteoarthritis Cartilage 2005. vol. 13. P. 845–853. DOI: 10.1016/j.joca.2005.05.005.
14. Hayashi O., Katsube Y., Hirose M., Ohgushi H., Ito H. Comparison of Osteogenic Ability of Rat Mesenchymal Stem Cells from Bone Marrow, Periosteum, and Adipose Tissue. Calcif Tissue Int. 2008. vol. 8. P. 238–247. DOI: 10.1007/s00223-008-9112-y.
15. Алейник Д.Я., Чарыкова И.Н., Сидорова Т.И. Исследование нового костно-замещающего препарата на модели *in vitro* // Технологии живых систем, 2013. Т. 10. № 8. С. 38–42.

УДК 618.146-001.5:611.663

ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АКУШЕРСКОЙ ТРАВМЫ ШЕЙКИ МАТКИ: ТЕНДЕНЦИИ И ПРОГНОЗ

¹Самигуллина А.Э., ²Акматабекова Н.Р.

¹Национальный центр охраны материнства и детства Министерства здравоохранения Кыргызской Республики, Бишкек, e-mail: samigullina.68@mail.ru;

²Кыргызский научный центр репродукции человека Министерства здравоохранения Кыргызской Республики», Бишкек

Актуальность акушерского травматизма шейки матки обусловлена высокой частотой встречаемости данной патологии, его ролью в развитии патологии репродуктивной функции женщин, риском восходящей инфекции и недостаточной эффективностью существующих методов лечения, а своевременная ликвидация травмы шейки матки является эффективной профилактикой ближайших и отдаленных последствий. Отсутствие в Кыргызской Республике работ, посвященных изучению частоты и тенденций встречаемости отдаленных последствий акушерской травмы, подчеркивают актуальность проведенного исследования для страны. Целью данного исследования стало изучение частоты и динамики отдаленных последствий акушерской травмы шейки матки. В проспективном исследовании на базе КРД НЦОМиД за период 2011–2019 гг. приняли участие 25420 женщин, обратившихся в кабинет патологии шейки матки. В ходе исследования установлено, что на долю патологии шейки матки, связанной с акушерской травмой в среднем приходится 16,1% или 502,5 обращений в год. Структура патологии представлена в среднем: деформацией шейки матки – 8,5% (263,5 обращений в год), гипертрофией шейки матки – 6,2% (191,4 обращений в год) и эктропионом шейки матки – 1,5% (47,6 обращений в год). Установлено статистически значимое снижение: деформации шейки матки в 1,7 раз, $p < 0,001$ и гипертрофии шейки матки в 1,4 раза, $p < 0,001$ и рост числа эктропионов шейки матки в 2,1 раза, $p < 0,001$. Среднесрочный прогноз подтверждает данную тенденцию до 2023 г.: снижение деформаций шейки матки до 3,5% в год, $p < 0,001$ и гипертрофий шейки матки – 3,5% в год, $p < 0,05$ и рост до 2,2% эктропионов шейки матки, $p < 0,05$. Внедрение рекомендованных ВОЗ стандартов имело положительный эффект для снижения числа деформаций и гипертрофий шейки матки, однако актуальным остаются разрывы шейки матки до 1 см, которые служат причиной роста эктропионов шейки матки, что в свою очередь увеличивает риски развития неоплазии шейки матки.

Ключевые слова: акушерская травма, шейка матки, отдаленные последствия, деформация, гипертрофия, эктропион, тенденции, прогноз

REMOTE CONSEQUENCES OF OBSTETRIC INJURY OF THE CERVIX UTERI: TRENDS AND FORECAST

¹Samigullina A.E., ²Akmatbekova N.R.

¹National Center for Maternal and Child Welfare of the Ministry of Health of the Kyrgyz Republic, Bishkek, e-mail: samigullina.68@mail.ru;

²Kyrgyz Research Center for Human Reproduction of the Ministry of Health of the Kyrgyz Republic, Bishkek

The relevance of obstetric cervical injury is due to the high frequency of occurrence of this pathology, its role in the development of pathology of the reproductive function of women, the risk of ascending infection and the lack of effectiveness of existing treatment methods, and the timely elimination of cervical injury is an effective prevention of immediate and long-term consequences. The absence in the Kyrgyz Republic of studies on the frequency and trends in the occurrence of long-term consequences of obstetric trauma emphasize the relevance of the study for the country. The aim of this study was to study the frequency and dynamics of the long-term effects of obstetric cervical trauma. In a prospective study based on the National Center for Maternal and Child Welfare of the Ministry of Health for the period 2011-2019, 25,420 women came to the cervical pathology cabinet. The study found that the share of cervical pathology associated with obstetric trauma on average accounts for 16.1% or 502.5 visits per year. The structure of the pathology is presented on average: cervical deformity – 8.5% (263.5 calls per year), cervical hypertrophy – 6.2% (191.4 calls per year) and cervical ectropion – 1.5% (47.6 hits per year). A statistically significant decrease was found: cervical deformities 1.7 times, $p < 0.001$ and cervical hypertrophy 1.4 times, $p < 0.001$ and a 2.1-fold increase in the number of cervical ectropions, $p < 0.001$. The medium-term forecast confirms this trend until 2023: a decrease in cervical deformities to 3.5% per year, $p < 0.001$ and cervical hypertrophy – 3.5% per year, $p < 0.05$ and an increase to 2.2% of cervical ectropions uterus, $p < 0.05$. The implementation of the WHO recommended standards had a positive effect in reducing the number of cervical deformities and hypertrophies, however, cervical tears up to 1 cm remain relevant, which cause the growth of cervical ectropions, which in turn increases the risks of developing cervical neoplasia.

Keywords: obstetric trauma, cervix, long-term effects, deformation, hypertrophy, ectropion, trends, prognosis

Актуальность акушерского травматизма шейки матки обусловлена высокой частотой встречаемости данной патологии (до 70,0%) и его ролью в развитии патологии репродуктивной функции женщин, риском

восходящей инфекции (до 69,9%) и недостаточной эффективностью существующих методов лечения [1].

Полученная в процессе родов травма шейки матки приводит к анатомическому

повреждению органа с вовлечением в этот процесс соединительнотканых волокон, сосудов и нервных рецепторов, в результате чего нарушается трофика тканей и развивается целый каскад патологических регенеративных процессов [2].

Мировые тенденции, учитывающие рекомендации ВОЗ, привели к тому, что шейка матки не осматривается после родов и при выписке женщин из акушерского стационара без признаков кровотечения, что в свою очередь приводит к запоздалой диагностике и отсутствию первичной хирургической помощи родильницам [3].

Своевременная ликвидация травмы шейки матки путем хирургического восстановления целостности является эффективной профилактикой ближайших и отдаленных последствий [4].

В ряде работ приведены данные о тесной корреляционной связи между акушерскими травмами шейки матки и развитием отдаленных последствий, таких как фоновые и предраковые состояния шейки матки. Активная метаплазия резервных клеток, направленная на восстановление дефекта, в условиях хронического воспалительного процесса в разы повышает риск появления атипии, а учитывая неуклонный рост частоты предраковых заболеваний шейки матки в начале XXI в. у женщин молодого фертильного возраста, ставит перед исследователями новые задачи [5].

В своей работе Н.Р. Акматбекова с соавт. (2012) доказали высокую роль акушерской травмы шейки матки в развитии послеродовых осложнений и с целью профилактики послеродовых гнойно-септических осложнений рекомендовали обязательный осмотр родовых путей женщин после родов [6].

Учитывая все вышесказанное, интересным в научном плане станет исследование, посвященное изучению частоты и тенденций отдаленных последствий акушерской травмы шейки матки.

Цель исследования: изучить частоту и динамику отдаленных последствий акушерской травмы шейки матки.

Материалы и методы исследования

Проспективное исследование проведено на базе КРД НЦОМид за период 2011–2019 гг. Объектом исследования стали 25420 женщин, обратившихся в кабинет патологии шейки матки Центра планирования семьи «Брак и семья», которые были подвергнуты гинекологическому осмотру с расширенной кольпоскопией, из них у 4020 женщин были выявлены последствия акушерской травмы шейки матки в виде: деформации шейки матки – 2108 женщин,

гипертрофии шейки матки – 1531 женщина и эктропиона шейки матки – 381 женщина.

Проведен анализ частоты встречаемости (абс. числа) и доли (%) в структуре патологии шейки матки отдаленных последствий акушерской травмы шейки матки, сглаживание динамического ряда произведено с помощью метода укрупнения ряда и скользящей средней.

Среднесрочный прогноз до 2023 г. рассчитан путем изучения зависимости Y от X , на этапе спецификации выбрана парная линейная регрессия, параметры регрессии оценены методом наименьших квадратов. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Параметры уравнения вычислены с помощью метода наименьших квадратов. Качество полученного уравнения проверено: значимостью коэффициентов и критерием Стьюдента, значимость уравнения в целом коэффициентов критерием Фишера (F-статистика), эмпирическим корреляционным отношением, коэффициентом детерминации. Оценка качества построенной модели проверена гетероскедастичностью, тестом Спирмена и Голдфелда – Квандта.

Статистическую обработку цифровых показателей проводили после предварительного анализа всех параметров, полученных в процессе исследования. Все количественные характеристики изученных показателей были обработаны методами статистического анализа на компьютере IBM-P166 с использованием стандартного пакета программ.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования нами установлено, что за 8-летний период 2011–2018 гг. число женщин обратившихся на прием к врачу по поводу патологии шейки матки выросло в 1,4 раза. Из общего числа обращений в кабинет патологии шейки матки Центра планирования семьи «Брак и семья» клинического родильного дома Национального центра охраны материнства и детства на долю отдаленных последствий акушерской травмы приходится в среднем 16,1%, число женщин с данной патологией в среднем составило 502,5 в год (табл. 1). Акушерская травма стала причиной формирования эктропиона, деформации и гипертрофии шейки матки. Среди выявленной патологии лидирующее место занимает деформация шейки матки (в среднем 263,3 женщины в год и 8,5% в структуре обращений), на следующем месте гипертрофия шейки мат-

ки (в среднем 191,4 женщин в год и 6,2% в структуре обращений) и на последнем – эктропион шейки матки (в среднем 47,6 женщин в год и 1,5% в структуре обращений). Обращает на себя внимание тот факт, что в процентном соотношении в структуре обращений по поводу акушерской травмы отмечается снижение показателя в 1,5 раза, однако в абсолютных числах число женщин имеет стабильную динамику без тенденции к снижению.

На рис. 1 нами наглядно представлена 8-летняя тенденция доли встречаемости патологии шейки матки, связанной с последствиями акушерской травмы. При этом деформация шейки матки, занимая первое ранговое место как наиболее часто встречающаяся патология, на долю которой в 2011 г. приходится 11,4%, имеет тенденцию к снижению до 6,7% к 2018 г., показатель снизился в 1,7 раз.

Для гипертрофии шейки матки характерен рост показателя до 2014 г. в 1,8 раз, (в 2011 г. – 4,7%, к 2014 г. – 8,2%) с последующим снижением в 2,4 раза до 2018 г. (2018 г. – 3,4%), общая тенденция снижения за 8-летний период составили 1,4 раза, $p < 0,001$.

Эктропион шейки матки в структуре патологии шейки матки встречается статистически значимо реже деформации и гипертрофии шейки матки, однако за анализируемый период имеет тенденцию роста в 2,1 раза. На долю данной патологии в 2011 г. приходится 0,7%, а к 2018 г. отмечается рост до 1,5%, $p < 0,001$.

В абсолютных цифрах (рис. 2) динамика и тенденции встречаемости патологии шейки матки имеют несколько другую картину. Для всех трех показателей в 2015 г. характерно снижение числа обращений, при этом на этот год приходится снижение и общего числа обращений в кабинет патологии шейки матки с последующим ростом обращений в 2016 г. Для деформации шейки матки характерно снижение числа обращений до 2015 г., тогда как для остальных нозологий отмечается рост данных показателей.

Для гипертрофии шейки матки характерен рост показателя до 2014 г. в 1,8 раз, (в 2011 г. – 4,7%, к 2014 г. – 8,2%) с последующим снижением в 2,4 раза до 2018 г. (2018 г. – 3,4%), общая тенденция снижения за 8-летний период составили 1,4 раза, $p < 0,001$.

Таблица 1

Доля отдаленных последствий акушерской травмы шейки матки в структуре обращений в кабинет патологии шейки матки КРД НЦОМид за период 2011–2018 гг.

Годы	Всего обращений (абс.)	Последствия акушерской травмы		Эктропион		Деформация		Гипертрофия	
		абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
2011	2675	452	16,9	19	0,7	306	11,4	127	4,7
2012	2899	493	17,0	35	1,2	265	9,1	193	6,7
2013	2892	533	18,4	40	1,4	273	9,4	220	7,6
2014	2888	563	19,5	59	2,0	266	9,2	238	8,2
2015	2801	464	16,6	38	1,4	225	8,0	201	7,2
2016	3652	572	15,7	68	1,9	268	7,3	236	6,5
2017	3802	500	13,2	64	1,7	251	6,6	185	4,9
2018	3808	443	11,6	58	1,5	254	6,7	131	3,4
\bar{X}	3177,1	502,5	16,1	47,6	1,5	263,5	8,5	191,4	6,2

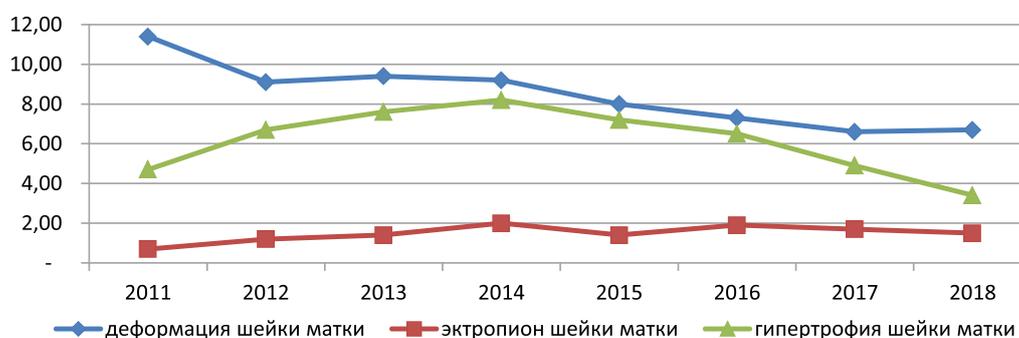


Рис. 1. Доля патологии шейки матки, связанной с акушерской травмой, за период 2011–2018 гг.

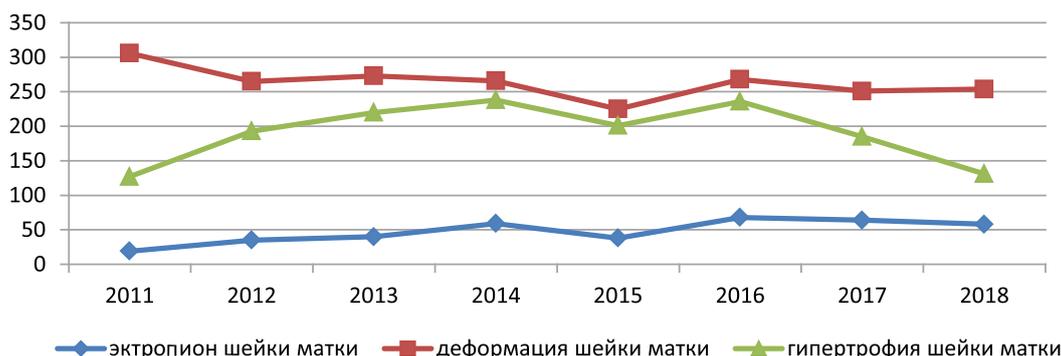


Рис. 2. Частота встречаемости патологии шейки матки, обусловленной акушерской травмой, за период 2011–2018 гг. (абс.)

Обращает на себя внимание рост обращений по поводу эктропиона шейки матки в 3,1 раз за наблюдаемый период (2011 г. – 19 женщин, в 2018 г. – 58 женщин), $p < 0,001$.

На следующем этапе исследования нами произведено укрупнение интервального ряда, для выявления общей динамики тенденций обращаемости по поводу отдаленных последствий акушерской травмы шейки матки.

Таблица 2

Тенденции встречаемости деформации шейки матки по обращаемости в КРД НЦОМид за период 2011–2018 гг.

Годы	Деформация (%)	Метод укрупнения интервала	Метод скользящей средней
2011	11,4	10,3	10,8
2012	9,1		10,0
2013	9,4	9,3	9,2
2014	9,2		8,9
2015	8,0	7,7	8,2
2016	7,3		7,3
2017	6,6	6,7	6,9
2018	6,7		6,5

Как видно из табл. 2, для деформации шейки матки характерна тенденция снижения встречаемости данной патологии среди женщин, обратившихся в КРД НЦОМид за анализируемый период. На наш взгляд, полученные цифры указывают на положительную динамику, которая указывает на улучшение качества специализированной акушерской помощи женщинам во время родов, а внедрение стандартов, рекомендованных ВОЗ, позволяет своевременно выявлять разрывы шейки матки II–III степени в раннем послеродовом периоде и качественно, а главное своевременно ушивать раны. Проведенный

анализ позволил выявить положительную динамику снижения частоты отдаленных негативных последствий акушерской травмы в виде деформации шейки матки, что в перспективе снижает оперативную активность в виде абдоминальных родов и в свою очередь приводит к снижению материнской заболеваемости и смертности.

По-иному выглядит патология шейки матки, связанная с отдаленными последствиями акушерской травмы шейки матки в виде гипертрофии шейки матки (табл. 3). По данным литературы своевременно не диагностируемые разрывы шейки матки во время родов I–II степени нарушают архитектуру шейки матки, вызывая функциональную патологию, которая способствует длительно существующим хроническим воспалительным процессам, приводящим к компенсаторному разрастанию соединительной ткани и формированию гипертрофии шейки матки. Отсутствие или наличие незначительных кровотечений в раннем послеродовом периоде в акушерской практике влечет за собой снижение хирургической активности, в результате чего шейка матки без клинических проявлений (кровотечение) не ушивается, что и привело в данном случае к росту частоты встречаемости гипертрофии шейки матки. Укрупнение интервального ряда по данной патологии выявило рост частоты встречаемости гипертрофий шейки матки до 2016 г. с последующим снижением показателя. В целом за анализируемый период отмечается положительная динамика незначительного снижения показателя (2011 г. – 4,9%, в 2018 г. – 3,4%). Полученные цифры указывают на необходимость взвешенного подхода к устранению дефектов шейки матки при акушерских травмах, при наличии выраженного дефекта все же необходимо ушивать разрывы шейки матки в раннем послеродовом периоде, что в последующем приведет к снижению числа отдаленных последствий

травм мягких тканей. В дальнейшем послеродовая активная хирургическая тактика позволит снизить число женщин с воспалительными заболеваниями шейки матки и в будущем снизить заболеваемость шейки матки.

Таблица 3
Тенденции встречаемости гипертрофии шейки матки по обращаемости в КРД НЦОМид за период 2011–2018 гг.

Годы	Гипертрофия (%)	Метод укрупнения интервала	Метод скользящей средней
2011	4,7	5,7	4,9
2012	6,7		6,3
2013	7,6	7,9	7,5
2014	8,2		7,7
2015	7,2	6,8	7,3
2016	6,5		6,2
2017	4,9	4,2	4,9
2018	3,4		3,4

Наиболее неблагоприятной, по нашим данным, является динамика заболеваемости эктропионом шейки матки (табл. 4). Укрупнение интервального ряда позволило наглядно выявить, что данная патология имеет тенденцию роста за анализируемый период, что является отрицательным моментом, так как длительно существующая метаплазия в зоне стыка двух эпителиев при вывороте шейки матки является фактором развития неоплазии и увеличивает риски развития рака шейки матки. Отсутствие кровотечения при разрывах шейки матки до 1 см по внедренным в стране стандартам ВОЗ не требует их ушивания в раннем послеродовом периоде, что в конечном счете и приводит к росту данной патологии.

Таблица 4
Тенденции встречаемости эктропиона шейки матки по обращаемости в КРД НЦОМид за период 2011–2018 гг.

Годы	Эктропион (%)	Метод укрупнения интервала	Метод скользящей средней
2011	0,7	0,9	0,8
2012	1,2		1,1
2013	1,4	1,7	1,5
2014	2,0		1,6
2015	1,4	1,6	1,8
2016	1,9		1,7
2017	1,7	1,6	1,7
2018	1,5		1,5

Полученные данные с помощью метода скользящей средней легли в основу расчета среднесрочного прогноза выявленной патологии, обусловленной акушерской травмой шейки матки (рис. 3). Как видно из рисунка, число обращений по поводу деформации и гипертрофии шейки матки имеет тенденцию снижения до 2023 г., однако отмечается рост обращений по поводу эктропиона шейки матки. За 11-летний период доля обращений по поводу деформации шейки матки снизится в 3,3 раза и составит 3,5 % в год ($r = 0,9$; $R^2 = 0,9$; $t = 7,2$), $p < 0,001$.

Для гипертрофии шейки матки характерно также снижение показателя до 2023 г. до 3,5 %, отсюда за анализируемый период тенденция снижения менее выраженная в 1,4 раза ($r = 0,5$; $R^2 = 0,2$; $t = 2,4$), $p < 0,05$.

Среднесрочный прогноз выявил рост числа обращений по поводу эктропиона шейки матки в 3,1 раз и к 2023 г. доля данной патологии составит 2,2 % ($r = 0,7$; $R^2 = 0,6$; $t = 2,7$), $p < 0,05$.

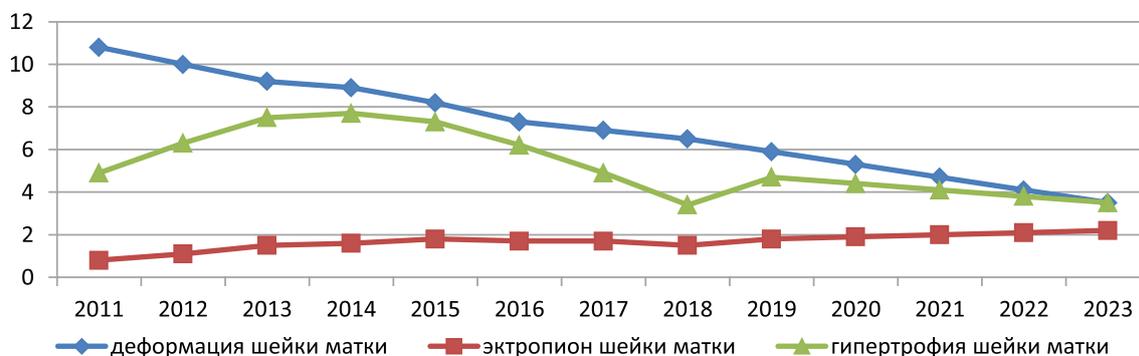


Рис. 3. Среднесрочный прогноз патологии шейки матки, обусловленной акушерской травмой, до 2023 г. (%)

Таким образом, проведенный анализ частоты и тенденций встречаемости патологии шейки матки, обусловленной акушерской травмой, за период 2011–2018 гг. позволил сделать следующие выводы:

1) на долю патологии шейки матки, связанной с акушерской травмой, в среднем приходится 16,1% или 502,5 обращений в год из общего числа обращений;

2) структура данной патологии представлена в среднем: деформацией шейки матки – 8,5% (263,5 обращений в год), гипертрофией шейки матки – 6,2% (191,4 обращений в год) и эктропионом шейки матки – 1,5% (47,6 обращений в год);

3) установлена положительная тенденция снижения показателей за анализируемый период: деформации шейки матки в 1,7 раз, $p < 0,001$ и гипертрофии шейки матки в 1,4 раза, $p < 0,001$, однако для эктропиона шейки матки характерен рост в 2,1 раза, $p < 0,001$;

4) среднесрочный прогноз подтверждает данную тенденцию до 2023 г.: снижение показателя для деформации шейки матки до 3,5% в год ($r = 0,9$; $R^2 = 0,9$; $t = 7,2$), $p < 0,001$ и гипертрофии шейки матки – 3,5% в год ($r = 0,5$; $R^2 = 0,2$; $t = 2,4$), $p < 0,05$ и рост в 3,3 раза до 2,2% для эктропиона шейки матки ($r = 0,7$; $R^2 = 0,6$; $t = 2,7$), $p < 0,05$;

5) внедрение, рекомендованных ВОЗ, стандартов осмотра шейки матки в раннем

послеродовом периоде и ушивание раны только при наличии кровотечения имело положительный эффект для снижения числа деформаций и гипертрофий шейки матки;

6) актуальным остаются разрывы шейки матки до 1 см без наличия кровотечения, которые служат причиной роста отдаленных последствий – эктропиона шейки матки, что в свою очередь увеличивает риски развития неоплазии шейки матки.

Список литературы

1. Бадретдинова Ф.Ф., Глебова Н.Н., Короткова Л.А., Хасанов А.Г., Трубин В.Б. Акушерская травма и рубцовая деформация шейки матки: некоторые спорные вопросы проблемы (обзор литературы) // Научное обозрение. Медицинские науки. 2016. № 5. С. 23–30.
2. Бадретдинова Ф.Ф., Трубина Т.Б., Хасанов А.Г. Некоторые аспекты профилактики и лечения последствий акушерской травмы шейки матки // Лечение и профилактика. 2014. Т. 10. № 2. С. 5–10.
3. Линева О.И. От агрессии к безопасному материнству // Status Praesens. 2012. № 3. С. 28–31.
4. Селихова М.С., Вдовин С.В., Котовская М.В., Абабян Н.В. Современные подходы к ведению родильниц с родовым травматизмом // Акушерство и гинекология. 2013. № 5. С. 70–75.
5. Кижаяев Ю.Е., Ландеховский Ю.Д., Подзолкова Н.М. Комплексное обследование и лечение больных с рубцовой деформацией шейки матки // Проблемы репродукции. 2009. Т. 15. № 1. С. 39.
6. Акматбекова Н.Р., Рыскельдиева В.Т. Разрывы шейки матки как фактор риска возникновения послеродовых осложнений // Центрально-Азиатский медицинский журнал. 2012. Т. XYIII. № 3. С. 294–295.

УДК 614.446.1

АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ПИТАНИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ КУРОРТОВ

Туманова А.Л., Кочетков Н.М.

НИМЦ Экологии и здоровья человека, Сочи, e-mail: tymanova@mail.ru

Решить ряд проблем рационального и эпидемически безопасного питания позволяет использование в качестве источников биологически активных соединений сине-зеленой водоросли хлореллы. Впервые на полезные свойства хлореллы обратили внимание японские ученые, которые много лет занимаются вопросами детоксикации и выведения радионуклидов из организма. Сейчас хлорелла – известное средство в борьбе с раком и даже иммунодефицитом, которое доступно каждому. Хлорелла – полноценный микроорганизм, который продуцирует естественный кобаламин, как и молочные бактерии. Хлорелла – мощный иммуностимулятор, в несколько раз повышающий концентрацию иммуноглобулинов А в слюне, а значит, защитный барьер от инфекций верхних дыхательных путей и полости рта. Ученые уже сделали вывод, что в перспективе хлорелла и препараты на ее основе могут послужить основой средств в борьбе с вирусом иммунодефицита человека. Хлорелла показывает самую высокую аккумуляцию тяжелых металлов. Водоросль улучшает состояние печени, стимулирует защитную реакцию и положительно влияет на клеточные стенки органа. Хлорелла – лучший помощник в вопросах очищения и выведения шлаков из организма. В данной работе представлены результаты исследований, в том числе и собственных, позволяющих дать предварительную оценку эколого-эпидемиологически безопасного питания мерам эколого-эпидемиологической защиты устойчивости иммунитета и адаптивности желудочно-кишечного тракта посредством комбинации продуктов на основе производных микроводоросли хлореллы. Полученные данные позволяют считать актуальным проведение последующих экспериментальных исследований возможности потенцирования высокого оздоровительного эффекта при совмещении концентрата композиций БАД на основе производных микроводоросли «Живая хлорелла» путём совмещения с БАВ и фитопродуктами, задавая акценты в соответствии с необходимой соматической направленностью для эпидемиологической защиты устойчивости иммунитета и адаптивности желудочно-кишечного тракта туриста посредством комбинации продуктов на основе производных микроводоросли хлореллы с этнографическими особенностями национальной кухни и эколого-эпидемиологическими рисками.

Ключевые слова: рациональное и безопасное питание, биологически активные вещества, антиокислительная активность, протекторные свойства, устойчивость иммунитета

ASPECT OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY POWER THE SECURED AND EPIDEMIOLOGICAL PROTECTION RESORTS

Tumanova A.L., Kochetkov N.M.

Medical Research Center Ecology and human health, Sochi, e-mail: tymanova@mail.ru

The use of blue-green algae chlorella as sources of biologically active compounds makes it possible to solve a number of problems of rational and epidemiologically safe nutrition. For the first time, Japanese scientists, who have been dealing with detoxification and elimination of radionuclides from the body for many years, drew attention to the beneficial properties of chlorella. Now chlorella is a well-known tool in the fight against cancer and even immunodeficiency, which is available to everyone. Chlorella is a complete microorganism that produces natural cobalamin, like milk bacteria. Chlorella – a powerful immunostimulant in several times increasing the concentration of immunoglobulins A in saliva, which means a protective barrier against infections of the upper respiratory tract and oral cavity. Scientists have already concluded that in the future, chlorella and drugs based on it can serve as the basis for the fight against the human immunodeficiency virus. Chlorella shows the highest accumulation of heavy metals. Algae improves the condition of the liver, stimulates a protective reaction and positively affects the cell walls of the organ. Chlorella is the best assistant in matters of cleansing and removing toxins from the body. This paper presents the results of research, including their own, allowing to make a preliminary assessment of the ecological and epidemiological security of supply measures of ecological and epidemiological Def and you immunity sustainability and adaptability of the gastrointestinal tract postreds m vom combination products based on derivatives of microalgae Chlorella. The data obtained allow to consider relevant follow-experimental research capabilities potentiation in s HIGH-improving effect when the concentrate alignment BAA compositions on a Nova derivatives microalgae «Live chlorella» by combining with the BAS and Phyto asking aktse n you according to the desired somatic oriented for Epidemiological protection from a stability with adaptive immunity of the gastrointestinal tract by the tourist pro-based combination products Chlorella microalgae-period with ethnographic and specific feature of a national cuisine and eco-epidemiological risk.

Keywords: rational and epidemiologically safe food, marine pharmaceuticals, biologically active substances, antioxidant activity, protective properties

Проблемы эколого-эпидемиологически безопасного питания становятся актуальнейшими проблемами в мире [1–3].

Экологически безопасной может являться только та продукция, которая в ука-

занные сроки годности, в соответствии с принятыми для данного вида продукции и её видов, соответствует по органолептическим, общегигиеническим, технологическим и токсикологическим показателям

и не оказывает негативного влияния на здоровье человека [4, 5].

Пышная субтропическая растительность, мягкий климат и теплое море делают Черноморское побережье притягательным для отдыхающих и туристов со всей России и зарубежья. Десятки туристических фирм предлагают и эмпирично актуализируют различные виды туристического отдыха, оздоровительный, производственный, паломнический, этнографический, «дикий» и др. Туристические маршруты предложат не только отдых в определенном городе, но и выезды в близлежащие местности, в том числе и за рубеж, в зонах приграничного касания, например из Сочи в Абхазию [6].

В связи с этим подвергается серьезным испытаниям как здоровье путешествующих туристов, так и контактирующих с ними туристов с основных мест локального пребывания и, что наиболее важно, на наш взгляд проживающего на этих территориях местного населения. Тропические болезни, распространенные на территории, где проживает половина населения Земли, способствуют гибели 2 млн чел. ежегодно. Кроме того, потепление климата способствует появлению в северных странах возбудителей различных инфекций, которые могут влиять на возникновение некоторых болезней, являющихся результатом употребления в пищу определенных продуктов.

Ухудшение экологической ситуации в мире, в том числе, связанной и с деятельностью человека, повлияло на качественный состав потребляемой пищи. Поэтому эпидемиологическая безопасность усугубляется болезнями и смертностью в результате употребления некачественных продуктов. Именно с продуктами питания в организм человека из окружающей среды поступает до 70% загрязнителей различной природы. Загрязнители попадают и накапливаются в пищевых продуктах по ходу как биологической цепи, обеспечивающей обмен между живыми организмами и воздухом, водой, почвой, так и в пищевой цепи, которая включает все этапы производства продовольственного сырья и пищевых продуктов, а также их хранение, упаковку и маркировку. По данным сервисных и страховых компаний каждый седьмой турист вынужден на отдыхе лечиться [7–9].

Инфекционные болезни занимают 10,5% страховых случаев; поскольку инкубационный период инфекционных заболеваний может длиться от нескольких часов до года то заболевших туристов фактически в несколько раз выше, чем 10,5%. Сочи также имеет эндемичные заболевания, вы-

зывающие единичные и массовые заболевания или определяющие определенную угрозу жителям и отдыхающим (боррелиоз и крымская геморрагическая лихорадка, бешенство, лептоспироз, малярия, трихенеллез и др). Новые виды туризма (экотуризм, агротуризм, ксенотуризм) сформировали опасность новых видов инфекционных болезней.

Среди отпускных нападений отдыхающих и населения курорта на первом месте стоит не экзотическая зараза, а кишечные инфекции – заболевания вызывающие диарею. Диарея туристов является широко распространенным феноменом, затрагивающим от 20 до 50% всего количества туристов. Чаще всего диарея является результатом употребления пищи или нарушения технологии приготовления продуктов и имеет микробное происхождение. Неуклонно растёт процент ВИЧ-инфицированных и др. опасных инфекций [10].

Больше двух миллиардов лет назад на нашей планете появилась уникальная водоросль хлорелла. В этой водоросли большое содержание хлорофилла, а также в ней множество других веществ, в которых нуждается сам человек. Хлорелла относится к суперпродуктам растительного происхождения и содержит большое количество хлорофилла и других полезных для организма веществ. Она является вегетарианским продуктом и соответствует стандарту GMP.

Цель исследования: разработка мер эколого-эпидемиологической защиты устойчивости иммунитета и адаптивности желудочно-кишечного тракта туриста посредством комбинации продуктов на основе производных микроводоросли хлореллы с этнографическими особенностями национальной кухни и эколого-эпидемиологическими рисками, связанными с состоянием окружающей среды прибрежных территорий и акватории моря.

Материалы и методы исследования

Были изучены как результаты и выводы работ (аналитический метод) различных авторов по применению хлорелловых продуктов, так и ранее проведенные собственные (сравнительный метод) исследования по применению микроводоросли хлореллы и её производных, оказывающей разностороннее оздоровительное и лечебное воздействие на организм приматов и человека.

Большинство достижений в медицинской сфере в XX в. зависели во многом от опытов на приматах. В частности, исследования на приматах (экспериментальный метод) проводили для изучения СПИДа и гепатита, процессов размножения, пред-

упреждения старения, профилактики онкопатологии и др.

Хорошее воспроизводство, физическое состояние, а также профилактику различных болезней невозможно обеспечить без сбалансированного и полноценного питания как животного, так и человека. Судить о питательности рационов можно полагаясь на присутствие в них белков, жиров, углеводов, витаминов и минералов, которые непосредственно влияют на организм человека и животного и на все жизненно важные процессы в организме [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Такая работа, в частности, была выполнена на базе ФГБНУ «НИИ медицинской приматологии» г. Сочи, Адлерского района, совместно с Научно-исследовательским институтом экспериментальной патологии и терапии Академии наук Абхазии (НИИЭПиТ АНА), г. Сухум [13].

Объектом исследования послужили 14 обезьян, в возрасте от 4 до 7 лет, вида Макак резус и Павиан гамадрил, у которых, при анализе отчетов о рождаемости за 2018 г., были выявлены случаи мертворождений, аборт и гибель приплодов в первый месяц жизни. Также материалами исследования являлась кровь приматов, отобранных для эксперимента, микроводоросль *Chlorella vulgaris* и ее производные. Контролем служили 6 обезьян, дифференцированных по видам и отсаженных в отдельные клетки.

Данный продукт целесообразно использовать для поддержки здоровья животных, которые содержатся в питомниках и подвергаются опытным испытаниям.

В проведенном эксперименте на приматах и кроликах была применена рецептура, состоящая из суспензии микроводоросли «*Chlorella vulgaris*, штамм-ИФР № С-111» в сочетании с гепатогенными биологическими препаратами (штамм – *Enterococcus faecium* L-3) – в комплексе с входящими в рецептуру соматически направленными фитопродуктами (фитосинергистами) В рамках выполнения ВКР проведены экспериментальные исследования для определения эффективности разработанных рецептур. Комплексное использование суспензии микроводоросли «*Chlorella vulgaris* ИФР № С-111» в сочетании биологическими препаратами с соматически направленными фитосинергистами показали высокую эффективность (от 50 до 72%) улучшения показателей уже на 10 день контроля, в сравнении с фоновыми исследованиями (у 79% животных), что доказывает целесообразность практического внедрения

разработанной рецептуры не только в питомники, но и актуальность для профилактики внутрибольничных инфекций.

Полученные результаты проведенных исследований совместно с НИИ медицинской приматологии на основе производных микроводоросли «Живая Хлорелла» микроводоросли *Chlorella vulgaris* (штамм ИФР С № 111) легли в основу нового методологического подхода к массовому оздоровлению и восстановлению здоровья населения и позволяют рекомендовать экологически чистые агротехнологии в обеспечении безопасности питания Курортов, на основе микроводоросли *Chlorella vulgaris* (штамм ИФР С № 111), способных обеспечить эпидемиологическую защиту курортных зон и биотехнологии здоровьесбережения.

Исследования были проведены НИМЦ экологии и здоровья человека кафедры физиологии СИРУДН совместно с НИИ МП и профильными учреждениями г. Сочи (НИЦКиР, Городской Центр по борьбе со СПИД, ГБУЗ «Пензенский ОКЦ специализированных видов медицинской помощи» и др.), которые стали обоснованием выбора составляющих БАД – производных биологически активной добавки на основе микроводоросли «Живая хлорелла», её культуральной среды и лиофилизата пробиотического непатогенного штамма *Enterococcus faecium* L-3, наиболее существенным фактом воздействия которых является способность микробиоценоза восстанавливаться в полной мере после возникновения дисбиоза [14, 15].

На базе ГУБЗ «Центр профилактики и борьбы со СПИД № 3» в период с 29 июня по 13 сентября 2016 г. были проведены собственные исследования по изучению влияния пищевого концентрата «Живая хлорелла» микроводоросли *Chlorella vulgaris* (штамм ИФР С № 111) на результаты иммунологических, биохимических и клинические анализы людей. Испытуемые добровольцы в количестве 10 человек в течение месяца принимали изучаемый концентрат «Живая хлорелла» по 40 мл в день. Исследования проводились до и после окончания приема концентрата. Из 10 добровольцев, 3 – с установленным диагнозом: доброволец 1 – ВИЧ-инфекция стадия 4Б вторичных заболеваний в процессе АРВТ: Фиброзно-кавернозный туберкулез легких в фазе инфильтрации и распада МЛУ, МБТ+, кандидоз слизистых ротоглотки, снижение массы тела более 20%; Хронический вирусный гепатит умеренной клинической активности; доброволец 2 – Хронический вирусный гепатит С умеренной клинической активности; доброволец 3 – рецидивирующая

герпетическая инфекция (Н. Simplex 1–2). В результате исследования было установлено: у всех добровольцев (10 человек) улучшение общего анализа крови по всем параметрам, биохимический анализ показал заметное понижение холестерина (5 добровольцев) так же произошла нормализация большинства показателей (сахар, АЛТ, АСТ, триглицериды, щелочная фосфатаза и др.). Таким образом в результате исследования был установлен оздоровительный эффект концентрата «Живая хлорелла» на организм всех участвующих в эксперименте добровольцев. Анализируемые данные показали очевидную возможность потенцирования эффективности таких сред путём совмещения с БАВ и фитопродуктами, задавая акценты в соответствии с необходимой соматической направленностью.

Заключение

Анализ результатов показал актуальность проведения последующих экспериментальных исследований, так как складываются реальные возможности потенцирования высокого оздоровительного эффекта при совмещении концентрата композиций БАД на основе производных микроводоросли «Живая хлорелла» с непатогенными штаммами «Живых пробиотиков» микроводоросли «Живая хлорелла».

В соответствии с проведенными доклиническими исследованиями при расчете предельных суточных дозировок были взяты за основу дозировки концентрата «Живая хлорелла» для человека в качестве безопасной биодобавки (авторская разработка проф., д.м.н. А.Л. Тумановой) [16].

Считаем целесообразным продолжение экспериментальных исследований в направлении потенцирования эффективности таких препаратов на основе производных микроводоросли хлореллы путём совмещения с БАВ и фитопродуктами, задавая акценты в соответствии с необходимой соматической направленностью для эпидемиологической защиты устойчивости иммунитета и адаптивности желудочно-кишечного тракта туриста посредством комбинации продуктов на основе производных микроводоросли хлореллы с этнографическими особенностями национальной кухни и эколого-эпидемиологическими рисками [17].

Список литературы

1. СанПиН 2.3.2.2509-09 «Санитарно-эпидемиологические требования безопасности и пищевой ценности специализированных пищевых продуктов для питания спортсменов» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gcgie.ru/CSportM.htm> (дата обращения: 13.10.2019).
2. Богданов Н.П. Суспензия хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных. 2-е изд. Пенза, 2007. С. 39.

3. Туманова А.Л. Кочетков Н.М. Использование пищевого концентрата «Живая хлорелла» в предупреждении и профилактике инфекционных заболеваний // Социально-значимые и особо опасные инфекционные заболевания: сборник тезисов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Сочи, 2016. С. 289.

4. Туманова А.Л. Применение пищевого концентрата «живая хлорелла»: методические рекомендации. М., 2016. 32 с.

5. Онищенко Г.Г. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения // Гигиена и санитария. 2013. Т. 92. № 2. С. 4–10.

6. Туманова А.Л. Кочетков Н.М. Использование пищевого концентрата «Живая хлорелла» в предупреждении и профилактике инфекционных заболеваний // Социально-значимые и особо опасные инфекционные заболевания: сборник тезисов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Сочи, 2016. С. 289.

7. Лукьянов В.А., Стифеев А.И. Горбунова С.Ю. Научно обоснованное культивирование микроводорослей // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 9. С. 55–57.

8. Петраков Е.С., Лукьянов В.А., Наумов М.М., Овчарова А.М., Софронова В.Г., Полякова М.Л., Петракова Н.С. Применение добавки на основе микроводорослей *Chlorella vulgaris* в кормлении цыплят-бройлеров // Проблемы биологии продуктивных животных. 2016. № 1. С. 96–104.

9. Петренко А.С., Суханов Б.П. Практика использования биологически активных добавок к пище в зарубежных странах (на примере США) // Вопросы питания. 2011. Т. 80. № 1. С. 56–63.

10. Олейник С.В., Куницын М.В. Использование концентрата хлореллы при лечении больных ВИЧ-инфекцией. Первые результаты пилотного исследования // Журнал инфектологии. Приложение 1. 2017. Т. 9 № 4. С. 103–104.

11. Минюк Г.С. Дробецкая И.В., Чубчикова И.Н., Терентьева Н.В. Одноклеточные водоросли как возобновляемый биологический ресурс: обзор // Морской экологический журнал. 2008. Т. VIII. № 2. С. 5–23.

12. Заключение по результатам химического исследования Центр химических исследований, № 04-03/16 от 04 апреля 2016 г. Топилин С.В. С. 47 [Электронный ресурс]. URL: http://chlorella.me/wp-content/uploads/2016/05/chlorella.me_composition_analysis.pdf (дата обращения: 13.10.2019).

13. Ахуба Л.О., Миквабия З.Я., Туманова А.Л. Результаты пилотного исследования влияния производных микроводоросли *Chlorella vulgaris* на состояние здоровья приматов // Молодые ученые в биологии и медицине: международная научно-практическая конференция. (Сочи, 18–19 апр. 2019 г.). Сочи: ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицинской приматологии», 2019. 215 с. С. 72.

14. Ermolenko E., Gromova L., Borshev Y., Voeikova A., Karaseva A., Ermolenko K., Grudzkov A., Suvorov A. Influence of Different Probiotic Lactic Acid Bacteria on Microbiota and Metabolism of Rats with Dysbiosis. *Bioscience of Microbiota, Food and Health*. 2013. Vol. 32 (2). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4034318/>

15. Per G. Farup, Morten Jacobsen, Solveig C. Ligaarden, Knut Rudi. Probiotics, Symptoms, and Gut Microbiota: What Are the Relations? A Randomized Controlled Trial in Subjects with Irritable Bowel Syndrome. *Gastroenterol Res Pract*. 2012. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3415104/> (дата обращения: 13.10.2019). DOI: 10.1155/2012/214102.

16. Тетерина Л.А. Особенности изменения кишечного микробиоценоза у больных хроническим заболеванием печени с проявлениями латентной печеночной энцефалопатии: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2013. 21 с.

17. Гусев Н.Ф., Филиппова А.В., Петрова Г.В., Немешина О.Н. Перспективы использования лекарственных растений в современной России // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. Биологические науки. 2014. № 2. С. 167–170.

ОБЗОРЫ

УДК 618.14-006.36

**МИОМА МАТКИ: СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ****Гончарова М.А., Петров Ю.А.***ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ростов-на-Дону, e-mail: gonchmar98@mail.ru*

В настоящее время широкое распространение среди доброкачественных опухолей женской репродуктивной системы получила миома матки. По данным ВОЗ в 30–35% случаев ее диагностируют у женщин активного детородного возраста, что указывает на тенденцию к «омоложению» данного заболевания, что привлекает большое количество авторов к исследованию этого процесса. Хотя течение заболевания и доброкачественное, но качество жизни женщины значительно снижается. Поэтому основные исследования в этой области проводят с целью сохранения репродуктивного здоровья женщины и повышения качества ее жизни после перенесенного лечения. Несмотря на относительно высокие результаты консервативной терапии, наиболее эффективным и распространенным методом лечения является удаление миоматозных узлов через лапароскопический доступ, хотя и он требует некоторых доработок. В статье предложен анализ литературы, посвященный некоторым вариантам оптимизации хирургического лечения миомы через лапароскопический доступ. К ним относят: выбор вида хирургической энергии; технику выбора и наложения шва для восстановления стенки матки после удаления узла; дополнительные методы, направленные на уменьшение интраоперационной кровопотери. На сегодня проведение миомэктомии лапароскопическим способом – один из наиболее оптимальных органосохраняющих малоинвазивных способов в лечении миомы матки. Однако до сих пор не существует единого оптимального алгоритма проведения данной операции.

Ключевые слова: миома матки, лечение, миомэктомия, лапароскопический доступ, репродуктивное здоровье**UTERINE MYOMA: MODERN DIRECTIONS OF SURGICAL TREATMENT****Goncharova M.A., Petrov Yu.A.***Rostov State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Rostov-on-Don, e-mail: gonchmar98@mail.ru*

Currently, uterine fibroids are widespread among benign tumors of the female reproductive system. According to WHO, in 30–35% of cases it is diagnosed in women of active childbearing age, which indicates a tendency to «rejuvenation» of the disease, which attracts a large number of authors to study this process. Although the course of the disease is benign, but the quality of life of women is significantly reduced. Therefore, the main research in this area is carried out in order to preserve the reproductive health of women and improve the quality of her life after treatment. Despite the relatively high results of conservative therapy, the most effective and common method of treatment is the removal of myomatous nodes through laparoscopic access, although it requires some improvements. The article presents the analysis of literature devoted to some variants of optimization of surgical treatment of fibroids through laparoscopic access. These include: the choice of the type of surgical energy; technique of selection and suturing to restore the uterine wall after removal of the node; additional methods aimed at reducing intraoperative blood loss. Today, laparoscopic myomectomy is one of the most optimal organ-preserving minimally invasive methods in the treatment of uterine fibroids. However, there is still no single optimal algorithm for this operation.

Keywords: uterine myoma, treatment, myomectomy, laparoscopic access, reproductive health

В последние годы патология матки занимает второе место после воспалительных процессов органов малого таза в области гинекологической заболеваемости. Самой распространенной гинекологической патологией невоспалительного генеза является миома матки (ММ). Впервые ее описал британский патологоанатом Мэтью Бэйли в 1973 г. Исходя из его описания, миома матки представляет собой моноклональную опухоль, состоящую из мутантных клеток гладкомышечной ткани сосудистой стенки матки. Их возникновение связывают с нарушением нейрогуморальной регуляции при избыточной продукции эстрогенов. Данное заболевание характеризуется не только клиническими проявлениями (кровотечение,

боль, нарушение функции соседних органов), но и развитием бесплодия и нарушением течения беременности.

Цель исследования: анализ литературы, посвященной современным направлениям оптимизации лапароскопической хирургии миомы матки.

Сегодня огромное количество исследовательских работ большинства авторов посвящено изучению методов лечения миомы матки, но единый алгоритм так и не достигнут [1–3]. В хирургическом лечении различают: радикальное – экстирпация или надвлагалищная ампутация матки, консервативное – миомэктомия с сохранением менструальной функции (удаление большей части матки) или менструальной

и детородной (вылущение изолированных узлов) [4]. Характер и объем операции зависят от возраста больной, вида, локализации опухоли, технических возможностей. В настоящее время многие авторы считают наиболее эффективным хирургический метод лечения, в основе которого лежит удаление миоматозных узлов (миомэктомия) [5, 6]. Миомэктомия представляет собой органосохраняющее хирургическое лечение, которое рекомендуют выполнять женщинам репродуктивного возраста. Для удаления узлов используют различные методы: абдоминальную миомэктомию, гистероскопическую или лапароскопическую. Самым распространенным и наиболее эффективным методом считают лапароскопическую миомэктомию. Показаниями к ее проведению являются маточные кровотечения или прогрессирующий рост опухоли с последующим нарушением функции близлежащих органов; межсвязочное и низкое положение узлов матки, а также нарушение репродуктивной функции.

В зависимости от возраста женщины, размера и топографического расположения, а также темпа роста миомы производят выбор хирургического доступа. Операция может выполняться лапаротомическим (через разрез) или лапароскопическим доступом.

На современном этапе развития эндоскопической хирургии проведение миомэктомии через лапароскопический доступ является ведущим. Лапароскопическая миомэктомия проводится при наличии субсерозных или интрамуральных узлов, размер которых не превышает 20 см. Техника лапароскопической миомэктомии во многом зависит от характеристик опухоли, ее локализации, размера, а также количества узлов. Как правило, операцию проводят в I фазу менструального цикла (5–14-й день). Консервативную миомэктомию через лапароскопический доступ проводят в 4 этапа. Сначала отсекают и вылущивают миоматозный узел, затем восстанавливают дефект миометрия, извлекают миоматозный узел и проводят гемостаз и санацию брюшной полости. После этого производят послойное ушивание раны.

Проводя операции путем лапароскопии, ряд авторов отметили наличие некоторых преимуществ перед лапаротомическим лечением. В проведенных исследованиях было показано, что при проведении операций через лапароскопический доступ снижена выраженность проявления болей, ускоряется период социальной и физической реабилитации, а также происходит восстановление репродуктивной функции [7–9].

В проведенном исследовании М.Р. Radosa и соавторов показано отсутствие достоверного метода проведения операции при интерстициальных узлах, от которого в дальнейшем будет зависеть выбор доступа, качество наложения шва и последующей репродуктивной способности [1, 2, 5].

Противоположной точки зрения придерживаются О. Sizzi и соавторы, показавшие в ходе исследования отсутствие негативного влияния в виде нарушения репродуктивной функции в результате проведения лапароскопической миомэктомии. В исследованиях было показано, что чаще всего осложнения развиваются из-за неправильной техники наложения швов. Это может возникнуть при наложении однорядного шва и частого использования электрокоагуляции в ходе операции [3, 10].

Сравнивая результаты консервативных методов лечения и лапароскопической миомэктомии, А.Ю. Климанов в своих исследованиях пришел к выводу о том, что частота развития осложнений во время вынашивания беременности значительно повышается у неоперабельных пациентов [11]. Однако следует помнить, что проведение хирургического лечения требует наличия высококвалифицированного специалиста и оборудования.

Сегодня большое внимание уделяется оптимизации лапароскопической миомэктомии. Проводя многочисленные исследования в этой области, пришли к определению наиболее эффективной техники проведения операции, которая позволяет снизить продолжительность операции, объема кровотечения во время ее проведения. Были выделены основные направления оптимизации, среди которых основными являются: выбор подходящего вида энергии, способа наложения шва и выбора шовного материала, а также способов уменьшения кровотечения.

Еще одним из пунктов оптимизации хирургического лечения является правильный выбор хирургической энергии. Делая выбор вида энергии, прежде всего, обращают внимание на глубину повреждающего воздействия на ткани, от которого будет зависеть время заживления раны и состояние рубца на матке. Самыми распространенными и эффективными видами энергии в хирургии сегодня являются ультразвуковая и радиоволновая, а также моно- и биполярная [7]. В исследовательской работе Н.С. Ванке и соавторов был проведен сравнительный анализ применения этих видов энергии на практике. Было доказано наличие значительного повреждающего действия на края

раны при использовании монополярной коагуляции. Монополярный коагулятор оснащен одним активным электродом, который рассекает и коагулирует ткани в точке соприкосновения. Противоположной точки зрения придерживается О.А. Бурлаков, показавший, что при использовании биполярной коагуляции с точечным воздействием исключается применение линейного разреза, а значит, проведение МЭ невозможно [1, 7, 8].

В исследовательской работе В.И. Краснопольского отмечается эффективность применения ультразвукового скальпеля, прибора для рассечения и коагуляции тканей, благодаря которому образуется тонкая корочка и отсутствует сосудистая реакция тканей [8]. Применение такого прибора способствует качественному визуализированию операционного поля, что исключает поражение близлежащих органов и тканей. Такого же мнения придерживаются и С.С. Оу, Р. Литт, которые доказали в своих работах эффективность применения такого скальпеля, который сокращает время проведения операции, объем кровопотери и способствует быстрому заживлению раны [12]. На сегодня большинство авторов отдают предпочтение ультразвуковому скальпелю как наиболее подходящему методу при выполнении МЭ лапароскопическим доступом, отвечающему всем требованиям ведения операции [6, 13, 14].

Существует большое количество видов шовного материала и способов наложения шва, однако отдается предпочтение атравматическим, реактивным синтетическим материалам, период рассасывания которых значительно дольше. На сегодня нити на основе полилактида являются самыми популярными, так как обладают высокой прочностью, не приводят к развитию воспалительной реакции, а значит, позволяют рубцу формироваться полноценно [1, 3, 8].

Помимо нитей на основе полилактида, в хирургическую практику активно внедряют самофиксирующиеся нити. Основное преимущество безузловых швов, по мнению ряда авторов, это скорость наложения, а также равномерное затягивание по всей поверхности раны. Применение самофиксирующейся нити позволяет избежать натяжения во время ушивания раны миометрия, так как нити легко проходят через него. В исследованиях J.A. Greenberg за 2008 г. были показаны положительные результаты применения таких нитей в практике хирургического лечения миомы матки в результате минимизации повреждающего воздействия на нее [15, 16].

Сегодня существуют однонаправленные и двунаправленные нити. В 1956 г. американский врач J.H. Alcamo запатентовал однонаправленные анкерные хирургические нити, которые содержат одну иглу и петлю, облегчающую фиксацию первого шва [3, 17]. Используя такую иглу, хирург проводит ушивание от одного конца раны к другому. Двунаправленные нити содержат две иглы, а ушивание осуществляется от середины раны к краям. Сегодня опубликовано большое количество исследований, направленных на изучение применения данного шовного материала. Рандомизированное исследование M. Ardovinno показало преимущественное значение применения двунаправленной нити, использование которой обеспечивает быстрое закрытие дефекта и исключает возникновение потенциальных проблем в дальнейшем периоде.

Еще одним из направлений оптимизаций является борьба с интраоперационным кровотечением. В исследованиях F. Zullo и соавторов была доказана эффективность применения 0,25% раствора бупивакаина с 0,5 мл адреналина [18]. В то же время возможно использование с этой целью вазопрессина, однако стоит помнить, что он может привести к поздним кровотечениям [5]. Расслоение псевдокапсулы и миоматозного узла проводят с помощью физиологического раствора, что облегчает энуклеацию. Введение раствора производят веерообразно, делая несколько вколов в область основания узла, используя эндоскопическую пункционную иглу.

Сегодня широкое развитие получил метод лечения миомы матки, основанный на селективной эмболизации маточных артерий. ЭМА – это малоинвазивный метод, позволяющий проводить лечение без оперативного вмешательства. Впервые ее применили в 1994 г. во Франции. Французский хирург-гинеколог J. Ravina выявил тенденцию к снижению объема матки и узлов миомы после проведения ЭМА. В настоящее время эта методика применяется при симптомной миоме у женщин в пременопаузальном возрасте. ЭМА осуществляется путем введения специального раствора, содержащего шарики-эмболы, в маточные артерии, в результате чего происходит перекрытие кровотока к узлу, а значит, его отмирание. Интересное мнение высказывает в своих работах Т.К. Madhuri, предлагая для уменьшения кровообращения в матке дополнительно на первом этапе операции перевязывать маточные артерии [2, 19]. Также широкого применения достигла методика временной окклюзии, которая была разработана К.С. Пучковым. Она заключается в прове-

дении временной окклюзии подвздошной артерии, что приводит к снижению кровотока в маточных артериях. Данная методика позволяет точно визуализировать миоматозный узел, уменьшить кровопотерю во время удаления, а также полноценно ушить дефект матки [20, 21]. Также ряд авторов предлагает методику, основанную на временном клипировании маточных артерий непосредственно перед миомэктомией. Однако использование таких методов может привести к травматизации близлежащих сосудов. Противопоказаниями к такому лечению являются: беременность, тяжелые воспалительные заболевания в стадии обострения, артериовенозные пороки развития, лейомиосаркома. Если субсерозные и интрастициально-субсерозные узлы достигают больших размеров, лечение проводят в два этапа, начиная с ЭМА, а затем проводят хирургическое лечение.

Еще одним из альтернативных способов лечения миомы матки является проведение мануально-ассистированной лапароскопии. Этот метод проводится рукой хирурга, которую он вводит в брюшную полость через маленький разрез и специальное устройство для руки. Это устройство позволяет сохранить внутрибрюшное давление и провести контроль без риска во время операции. В исследовательской работе О.А. Tusheva и соавторов была доказана эффективность применения такой методики при нетипичной локализации узла [22].

В 1999 г. компания «Intuitive Surgical» разработала роботизированную операционную систему «Да Винчи», которую сразу же стали использовать в США. В России первая такая система появилась в 2007 г. Основным ее преимуществом является способность выполнять операцию через маленькие отверстия. Такие особенности, как высокое трехмерное изображение, интуитивный контроль за движением, возможность совершать обороты на 540°, позволяют проводить сложные операции с трудновыполнимыми маневрами [23]. С момента внедрения робот-ассоциированных вмешательств не прекращались сравнения этой техники операций с классическими методиками. Исследования ряда авторов, в том числе и J. Pundir, говорят об отсутствии принципиальных отличий в технике этих операций. Однако при использовании роботизированной лапароскопической хирургии повышается риск необходимости переливания крови, а также отмечается большая финансовая затратность этого метода [24, 25].

Одним из альтернативных способов лечения миомы матки, позволяющим заме-

нить миомэктомию, гистерэктомию, ЭМА, считают метод ФУЗ-МРТ – лечение сфокусированным ультразвуком под контролем МРТ. ФУЗ-МРТ применяют у женщин начиная с пременопаузального возраста, имеющих от одного до трех миоматозных узлов. Этот метод заключается в неинвазивном амбулаторном воздействии, при котором опухоль уничтожают сфокусированным пучком УВ-волн, не затрагивая близлежащие ткани. Технология такой процедуры значительно эффективнее в сравнении с другими органосохраняющими способами лечения миомы матки, так как отсутствует общее повреждающее воздействие на организм; снижен период реабилитации и ограничения трудоспособности [26]. Но следует помнить о наличии ряда ограничений, связанных с гистологическим строением узла и его анатомическим расположением. Данная технология в 85–90% случаев дает положительный клинический эффект и длительную ремиссию.

Альтернативное лечение миомы с применением ЭМА и ФУЗ-МРТ направлено на развитие некроза тканей узла. Морфологически изменения характеризуются последовательным развитием некроза, отека, гиалиноза в зоне роста миоматозного узла. Отсутствие эффективности данной терапии можно объяснить нарушением развития процесса некроза, а также усилением кровообращения за счет наличия коллатералей или анастомозов маточных артерий.

Говоря о консервативных методах лечения, следует отметить медикаментозную терапию, приносящую положительный эффект. Основной задачей консервативной терапии считается остановка роста и снижения размера узлов, а значит, и предотвращение развития вторичных изменений. На данный момент широко применяют блокаторы рецепторов прогестерона улипристал ацетат. Его применяют в 3 цикла с перерывом в 2 месяца и обязательным контролем с помощью УЗИ. В норме отмечается регресс размеров миоматозных узлов. Медикаментозное лечение применяют у женщин молодого возраста с миомами размером до 3 см. Гормональные препараты, которые снижают митотическое деление клеток опухоли, приносят лишь временный профилактический эффект.

Заключение

Таким образом, сегодня наиболее распространенным доступом для проведения операции по удалению миоматозных узлов считают лапароскопический. Его используют не только при единичных, но и множественных узлах на ножке, независимо от

возраста женщины. Использование данного доступа позволяет сократить выраженность болевого синдрома, продолжительность периода госпитализации. Отмечается тенденция к быстрому восстановлению физического состояния женщины. Период реабилитации значительно сокращается, а восстановление репродуктивной способности наступает быстрее. На сегодня так и не выдвинуто единое мнение по поводу наиболее эффективного метода и алгоритма проведения операции, тем не менее непрекращающиеся исследования и разработки позволили минимизировать риски возникновения послеоперационных осложнений, а также сохранить репродуктивное здоровье женщины.

Список литературы

- Ищенко А.И., Ботвин М.А., Ланчинский В.И. Миома матки: этиология, патогенез, диагностика, лечение. М.: Издательский дом Видар, 2010. 244 с.
- Кудрина Е.А., Бабури Д.В. Миома матки: современные аспекты патогенеза и лечения (клиническая лекция) // Архив акушерства и гинекологии им. В.Ф. Снегирева. 2016. № 3. С. 4–5.
- Litta P., Fantinato S., Calonaci F., Cosmi E., Filippeschi M., Zerbetto I., Petraglia F., Florio P. A randomized controlled study-comparing harmonic versus electrosurgery in laparoscopic myomectomy. *Fertil Steril*. 2011. vol. 94. no. 5. P. 1882–1886.
- Einarsson J.I., Grazul-Bilska A.T., Vonnahme K.A. Barbed vs standard suture: randomized single-blinded comparison of adhesion formation and ease of use in an animal model. *J. Minim Invasive Gynecol*. 2011. vol. 18. no 6. P. 716–719.
- Radosa M.P., Winzer H., Mothes A.R., Camara O., Diebold H., Weisheit A., Runnebaum I.B. Laparoscopic myomectomy in peri- and post-menopausal women is safe, efficacious and associated with long-term patient satisfaction. *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol*. 2012. vol. 162. no 2. P. 170–173.
- Смирнова Т.А., Павшук Л.И. Современные подходы к лечению миомы матки у молодых женщин с целью сохранения репродуктивной функции. Белорусский государственный медицинский университет // Бюллетень сибирской медицины. 2014. Т. 13. № 1. С. 145–152.
- Бурлакова О.А. Восстановление репродуктивной функции у больных миомой матки в зависимости от способа миомэктомии и методов реабилитации: дис. ... канд. мед. наук. Пермь, 2013. С. 65–67.
- Краснопольский В.И., Буянова С.Н., Щукина Н.А., Попов А.А. Оперативная гинекология. 3-е изд. М.: МЕДпресс-информ, 2017. 278 с.
- Vilos G.A., Allaire C., Laberge P.Y., Leyland N. Evolution of Genetic Techniques: Past, Present, and Beyond / The management of uterine leiomyomas. *J. Obstet Gynaecol Can*. 2015. vol. 37. no 2. P. 145–147.
- Pistofidis G., Makrakis E., Balinakis P., Dimitriou E., Bardis N., Anaf V. Report of 7 uterine rupture cases after laparoscopic myomectomy: update of the literature. *J. Minim Invasive Gynecol*. 2012. vol.19. no. 6. P. 762–767.
- Климанов А.Ю. Особенности органосохраняющего хирургического лечения миомы матки лапароскопическим доступом у женщин репродуктивного возраста: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Самара, 2012. С. 14–16.
- Беженарь В.Ф., Цыпурдеева А.А., Долинский А.К., Поленов Н.И., Байлюк Е.Н., Русина Е.И., Кахиани М.И. Опыт применения стандартизированной методики лапароскопической миомэктомии // Журнал акушерства и женских болезней. 2012. № 4. С. 24–25.
- Скакова Р.С., Заттыбекова Э.О. Применение эндхирургии в экстренной гинекологии // Вестник. 2015. № 4. С. 366–367.
- Einarsson J.I. Single-incision laparoscopic myomectomy. *J. Minim Invasive Gynecol*. 2010. vol. 17. no. 3. P. 371–373.
- Краснова И.А. Современные технологии в органосохраняющем лечении миомы матки: автореф. дис. ... докт. мед. наук. Москва, 2012. С. 24–26.
- Буянова С.Н., Логутова Л.С., Гукасян С.А., Юдина Н.В. Миомэктомия во время беременности – осознанная необходимость: материалы VI Всероссийского форума «Мать и дитя». М., 2012. С. 20–21.
- Euzebus Chinonye Ezugwu, Chukwuemeka Anthony Iyoke, Frank Okechukwu Ezugwu, George Ugwu. Successful pregnancy following myomectomy for giant uterine fibroid in an infertile woman. *J. reprod. infertil*. 2014. vol. 15. no. 4. P. 233–236.
- Zullo F., Palomba S., Corea D., Pellicano M., Russo T., Falbo A., Barletta E., Saraco P., Doldo P., Zupi E. Vupivacaine plus epinephrine for laparoscopic myomectomy: a randomized placebo-controlled trial. *Obstet. Gynecol*. 2004. vol. 104. no. 2. P. 243–249.
- Madhuri T.K., Kamran W., Walker W., Butler-Manuel S. Synchronous uterine artery embolization and laparoscopic myomectomy for massive uterine leiomyomas. *JSLs*. 2010. vol. 14. no. 1. P. 110–112.
- Пучков К.В., Подзолкова Н.М., Коренная В.В., Добычина А.В., Дорофеева К.М. Совершенствование лапароскопической миомэктомии путем временной окклюзии внутренних подвздошных артерий. Доктор.Ру Гинекология. 2013. № 7. С. 24–28.
- Башмакова Н.В., Рощина М.О., Чистяков М.А. Оценка гистологических и иммуногистохимических изменений в эндометрии после проведения эмболизации маточных артерий по поводу миомы матки // Акушерство и гинекология. 2012. № 8–1. С. 20–24.
- Tusheva O.A., Cohen S.L., Einarsson J.I. Hand-assisted approach to laparoscopic myomectomy and hysterectomy. *J. Minim Invasive Gynecol*. 2013. vol. 20. no 2. P. 234–237.
- Pundir J., Pundir V., Walavalkar R., Omanwa K., Lancaster G., Kayani S. Robotic-Assisted Laparoscopic vs Abdominal and Laparoscopic Myomectomy: Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Minim Invasive Gynecol*. 2013. vol. 20. no. 3. P. 1553–4650.
- Tian Y., Dai Y. Analysis of the risk factors for postoperative residue, relapse following myomectomy. *Zhonghua Fu Chan Ke Za Zhi*. 2014. vol. 49. no 8. P. 594–598.
- Levinson K.L., Auer M., Escobar P.F. Evolving technologies in robotic surgery for minimally invasive treatment of gynecologic cancers. *Expert. Review. Of medical. Devices*. 2013. vol. 10. no. 5. P. 603–610.
- Адамян Л.В., Андреева Е.Н., Артымуков Н.В., Белоцерковцева Л.Д., Беженарь В.Ф., Геворкян М.А., Глухов Е.Ю., Гус А.И., Доброхотова Ю.Э., Жордания К.И., Зайратьянц О.В., Козаченко А.В., Киселев С.И., Коган Е.А., Кузнецова И.В., Курашвили Ю.Б., Леваков С.А., Малышкина А.И., Мальцева Л.И., Марченко Л.А., Мурватов К.Д., Пестрикова Т.Ю., Попов А.А., Протопопов Н.В., Самойлова А.В., Сонова М.М., Тихомиров А.Л., Ткаченко Л.В., Урумова Л.Т., Филиппов О.С., Хашукоева А.З., Чернуха Г.Е., Ярмолинская М.И., Яроцкая Е.Л., Баранов В.С., Иващенко Т.Э., Осинская Н.С., Обельчак И.С., Панов В.О., Панкратов В.В., Гришин И.И., Ибрагимова Д.М., Хачатрян А.С. Миома матки: диагностика, лечение и реабилитация // Клинические рекомендации (протокол лечения). М.: МЗ РФ, 2015. 101 с.

УДК 616.214.8-053.9

СОСТОЯНИЕ ОБОНЯТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У ПОЖИЛОГО НАСЕЛЕНИЯ

¹Насыров В.А., ¹Тухватшин Р.Р., ²Талайбеков М.Т., ¹Бедельбаев С.А.

¹Киргизская государственная медицинская академия им. И.К. Ахунбаева, Бишкек;

²Кыргызско-Российский Славянский Университет им. Б.Н. Ельцина, e-mail: mak5.kbb@gmail.com

У пожилого населения в возрасте 60–80 лет частота случаев нарушения обоняния составляет почти 32%, а в возрасте старше 80 лет – 62–80%. Обонятельная функция играет решающую роль в формировании поведения и здоровья. Нарушение идентификации запаха в пожилом возрасте имеет сильные практические последствия для повседневной жизнедеятельности, так как связано со снижением глобального познания и снижением эпизодической памяти. Обонятельная дисфункция может быть связана со снижением когнитивных способностей и памяти, проявляясь на ранних стадиях нейродегенеративных заболеваний, являясь важным ранним клиническим симптомом, наводящим на мысль о нейродегенерации. Считается, что снижение обоняния является довольно ранним и важным маркером развития в будущем нейродегенеративных расстройств, в частности болезни Паркинсона и болезни Альцгеймера, а при умеренных когнитивных нарушениях обонятельные нарушения могут быть значимыми предвестниками прогрессирования деменции, хореи Гентингтона, шизофрении и эпилепсии. Таким образом, нарушение обонятельной системы может быть достоверным показателем изменения целостности стареющего мозга. К сожалению, многие врачи упускают из виду симптоматическую значимость и потенциальную клиническую ценность обонятельной дисфункции.

Ключевые слова: обоняние, обонятельный анализатор, запах, пожилой возраст, старение

STATE OF THE SENSOR SYSTEM IN THE ELDERLY POPULATION

¹Nasyrov V.A., ¹Tukhvatshin R.R., ²Talaybekov M.T., ¹Bedelbaev S.A.

¹Kyrgyz State Medical Academy named after I.K. Akhunbaev, Bishkek;

²Kyrgyz-Russian Slavic University B.N. Yeltsin, Bishkek, e-mail: mak5.kbb@gmail.com

In the elderly population aged 60-80 years, olfactory disturbance is common in almost 32%, and in people older than 80 years, 62-80% have problems with smell. The olfactory function plays a crucial role in shaping behavior and health. Violation of odor identification in elderly age has strong practical consequences for everyday life, as it is associated with a decrease in global cognition and a decrease in episodic memory. Olfactory dysfunction can be associated with a decrease in cognitive abilities and memory, manifest in the early stages of neurodegenerative diseases, being an important early clinical symptom suggesting neurodegeneration. It is believed that the decrease in smell is a rather early and important marker for the development of neurodegenerative disorders in the future, in particular Parkinson's disease and Alzheimer's disease, and with moderate cognitive impairment, olfactory disorders can be significant precursors of the progression of dementia, Huntington's chorea, schizophrenia and epilepsy. Thus, a violation of the olfactory system can be a reliable indicator of a change in the integrity of an aging brain. Unfortunately, many doctors overlook the symptomatic significance and potential clinical value of olfactory dysfunction.

Keywords: olfaction, olfactory system, smell, elderly age, aging

Нарушение обоняния является общей чертой пожилого населения, распространенность и тяжесть которого значительно возрастают с возрастом; однако относительно мало известно о лежащих в основе клеточных и молекулярных механизмах [1].

Множество факторов способствуют возрастной потере обоняния, включая заложенность носа, хроническое повреждение обонятельного эпителия от воздействия окружающей среды, снижение уровня секрета слизистой оболочки и чувствительности рецепторных клеток к молекулам одорантов, а также уменьшение нейротрансмиттеров и нейромодуляторов. Кроме того, структурные и функциональные аномалии обонятельного эпителия, обонятельной луковицы, центральной нервной системы, которые развиваются при старении и нейродегенеративных заболеваниях,

могут привести к обонятельным сенсорным нарушениям. Наиболее часто обонятельная дисфункция возникает при таких нейродегенеративных заболеваниях, как болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона, хорея Гентингтона, шизофрения и эпилепсия [2].

Цель исследования: изучить современные взгляды на данную проблему в доступной российской и зарубежной литературе.

Распространённость нарушений обоняния, в частности anosmia (отсутствие обоняния), составляет среди населения в целом 3,8–5,8% [3–5], причем показатели распространенности с возрастом увеличиваются до 13,9% у лиц старше 65 лет [6], более 32% – 65–80 лет и до 80% – старше 80 лет [7, 8]. Поскольку обонятельная дисфункция может проявляться на ранних стадиях нейродегенеративных заболеваний, она представляет собой важный ран-

ний клинический симптом, наводящий на мысль о нейродегенерации [7–10].

Были выявлены множественные причины нарушения обоняния, такие как повышенная склонность к заболеваниям носа, а также анатомические и функциональные изменения на различных уровнях обонятельной системы, включая обонятельный эпителий, обонятельную луковицу, первичные обонятельные кортикальные слои [7–11]. Нарушение идентификации запаха в пожилом возрасте имеет сильные практические последствия для повседневной жизнедеятельности, так как связано со снижением глобального познания и снижением эпизодической памяти [12]. Таким образом, нарушение обонятельной системы может быть достоверным показателем изменения целостности стареющего мозга. К сожалению, многие врачи упускают из виду симптоматическую значимость и потенциальную клиническую ценность обонятельной дисфункции [13].

Обонятельная функция играет решающую роль в формировании поведения и здоровья [14]. Нейроны обонятельного рецептора представляют собой биполярные клетки, имеющие дендрит и аксон. Дендриты содержат 3–32 реснички, контактирующие с воздухом носовой полости. Аксоны обонятельных рецепторов образуют обонятельные нити и проникают через многочисленные отверстия бумажной пластины решетчатой кости к синапсам в обонятельные луковицы и образуют гломерулы, от которых информация передается митральным клеткам и далее – в центральную нервную систему, где происходит обработка сигнала и формирование запаха.

Обонятельный эпителий покрыт секретом боуменовских желез, защищающим его от высыхания, а также липидами, которые переводят молекулы одорантов к обонятельным рецепторам. Связывание молекулы одоранта с рецепторным белком активирует так называемые гуанидин-нуклеотид-связывающие белки (G-белки) в ресничках нейронов обонятельных рецепторов. G-белки, в свою очередь, связывают гуанозинтрифосфат, ГТФ (GTP). Фактически G-белки представляют собой устройства, передающие сигнал (после получения стимула извне) от рецептора внутрь клетки через молекулы ферментов-посредников и ионные каналы. Передача сигнала опосредуется активацией аденилатциклазы (AC) – фермента, преобразующего внутриклеточный аденозинтрифосфат (АТФ) в циклический аденозинмонофосфат (сАМФ), в результате чего запускается открытие кальций-3 активированных хлоридных каналов [15]. Коли-

чество сенсорных нейронов, которые служат как в качестве одорант-чувствительных клеток, так и нейронов первого порядка, уменьшается с возрастом, особенно после 65 лет [16].

Существуют многочисленные функциональные и структурные подходы для оценки целостности системы обоняния. Они включают психофизиологические, электрофизиологические и визуальные тесты. Психофизиологические тесты чувствительности к запаху, его идентификации и различению, в частности тесты идентификации запаха Университета Пенсильвании (UPSIT) и Сниффин Стикс нашли наиболее широкое применение в практике. Большинство обонятельных тестов, несмотря на использование разных одорантов, различия в надёжности, чувствительности и когнитивных требованиях, тесно связаны друг с другом. Пороговые исследования в больших выборках показали значительный пороговый дефицит как в AD, так и в PD [17]. Используются переменные электрофизиологические меры, например потенциалы, связанные с событием запаха, или электро-ольфактограмма для измерения функции запаха, но им уделяется довольно мало внимания в исследованиях, касающихся болезни Альцгеймера и болезни Паркинсона, и доступно несколько других тестов, например система тестирования (SCOTS) или ольфактометры с воздушным разбавлением [17].

Исследования с использованием методов функциональной визуализации, таких как функциональная МРТ и ПЭТ, продемонстрировали возрастные изменения в обработке обонятельной информации, например, в лобной и височной областях, левом орбитальном полюсе, а также в грушевидной и периамигдалоидной корках [17]; у пожилых людей в обонятельных структурах наблюдалась меньшая активность мозга, что соответствовало более низким показателям интенсивности запаха [18]. ПЭТ-визуализация транспортера дофамина в головном мозге выявила значительную корреляцию между обонятельной дисфункцией и nigrostriatal дофаминергической денервацией у пожилых людей [19, 20]. Ген ApoEε4 может играть роль в обонятельной функции, которая не зависит от клинической деменции [21]. Таким образом обонятельная идентификация и распознавание являются наиболее интересными показателями для выявления субклинических случаев болезни Альцгеймера, болезни Паркинсона и других нейродегенеративных расстройств [22].

Оценка обонятельной функции является важной частью планового клинического об-

следования [22]. Следует отметить, что показатели распространенности обонятельной дисфункции, полученные при тестировании обоняния, значительно выше, чем те, которые основаны исключительно на соответствующих анкетах пациентов или устных отчетах [17, 23]. Связанные с возрастом нарушения обонятельной функции выявляются с помощью ряда обонятельных тестов, включая психофизические (например, обнаружение запаха, идентификация, время утомления и восстановления, электрофизиологические и психофизиологические тесты), которые обычно выявляют возрастные снижения в обонятельной системе [17, 23].

Причины возрастной потери обоняния

Структурные изменения обонятельной системы при старении могут объяснить её функциональное снижение, наблюдаемое у пожилых людей, а ряд возрастных изменений в носу, обонятельном эпителии, обонятельной луковице и более высших структурах мозга был связан с обонятельной дисфункцией [17, 23]. Помимо изменений в обонятельных элементах носа (хронические инфекции, возрастная атрофия эпителия носа, снижение кровотока через слизистую оболочку, колебания потока воздуха, дисбаланс симпатического / парасимпатического режима обонятельной чувствительности, снижение числа отверстий в слизистой пластинке, нарушение функции слизистой и т.д.) следует учитывать следующие изменения в обонятельной системе: (1) изменения в обонятельном нейроэпителии, (2) изменения в обонятельной луковице и (3) изменения в мозговых регионах, вовлеченных в процесс обоняния.

1. Изменения в обонятельном нейроэпителии.

Возрастные изменения включают в себя уменьшение количества рецепторов, истончение эпителия, изменения в обонятельных рецепторных клетках и замену обонятельных органов дыхательным эпителием. Причинами этого являются: изменения в клеточном обмене; некроз клеток обонятельных рецепторов из-за возрастного уменьшения размера и состояния бумажной пластинки; нарушения иммунологических и ферментативных защитных механизмов, критических для поддержания целостности обонятельного эпителия; связанные с возрастом потери специфичности реакции отдельных рецепторных клеток; и воздействие веществ, загрязняющих воздух, в том числе сигаретный дым и ксенобиотики. Эти последние агенты, а также генетические факторы могут определять степень обонятельной функции в дальнейшей жизни [23]. Иммуногистохимические исследова-

ния обонятельного эпителия выявили амилоид- β (A β) в клетках обонятельного эпителия и нейрофиламент-положительных дистрофических нейритах у неврологически нормальных пожилых людей и у пациентов с болезнью Альцгеймера [24].

2. Изменения в обонятельной луковице.

Размер обонятельной луковицы и количество его пластин уменьшается с возрастом у людей и животных, что отражает генерализованную атрофию, потерю нейрональных элементов и увеличение астроглии, вторичной по отношению к повреждению обонятельного эпителия [25]. Возрастные изменения объема обонятельной луковицы были задокументированы *in vivo* с использованием магнитно-резонансной томографии (МРТ) [26], хотя такие снижения не являются специфичными для старения и могут наблюдаться при некоторых других состояниях, например при курении, хроническом синусите, рассеянном склерозе, травме головы и шизофрении [26]. Обнаружены корреляции между порогами распознавания запаха и объемами обонятельной луковицы как у пациентов с болезнью Паркинсона ($p < 0,05$), так и у лиц контрольной группы ($p < 0,0001$) [27]. Гломерулярная дегенерация происходит у пожилых людей с болезнью Альцгеймера, где клубочки экспрессируют белок-предшественник A β , β -секретазу и комплекс γ -секретазы. Последнее также было показано на моделях трансгенной болезни Альцгеймера, предполагая, что обонятельные нервные окончания могут подвергаться возрастным дистрофическим и дегенеративным изменениям, связанным с усилением мечения амилоидогенных белков и влияющим на нейротрансмиссию и интеграцию в первом обонятельном синаптическом реле [28, 29]. Было показано, что A β нарушает сетевую активность обонятельной луковицы *in vitro* и может вызывать нарушение обоняния [30].

3. Изменения в областях мозга, вовлеченных в процесс обоняния.

Данные изменения включают уменьшение объема гиппокампа, миндалина, грушевидной коры головного мозга [31]. Возрастные изменения в количестве, объеме и локализации островков Calleja в обонятельном бугорке, корковой структуре, получающей моносинаптический ввод из обонятельной луковицы, могут способствовать патологическим изменениям функции обонятельной коры и обонятельного восприятия [32].

Сама по себе anosmia коррелирует с изменениями в структурах, связанных с обонянием, включая грушевидные и островковые кортикальные слои, медиальную

префронтальную кору, гиппокамп, парагиппокампальную извилину, прилежащее ядро, медиальную и дорсолатеральную префронтальные кортикальные области [33].

Заклучение

Пятилетняя частота обонятельных нарушений была высокой у пожилых людей, в анамнезе которых отмечали патологию носа (полипы, искривленная перегородка) или употребление алкоголя, тогда как гипополипидемические средства, регулярные физические упражнения и пероральный прием стероидов снижали риск нарушений обоняния [34]. Доклиническое выявление болезни Альцгеймера, болезни Паркинсона и других нейродегенеративных заболеваний имеет решающее значение для достижения в будущем положительной терапии. Недавние исследования показывают, что существует множество факторов, способствующих потере обоняния у пожилых людей, которые могут быть ранним предупреждением о нейродегенерации в пожилом мозге [35]. Следовательно, необходимы дальнейшие исследования для оценки потенциальной роли обонятельной дисфункции в диагностике, профилактике и лечении возрастных заболеваний нервной системы.

Список литературы

- Mobley A.S., Rodriguez-Gil D.J., Imamura F., Greer C.A. Aging in the olfactory system. *Trends Neurosci.* 2014. Vol. 37. P. 77–84.
- Вознесенская А.Е., Ключникова М.А., Радионова Е.И., Вознесенская В.В., Расстройства обоняния как маркер нейродегенеративных заболеваний. *Сенсорные системы.* 2011. № 25. С. 17–32.
- Bramerson A., Johansson L., Ek L., Nordin S., Bende M. Prevalence of olfactory dysfunction: the skövde population-based study. *Laryngoscope.* 2004. Vol. 114. P. 733–737.
- Huttenbrink K.B., Hummel T., Berg D., Gasser T., Hahner A. Olfactory dysfunction: common in later life and early warning of neurodegenerative disease. *Dtsch. Arztebl. Int.* 2013. V. 110. P. 1–7.
- Karpa M.J., Gopinath B., Rohtchina E., Jie Jin W., Cumming R.G., Sue C.M., Mitchell P. Prevalence and neurodegenerative or other associations with olfactory impairment in an older community. *J. Aging Health* 2010. Vol. 22. P. 154–168.
- Schubert C.R., Cruickshanks K.J., Fischer M.E., Huang G.H., Klein B.E., Klein R., Pankow J.S., Nondahl D.M. Olfactory impairment in an adult population: The Beaver Dam Offspring Study. *Chem Senses.* 2012. Vol. 37. P. 325–334.
- Doty R.L., Kamath V. The influences of age on olfaction: a review. *Front Psychol.* 2014. Vol. 5. P. 20.
- Lafreniere D., Mann N. Anosmia: loss of smell in the elderly. *Otolaryngol Clin North Am* 2009. Vol. 42. P. 123–131.
- Kovacs T. The olfactory system in Alzheimer's disease: pathology, pathophysiology and pathway for therapy. *Transl. Neurosci.* 2013. Vol. 4. P. 34–45.
- Attems J., Walker L., Jellinger K.A. Olfactory bulb involvement in neurodegenerative diseases. *Acta Neuropathol.* 2014. Vol. 127. P. 459–475.
- Bramerson A., Johansson L., Ek L., Nordin S., Bende M. Prevalence of olfactory dysfunction: the skövde population-based study. *Laryngoscope.* 2004. Vol. 114. P. 733–737.
- Wilson R.S., Arnold S.E., Tang Y., Bennett D.A. Odor identification and decline in different cognitive domains in old age. *Neuroepidemiology.* 2006. Vol. 26. P. 61–67.
- Alves J., Petrosyan A., Magalhaes R. Olfactory dysfunction in dementia. *World J. Clin Cases.* 2014. Vol. 2. P. 661–667.
- Patel R.M., Pinto J.M. Olfaction: anatomy, physiology, and disease. *Clin. Anat.* 2014. Vol. 27. P. 54–60.
- Stephan A.B., Shum E.Y., Hirsh S., Cygnar K.D., Reisert J., Zhao H. ANO2 is the cilia calcium-activated chloride channel that may mediate olfactory amplification. *Proc. Natl. Acad. Sci USA.* 2009. Vol. 106. P. 11776–11781.
- Rawson N.E. Olfactory loss in aging. *Sci Aging Knowledge Environ.* 2006. V. 5. pe6. DOI: 10.1126/sageke.2006.5.pe6.
- Doty R.L. Olfaction in Parkinson's disease and related disorders. *Neurobiol. Dis.* 2012. Vol. 46. P. 527–552.
- Wang J., Eslinger P.J., Smith M.B., Yang Q.X. Functional magnetic resonance imaging study of human olfaction and normal aging. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 2005. Vol. 60. P. 510–514.
- Larsson M., Farde L., Hummel T., Witt M., Lindroth N.E., Backman L. Age-related loss of olfactory sensitivity: association to dopamine transporter binding in putamen. *Neuroscience.* 2009. Vol. 161. P. 422–426.
- Wong K.K., Muller M.L., Kuwabara H., Studenski S.A., Bohnen N.I. Olfactory loss and nigrostriatal dopaminergic denervation in the elderly. *Neurosci Lett.* 2010. Vol. 484. P. 163–167.
- Olofsson J.K., Nordin S., Wiens S., Hedner M., Nilsson L.G., Larsson M. Odor identification impairment in carriers of ApoE-varepsilon4 is independent of clinical dementia. *Neurobiol Aging.* 2010. Vol. 31. P. 567–577.
- Rahayel S., Frasnelli J., Joubert S. The effect of Alzheimer's disease and Parkinson's disease on olfaction: a meta-analysis. *Behav Brain Res.* 2012. Vol. 231. P. 60–74.
- Doty R.L., Petersen I., Mensah N., Christensen K. Genetic and environmental influences on odor identification ability in the very old. *Psychol Aging.* 2011. Vol. 26. P. 864–871.
- Arnold S.E., Lee E.B., Moberg P.J., Stutzbach L., Kazi H., Han L.Y., Lee V.M., Trojanowski J.Q. Olfactory epithelium amyloid-beta and paired helical filament-tau pathology in Alzheimer disease. *Ann Neurol.* 2010. Vol. 67. P. 462–469.
- Smith C.G. Age incident of atrophy of olfactory nerves in man. *J. Comparat Neurol.* 1942. Vol. 77. P. 589–594.
- Buschhuter D., Smitka M., Puschmann S., Gerber J.C., Witt M., Abolmaali N.D., Hummel T. Correlation between olfactory bulb volume and olfactory function. *Neuroimage.* 2008. Vol. 42. P. 498–522.
- Wang J., You H., Liu J.F., Ni D.F., Zhang Z.X., Guan J. Association of olfactory bulb volume and olfactory sulcus depth with olfactory function in patients with Parkinson disease. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2011. Vol. 32. P. 677–681.
- Cai Y., Xue Z.Q., Zhang X.M., Li M.B., Wang H., Luo X.G., Cai H., Yan X.X. An age-related axon terminal pathology around the first olfactory relay that involves amyloidogenic protein overexpression without plaque formation. *Neuroscience.* 2012. Vol. 155. P. 160–173.
- Wu N., Rao X., Gao Y., Wang J., Xu F. Amyloid-beta deposition and olfactory dysfunction in an Alzheimer's disease model. *J. Alzheimers Dis.* 2013. Vol. 37. P. 699–712.
- Wang J., Eslinger P.J., Smith M.B., Yang Q.X. Functional magnetic resonance imaging study of human olfaction and normal aging. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 2005. Vol. 60. P. 510–514.
- Segura B., Baggio H.C., Solana E., Palacios E.M., Vendrell P., Bargallo N., Junque C. Neuroanatomical correlates of olfactory loss in normal aged subjects. *Behav Brain Res.* 2013. Vol. 246. P. 148–153.
- Adjei S., Houck A.L., Ma K., Wesson D.W. Age-dependent alterations in the number, volume, and localization of islands of Calleja within the olfactory tubercle. *Neurobiol Aging.* 2013. Vol. 34. P. 2676–2682.
- Bitter T., Gudziol H., Burmeister H.P., Mentzel H.J., Guntinas-Lichius O., Gaser C. Anosmia leads to a loss of gray matter in cortical brain areas. *Chem Senses.* 2010. Vol. 35. P. 407–415.
- Segura B., Baggio H.C., Solana E., Palacios E.M., Vendrell P., Bargallo N., Junque C. Neuroanatomical correlates of olfactory loss in normal aged subjects. *Behav Brain Res.* 2013. Vol. 246. P. 148–153.
- Adjei S., Houck A.L., Ma K., Wesson D.W. Age-dependent alterations in the number, volume, and localization of islands of Calleja within the olfactory tubercle. *Neurobiol Aging.* 2013. Vol. 34. P. 2676–2682.

СТАТЬИ

УДК 631.436

**ЛАТЕРАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
КОМПЛЕКСА ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВ ПРЕДСАЛАИРЬЯ**

Шапорина Н.А., Сайб Е.А.

*ФГБУН «Институт почвоведения и агрохимии» СО РАН, Новосибирск,
e-mail: shaporina@issa-siberia.ru*

Представлены результаты исследований, целью которых являлось изучение неоднородности водно-физических свойств комплекса склоновых почв Предсалаирья. В качестве объекта исследований рассматривался и анализировался сопряженный ряд почв, расположенных на выпуклом склоне юго-западной экспозиции с перепадом высот до 17 м. Показано, что характеристики склона позволяют различать две части: верхнюю и нижнюю; между ними существует значительная разница: по рельефу, по мощности гумусового горизонта, по глубине вскипания, по увлажнению вертикального профиля, по плотности пахотного горизонта. Средние показатели плотности пахотного горизонта варьируют от 0,99 г/см³ в верхней части склона и до 1,15 – в нижней, коэффициент вариации колеблется от 8 до 10,4%. Запасы влаги в метровой толще на конец июня изменялись вниз по склону от 283 до 340 мм. Увлажнение нижней части склона характеризуется большей неравномерностью и контрастностью пахотного горизонта, что объясняется наличием большого количества микропонижений и микроповышений, которые разрывают единые потоки воды и приводят к перераспределению зон эрозии и аккумуляции. Установленные различия накладывают опечаток на агротехнику возделывания культур на склоне. Рекомендовано использовать контурную вспашку.

Ключевые слова: *вариабельность, плотность, влажность, микрорельеф, эродированные почвы*

**THE LATERAL VARIABILITY OF AGROPHYSICAL INDICATORS
OF THE COMPLEX OF ERODED SOILS OF THE PREDSAIRAIRYE REGION**

Shaporina N.A., Sayb E.A.

*Institute of Soil Science and Agrochemistry of ISSA SB RAS, Novosibirsk,
e-mail: shaporina@issa-siberia.ru*

The results of studies whose purpose was to examine the heterogeneity of water-physical properties of the complex of slope soils of the Predsalaireye region have been presented. The conjugate series of soils located on the convex slope of the South-Western exposure with a height difference of up to 17 meters was considered and analyzed as the object of the research. It is shown that the characteristics of the slope enable us to distinguish the two parts: upper and lower; there is considerable difference between them in terms of their: relief, capacity of humus horizon, depth of soil effervescence, humidification of a vertical profile, and the density of an arable horizon. The average rates of density of the arable horizon varies from 0.99 g/cm³ at the upper part of the slope and to 1.15 – at the lower, the coefficient of variation fluctuates between 8 and 10.4%. Moisture reserves in the meter thick layer at the end of June varied downwards the slope from 283 to 340 mm. The moistening of the lower part of the slope is characterized by greater unevenness and contrast of the arable horizon, this is explained by the presence of a large number of the microdepressions and micro-rises, which break the whole water stream and lead to its redistribution of zones of erosion and accumulation. The established differences leave an imprint on the agricultural technology of cultivation of crops on the slope. It is recommended to use contour plowing.

Keywords: *variability, density, humidity, microrelief, eroded soils*

Проблеме исследования пространственно-временной изменчивости почвенных свойств уделяется в настоящее время большое внимание в связи с глубоким изучением биосферной роли почвенного покрова и развитием адаптивно-ландшафтного земледелия. В основе современного точного и устойчивого земледелия лежит учет специфики пространственной структуры почвенных свойств и применение агромероприятий, соответствующих данному участку в данный момент времени. Для реализации стратегии точного земледелия (ТЗ) необходимо оценивать варьирование агротехнических показателей в принятой системе позиционирования, что способствует принятию оптимальных управленческих решений. Знания о пространствен-

ной и временной изменчивости параметров плодородия позволят выполнять операции воздействия на них в нужном месте и в необходимом количестве. Эффективность точного земледелия будет во многом зависеть от того, как быстро и точно мы сможем определять эти показатели. Частота измерений (пространственная и временная) зависит от того, какова вариабельность измеряемого показателя [1]. Точное земледелие обязано своим появлением внедрением в сельскохозяйственное производство новейших достижений вычислительной техники и информационных систем. Возможность обработки данных по природным объектам с пространственно-распределенными характеристиками обеспечивает количественное описание пространственной

изменчивости почвы, повышает точность оценок почвенных свойств, при интерполяции данных, а также служит основой для планирования рационального отбора почвенных проб [2]. Все это делает исследование латеральной изменчивости свойств почв, особенно склоновых, весьма актуальной в плане концепции адаптивно-ландшафтного и точного земледелия.

Цель работы: дать оценку пространственной неоднородности водно-физических свойств комплекса деградированных почв Предсалаирья.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на Усть-Каменском стационаре Института, расположенном в лесостепной зоне, в пределах Буготакского мелкосопочника, являющегося частью Предсалаирской денудационно-аккумулятивной равнины. В качестве объекта исследований в 2018–2019 гг. рассматривался и анализировался сопряженный ряд почв, расположенных на выпуклом склоне юго-западной экспозиции. Топография склона представлена на рис. 1.

Длина склона в направлении с севера на юг в сторону р. Ирбочки 400 м, перепад высот 16–17 м. Уклоны от 1° в верхней части склона до 6° – в нижней. Кроме того, отмечаются небольшие до $1,5^{\circ}$ уклоны в западном и юго-западном направлениях.

Основу почвенного покрова склона составляют оподзоленные черноземы (60%), занимающие водораздельные участки, верхнюю и среднюю часть склона. Они геохимически сопряжены с темно-серыми почвами, приуроченными к нижней трети склона. На их долю приходится 39% площади. Склон распахан и используется под

посевы сельскохозяйственных культур, в основном зерновых.

Вдоль склона была проложена трансекта длиной 280 м, по которой через каждые 15 м измерялась высота точки, мощность гумусового горизонта, глубина залегания карбонатов и влажность профиля глубиной до 1 м через каждые 10 см. Кроме того, были заложены три площадки размером 10x10 м, на которых по регулярной сетке с шагом 2,5 м (25 точек) проводилась нивелирная съемка, определялись плотность и влажность пахотного горизонта. Одна площадка располагалась в верхней части склона – почва чернозем оподзоленный слабосмытый, вторая – в средней части склона на темно-серой лесной почве среднесмытой, третья – в нижней части склона серая лесная сильносмытая. Плотность определялась буриками Качинского объемом 100 см^3 , влажность – термостатно-весовым методом.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований по трансекте представлены на рис. 2. Следует сразу отметить, что весь склон вдоль трансекты по всем показателям делится на две части (табл. 1). По рельефу: примерно до 140 м поверхность плавно понижается с перепадом высот 4 м (коэффициент вариации 1,56%). Во второй половине перепад высот составил 9 м. К тому же на поверхности второй половины наблюдается большое количество микроповышений и микрозападин, которые разрывают единые потоки воды и приводят к перераспределению зон эрозии и аккумуляции. Коэффициент вариации при этом возрос до 13,5% (табл. 1).

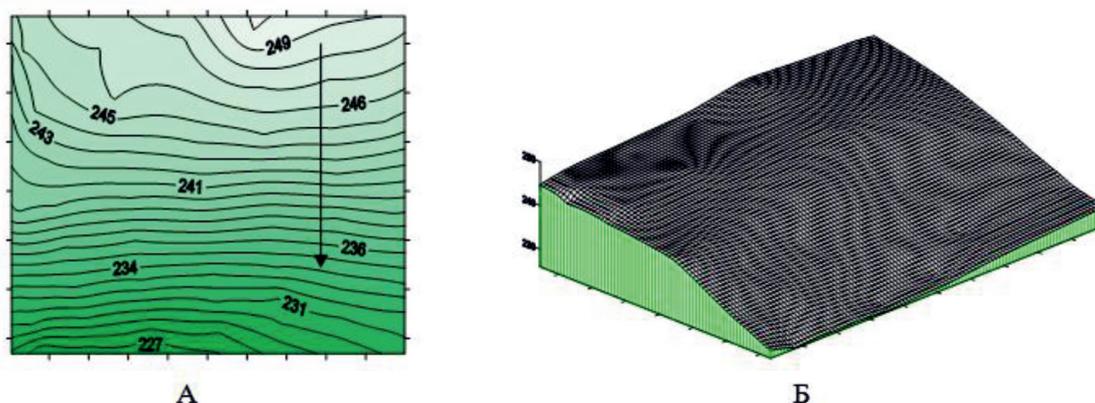


Рис. 1. Топография склона 400x400 м, рассматриваемого в качестве объекта исследования: А – горизонтали по отметкам высот над уровнем моря; Б – уклоны поверхности

Таблица 1

Статистические характеристики морфологических признаков почв

Морфологические показатели	Отметки поверхности, м		Мощность гумусового горизонта, см		Глубина вскипания, см	
	Часть склона		Часть склона		Часть склона	
	Верхняя	Нижняя	Верхняя	Нижняя	Верхняя	Нижняя
Ср. знач.	253,7	243,7	40,6	32,8	104,8	126,3
Мин.	252	239	30	25	85	87
Макс.	256	249	48	40	115	157
Размах	4	9	18	15	30	70
Ст. откл.	1,25	3,33	6,9	6,0	9,3	27,1
Коэфф. вар., %	4,9	13,5	17,0	18,3	8,8	21,5

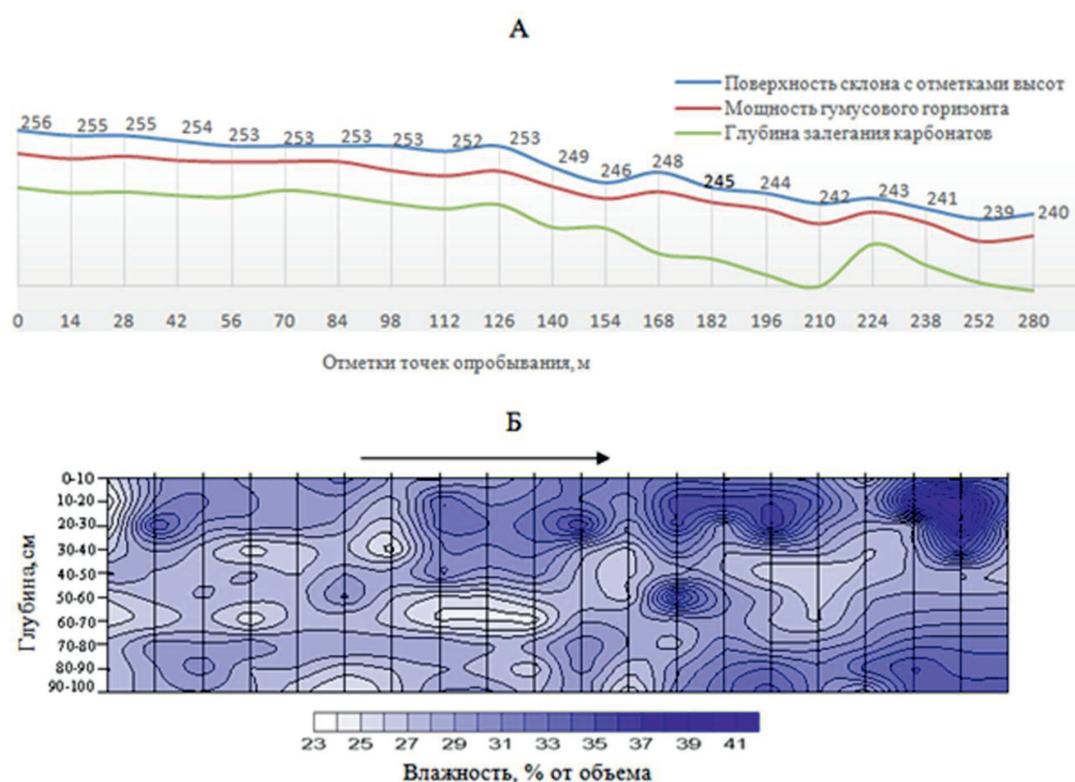


Рис. 2. А – кривые сопряженного колебания поверхности, мощности гумусового горизонта и глубины залегания карбонатов вдоль склона (256...240 – отметки высот над уровнем моря); Б – распределение увлажнения профиля глубиной 1 м по трансекте вдоль склона (→ направление уклона)

По мощности гумусового горизонта верхняя и нижняя части склона в пределах трансекты также отличаются друг от друга. В верхней половине, где преобладают черноземы, средний показатель составляет 40,6 см, размах колебаний 18 см и коэффициент вариации 17%. В нижней половине средняя мощность горизонта составляет 32,8 см при размахе колебаний 15 см и коэффициенте вариации 18,7%. Такие колебания показателей свидетельствуют, как

об увеличении доли серых лесных почв в нижней части трансекты, так и о нарастающей степени смытости, что подтверждают ранее проведенные исследования на этом склоне [3].

Далее, глубина вскипания – весьма показательный морфологический признак почв, связанный с особенностями миграции влаги в почвенном профиле. И здесь также наблюдаются различия статистических характеристик верхней и нижней частей

склона. В верхней части склона среднее значение глубины вскипания составляет 104,8 см. Максимальные значения не превышают 115 см, колебание показателей незначительное – 8,8%. Во второй половине картина совершенно другая. Среднее значение возросло до 126,3 см при максимуме в 2,5 раза, размах колебаний составил 70 см против 30 см в верхней части склона.

Такая картина изменчивости глубины залегания карбонатов могла, на наш взгляд, сложиться в результате фрагментации поверхности склона, о которой говорилось выше (коэффициент корреляции глубины вскипания с микрорельефом составил $-0,44$). В нашем случае стекающая по склону во время снеготаяния или при обильных осадках влага могла задерживаться в микрозападинах, переводя боковой поверхностный сток в вертикальный внутрипочвенный. Это, в свою очередь, приводило к выщелачиванию карбонатов и понижению линии вскипания (рис. 2, А).

Подтверждает это предположение и увлажнение вертикального профиля трансекты (рис. 2, Б). Отчетливо выделяется повышенное увлажнение профиля в районе выделенных микрозападин, и если в верхней части склона, где рельеф выровнен, увлажнена только 50 см толща, то ниже по склону повышенное увлажнение наблюдается и в слое 50–100 см. Запасы влаги в метровой толще верхней половины склона на конец июня составили в среднем 283 мм, ниже по склону – 312 мм, в микрозападинах от 320 до 340 мм. Коэффициент корреляции

с микрорельефом составил $-0,69$. Таким образом, установлено, что на перераспределение влаги по склону помимо направления и величины основного мезосклона, большое влияние оказывает микрорельеф склоновой поверхности.

Далее, рассмотрим вариабельность относительных отметок превышения поверхности, плотности и влажности пахотного горизонта в верхней, средней и нижней частях склона. На рис. 3 представлена нивелирная съемка поверхности трех площадок.

Показано, что максимальный перепад высот площадки 1, расположенной в верхней части склона (чернозем оподзоленный слабосмытый), составляет 34 см, направление наклона поверхности приблизительно 45° к направлению трансекты. Перепад высот в направлении трансекты – 13 см. На площадке 2, в средней части склона (серая лесная среднесмытая), направление наклона практически совпадает с направлением трансекты, перепад высот – 68 см. В правом нижнем углу отмечается микрозападина глубиной 20 см, поэтому общий перепад высот составляет 98 см. В нижней части склона (площадка 3) перепад высот составляет уже 105 см. Соответственно возрастают и углы наклона поверхности.

В табл. 2 представлены статистические характеристики плотности экспериментальных площадок. Установлено, что плотность пахотного горизонта чернозема слабосмытого (площадка 1) колеблется в пределах $0,86$ – $1,14$ г/см³ при среднем показателе $0,98$ г/см³. Размах колебаний $0,28$ г/см³. Коэффициент вариации плотности – 8,0%.

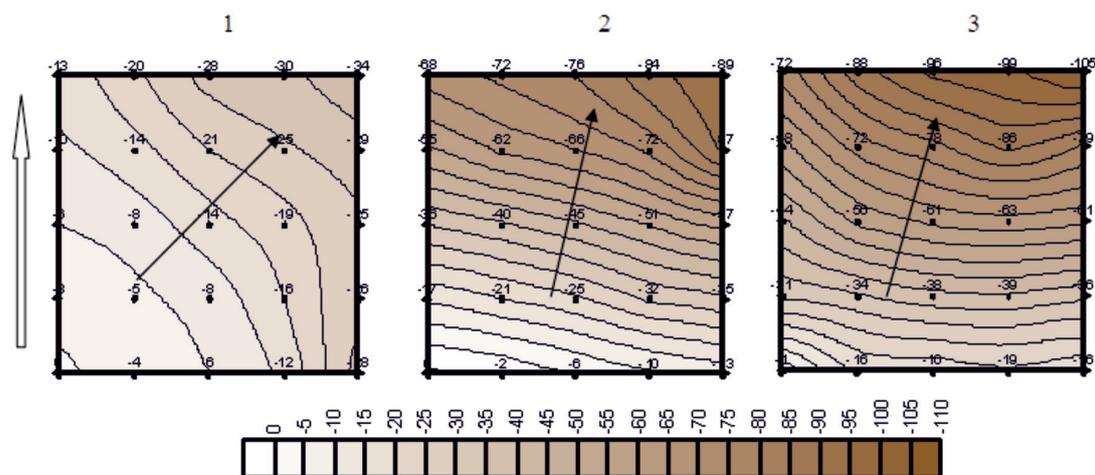


Рис. 3. Результаты нивелирной съемки поверхности экспериментальных площадок 1, 2 и 3: 0–105 отметки превышения; \Rightarrow направление трансекты; \rightarrow направление уклона

Таблица 2

Статистические характеристики плотности пахотного слоя экспериментальных площадок

	Площадка 1, верх склона (чернозем оподзоленный слабосмытый)	Площадка 2, средняя часть склона (серая лесная среднесмытая)	Площадка 3, нижняя часть склона (серая лесная сильносмытая)
Среднее значение, г/см ³	0,99	1,04	1,15
Минимум, г/см ³	0,86	0,87	0,90
Максимум, г/см ³	1,14	1,21	1,37
Размах колебаний, г/см ³	0,28	0,34	0,47
Ст. отклонение	0,08	0,098	0,12
Дисперсия	0,006	0,01	0,014
К. вариации, %	8	9,4	10,4

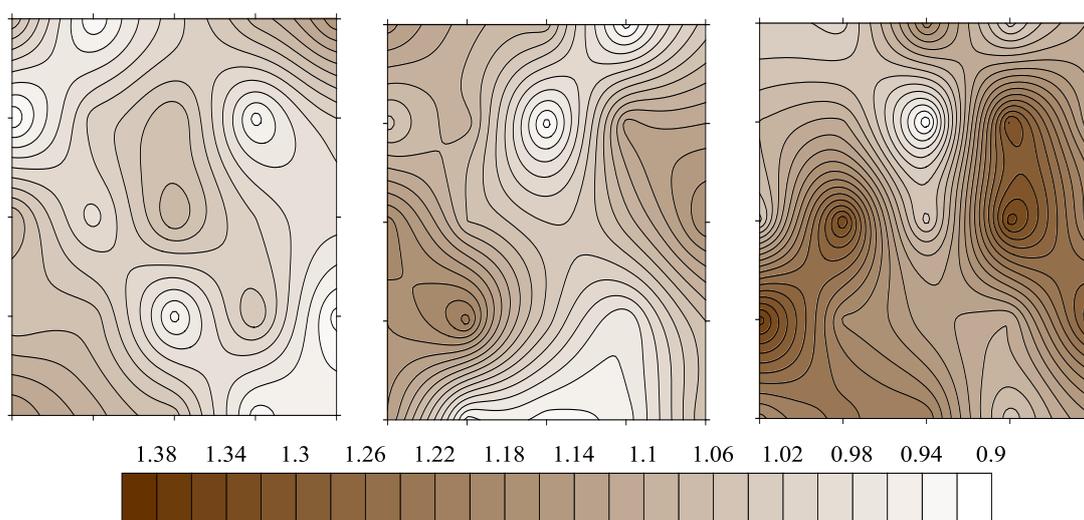


Рис. 4. Топоизоуплеты объемной массы (г/см³) пахотного слоя экспериментальных площадок 10x10 м; 1 – верхняя часть склона (чернозем оподзоленный слабосмытый), 2 – средняя часть склона (темно-серая лесная среднесмытая), 3 – нижняя часть склона (серая лесная сильносмытая)

Плотность пахотного горизонта расположенной ниже по склону темно-серой лесной среднесмытой почвы (площадка 2) составила в среднем 1,04 г/см³, при этом она варьировала от 0,87 до 1,21 г/см³. Размах колебаний 0,34 г/см³ – это в 1,2 раза больше, чем в черноземе. Коэффициент вариации также больше – 9,4%. Плотность пахотного горизонта площадки 3 (серая лесная сильносмытая) варьирует в еще более широких пределах. Средние показатели колеблются от 1,15 г/см³ до 1,37 г/см³, коэффициент вариации – 10,4%. Топоизоуплеты плотности, представленные на рис. 4, наглядно демонстрируют различия пространственного распределения плотности трех площадок. Установлено, что варьирование показателей зависит от площади опробования: при увеличении площади опробования коэффициент вариации возрастает. В наших опытах

2018 г. [4] коэффициент вариации плотности пахотного горизонта площадки 1x1 м составил 7%, а площадки 5x5 м – 9,2%. В 2019 г. на площадках 10x10 м вариабельность менялась от 8 до 10,4% в зависимости от расположения площадок по рельефу.

Влажность в процентах от объема на момент определения плотности для первой площадки в среднем составила 34,1%, при изменении от 27,9 до 38,4%. Вариабельность – 10,5%. Пахотный горизонт темно-серой почвы был более влажным. Средний показатель – 36,3%. Размах колебаний от 28,9% до 40,8%. Коэффициент вариации – 11,9%.

Кроме того, мы представили статистические характеристики в виде диаграмм размаха, так называемых Box Plot (рис. 5). Этот способ представления и сравнения групп данных в графическом виде является достаточно удобным.

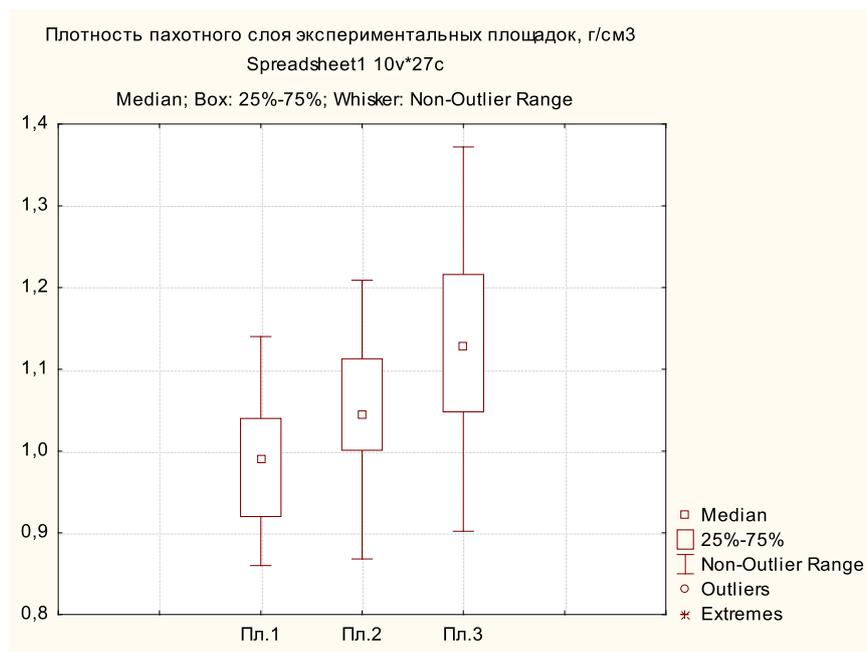


Рис. 5. Статистические параметры распределения значений плотности пахотного слоя экспериментальных площадок

Помимо того, что на графике видны все ключевые значения (средние показатели, медиана и т.д.), можно наглядно оценить симметричны ли данные, насколько плотно они сгруппированы, как и в каком направлении они смещены. В нашем случае по плотности четко видно разницу между площадками. Более высокие значения средних по объемной массе на второй и третьей площадках сформировались не только за счет увеличения максимума при практически одинаковых минимумах, но и за счет группировки 50% значений в более высоком диапазоне плотностей.

Возрастание средних и медианы вниз по склону свидетельствует об увеличении плотности пахотного горизонта вниз по склону, а увеличение общего и квартильного размаха говорит о большей неоднородности и контрастности уплотнения пахотного горизонта на второй и третьей площадках по сравнению с первой, что, в свою очередь, может объясняться усилением микрозападинности рельефа.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что рассматриваемый склон по целому ряду показателей можно разделить на две части. Верхняя часть (примерно до 140 м) пологая с уклоном 1,5° в основном на юго-запад, с ровным

характером поверхности, с преобладанием черноземов слабосмытых. В нижней части, где преобладают серые лесные средне- и сильносмытые почвы, уклоны достигают 6° с направлением в основном на юг; поверхность отличается наличием большого количества микрозападин и микроповышений; пахотный горизонт более плотный и влажный. Вариабельность плотности, влажности, мощности гумусового горизонта, глубины залегания карбонатов достоверно выше, чем в верхней части склона. Согласно «Общесоюзной инструкции по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования» земли верхней части исследуемого склона следует отнести ко II категории эрозийности – земли интенсивного использования с преобладанием слабосмытых почв, а земли нижней части склона – к III категории – земли умеренного использования с преобладанием среднесмытых почв [5]. Это не может не накладывать определенного отпечатка на агротехнику поля в целом. Если в верхней части склона достаточно обычной безотвальной обработки строго поперек склона, то в нижней – использование земель в пашне должно осуществляться в системе противоэрозионных мероприятий с исключением пропашных культур, расширением посевов многолетних трав

и зернобобовых, а также заменой чистого пара сидеральным.

Работа выполнена по государственному заданию ИППА СО РАН.

Список литературы

1. Личман Г.И., Марченко Н.М. Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // Геоматика. 2011. № 4. С. 89–94.

2. Сидорова В.А. Геостатистический анализ пространственной неоднородности сельскохозяйственных полей для

целей точного земледелия: автореф. дис. ... канд. сел.-хоз. наук. Петрозаводск, 2011. 26 с.

3. Эрозия и диагностика эродированных почв Сибири / Отв. ред. В.П. Панфилов; АН СССР. Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1988. 116 с.

4. Шапорина Н.А., Чичулин А.В., Чумбаев А.С. Пространственная изменчивость водно-физических свойств темно-серой лесной почвы в условиях Предсалаирья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 10. С. 144–149.

5. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: КолоС, 2011. 422 с.

СТАТЬИ

УДК 666.3-127.7

**ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
В РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЯ
В ФОРМЕ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРОВ**

¹Болгару К.А., ¹Браверман Б.Ш., ¹Максимов Ю.М., ¹Регер А.А., ²Верещагин В.И.

¹*Томский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук,
Томск, e-mail: regerwork1@gmail.com;*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск, e-mail: vver@tpu.ru*

Для получения однородных керамических материалов, синтезированных путём горения ферросиликоалюминия (ФС65А15) в атмосфере азота предложено использовать исходные образцы в форме полого цилиндра с газопроницаемыми стенками. Проведено сравнительное сопоставление результатов, подтверждающих влияние формы исходного образца ферросиликоалюминия на степень однородности конечного продукта. Показано, что при горении в атмосфере азота образцов продукт состоит из фаз Si_3AlON_7 , $\text{Si}_3\text{Al}_3\text{ON}_5$, FeSi , Si_3N_4 , FeSi_2 , Fe , Fe_3Si_3 . Внутренняя часть содержит больше фазы FeSi_2 и меньше азота (17,7%), чем внешняя (21,4%), что обусловлено переходом горения в поверхностный режим. Одним из важнейших факторов, определяющих смену режимов горения, является длина пути проходящего фильтрующимся газом, которая определяется в случае сплошного цилиндра его радиусом, а в случае полого цилиндра – половиной толщины стенки. Экспериментально определено, что для порошка ферросиликоалюминия с размером частиц менее 50 мкм минимальный радиус цилиндрического образца при котором возможно горение, равен 30 мм, а для полого цилиндра из такого же порошка минимальная толщина стенки равна 20 мм. Переход к образцам в форме полого цилиндра позволяет избежать перехода горения в поверхностный режим, что обеспечивает однородность продуктов реакции и стабильность фазового состава Si_3AlON_7 , $\text{Si}_3\text{Al}_3\text{ON}_5$, FeSi , Si_3N_4 , FeSi_2 , Fe , Fe_3Si_3 . Термометрическими измерениями определены максимальные температуры горения и скорости распространения зоны реакции при различных давлениях азота. Показано, что горение в токе азота приводит к повышению температуры горения на 380 °С (2430 °С) и повышению глубины превращения. Термограммы горения в условиях вынужденной фильтрации азота указывают на стадийность процесса горения.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, поверхностное горение, вынужденная фильтрация, нитриды

**OBTAINING OF COMPOSITE MATERIALS BY THE COMBUSTION
OF HOLLOW CYLINDER-SHAPED ALUMINUM FERROSILICON**

¹Bolgaru K.A., ¹Braverman B.Sh., ¹Maksimov Yu.M., ¹Reger A.A., ²Vereschagin V.I.

¹*Tomsk Scientific Center of the Siberian branch of the Russian Academy of Science, Tomsk,
e-mail: regerwork1@gmail.com;*

²*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: vver@tpu.ru*

It is proposed to use initial samples in the form of a hollow cylinder with gas-permeable walls to obtain uniform ceramic materials synthesized by the combustion of ferrosiliconaluminum (FS65A15) under the nitrogen atmosphere. A comparative analysis of the obtained results confirms the effect of the shape of the initial aluminum ferrosilicon sample on the uniformity degree of a final product. It is shown that the product obtained by the combustion of samples under the nitrogen atmosphere consists of Si_3AlON_7 , $\text{Si}_3\text{Al}_3\text{ON}_5$, FeSi , Si_3N_4 , FeSi_2 , Fe , Fe_3Si_3 phases. The inner part of the product contains more FeSi_2 phase and less nitrogen (17.7%) than the outer part (21.4%), which is due to the transition of combustion to the surface mode. One of the most important factors determining the change of combustion modes is the path length of filtered gas, which is determined by the cylinder radius for a solid cylinder, and by half the wall thickness for a hollow cylinder. It is experimentally determined that the minimum radius of a cylindrical sample necessary for the initiation of combustion is 30 mm for aluminum ferrosilicon powder with a particle size of less than 50 μm , and the minimum wall thickness is 20 mm for a hollow cylinder made of the same powder. The use of hollow cylinder-shaped samples prevents the transition of combustion to the surface mode, which ensures the uniformity of reaction products and the stability of the phase composition Si_3AlON_7 , $\text{Si}_3\text{Al}_3\text{ON}_5$, FeSi , Si_3N_4 , FeSi_2 , Fe , Fe_3Si_3 . The maximum combustion temperatures and the propagation velocity of the reaction zone are measured at different nitrogen pressures using thermocouples. It is shown that combustion in nitrogen flow leads to an increase in the combustion temperature by 380 °C (2430 °C) and in the conversion degree. Thermograms of combustion with forced nitrogen filtration indicate the staged process of combustion.

Keywords: self-propagating high-temperature synthesis, surface combustion, forced filtering, nitrides

В настоящее время керамические фильтры могут использоваться для очистки газовых и жидких сред в различных областях промышленности. Особый интерес представляет нитрид кремния, поскольку ма-

териалы на его основе обладают уникальным сочетанием свойств: стабильностью при высоких температурах (1500–1800 °С), высокими показателями коррозионной, жаро- и износостойкости, значительной

твердостью и прочностью [1, 2] – и рассматриваются в настоящее время как материалы, имеющие значительные технологические и коммерческие перспективы [3, 4]. В отличие от традиционных способов получения нитридов и композиционных материалов на их основе (печной, плазмохимический, золь-гель, механохимический, реакционное спекание, горячее прессование и др.) процесс самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [5, 6] дает возможность осуществлять синтез без затрат энергии.

Простой расчет показывает, что даже при максимальной пористости исходного материала, содержащегося в порах азота, недостаточно для полного азотирования порошка и большая часть азота, необходимого для протекания реакции, должна поступать из внешней среды путем фильтрации по порам – это фильтрационное горение. Фильтрационное горение в азоте ряда ферросплавов позволяет получать в одном процессе кислотостойкую нитридную керамику. В качестве такого ферросплава может использоваться ферросиликоалюминий. Для фильтрационного горения образцов с газопроницаемой боковой поверхностью характерна возможность перехода процесса горения в поверхностный режим, при котором фронт горения распространяется вдоль боковой поверхности быстрее, чем в объеме образца. Затем поверхностные участки фронта начинают двигаться к центру образца, при этом газ-реагент фильтруется через горячую боковую поверхность, в которой продолжается поглощение азота. Кроме того, проницаемость боковой поверхности в результате спекания продукта может уменьшаться. В результате этого в центральной части горение происходит в условиях недостатка газообразного реагента, что обуславливает снижение глубины превращения. Фазовый состав в центральной части образца отличается от фазового состава периферийных участков. Условия перехода горения в поверхностный режим для сплошных образцов конечной длины могут быть записаны в виде критерия [7]:

$$KP = B \frac{\omega}{K_f P_0^2} \frac{1}{\ln \left(\frac{L - x_0}{h} + \sqrt{1 + \left(\frac{L - x_0}{h} \right)^2} \right)} > 1,$$

где ω – массовая скорость горения, K_f – коэффициент фильтрации, P_0 – давление, h – половина ширины образца, L – длина образца, x_0 – длина сгоревшей части образца, B – константа, $B = \mu * R * T / (2 * M)$, M – молекулярная масса газа; μ – масса потребляемо-

го газа при сгорании единицы массы горючего, R – универсальная газовая постоянная, T – температура внешней среды. Критерий показывает, что переход горения в поверхностный режим должен происходить при любых начальных условиях, но на различном расстоянии от нижнего торца образца. Если это расстояние $(L - x_0)$ будет достаточно малым, то влияние поверхностного режима на химический и фазовый состав продукта будет незначительным. Переходу в поверхностный режим способствуют увеличение диаметра образцов и снижение давления. В случае горения ферросиликоалюминия в азоте возможности варьирования давления и диаметра образца ограничены, поскольку образцы не горят при давлениях менее 30 атм и диаметре менее 30 мм.

Поток газа-реагента обусловлен разностью давлений газа вблизи зоны реакции, где он потребляется, и внешним давлением в реакционном сосуде. Это горение с естественной фильтрацией. Известен также вариант горения, в котором газ продувается с помощью внешнего источника через реагирующую смесь – горение с вынужденной фильтрацией. В работе [8] изучали горение ферросилиция в условиях вынужденной фильтрации азота при повышенном давлении. Было показано, что перенос тепла потоком газа приводит к повышению температуры, а перенос потоком азота летучих компонентов приводит к сегрегации нитрида кремния в нижней части образца.

Цель исследования: исследование возможности снижения влияния поверхностного горения на состав продукта путем замены формы сплошного цилиндра исходных образцов на полый цилиндр при горении в условиях естественной и вынужденной фильтрации азота.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является промышленный ферросплав – ферросиликоалюминий марки ФС65А15. Изучали горение порошка сплава, содержащего: Si – 60,1 мас.%, Fe – 25,6 мас.%, Al 13,3 – мас.%, O – 0,9 мас.%. В исследованиях использовали измельченный полидисперсный порошок с размером частиц менее 50 мкм. Выбор ферросплава в качестве исходного материала обусловлен тем, что данный материал значительно упрощает технологию СВС и снижает себестоимость готовых продуктов [9].

По результатам рентгенофазового анализа исходный ферросплав представляет собой многофазный материал, состоящий из кремния, высокотемпературного лебита ($FeSi_2$). В качестве примесных фаз при-

сутствуют $Al_{0,5}Fe_{0,5}$ и Al_2O_3 . По результатам микрорентгеноспектрального анализа исходного ферросиликоалюминия установлено, что алюминий в основном находится в составе твердого раствора на основе $\alpha - FeSi_2$, образуя две фазы с различным соотношением кремния и алюминия: $FeSi_{2,22}Al_{0,4}$ и $FeSi_{1,6}Al_{2,2}$. Алюминий в виде отдельной фазы не обнаружен.

Синтез горением в условиях естественной фильтрации азота осуществляли в стандартной установке постоянного давления в цилиндрическом тигле из металлической сетки с размером ячейки 100 мкм в случае получения образцов в форме сплошного цилиндра.

Для получения образцов в форме полового цилиндра порошок засыпали в пространство между двумя коаксиальными тиглями, изготовленными из такой же сетки. Диаметр внешнего тигля – 60 мм, внутреннего – 20 мм. Сетку использовали для обеспечения газопроницаемости внешней и внутренней боковых поверхностей образцов. Такие размеры обусловлены тем, что минимальное расстояние между поверхностями тиглей, при котором наблюдалось устойчивое горение, составляло 20 мм (сплошные цилиндрические образцы диаметром менее 30 мм не горели). Температуру горения измеряли вольфрам-рениевыми термопарами (BP 5/20) с записью показаний на компьютере при помощи АЦП ЛА20USB. Скорость распространения зоны реакции определяли с помощью двух термопар, расположенных на определенном расстоянии друг от друга. Рентгенофазовый анализ исходного материала и продуктов горения проводили, используя дифрактометр Shimadzu XRD6000 (Япония) и базу данных PDF 2. Содержание азота и кислорода определяли на приборе LECO ONH 836 (США) ТОМ ЦКП СО РАН. Для проведения синтеза в условиях вынужденной фильтрации использовали установку, подобную использованной в [8]. Горение порошка ферросиликоалюминия в потоке азота не удалось осуществить, как и порошка ферросилиция, из-за плохой газопроницаемости. В случае ферросилиция преодолеть это препятствие удалось с помощью гранулирования порошка. Гранулирование порошка ферросиликоалюминия по аналогичной методике не дало возможности его проазотировать в условиях, описанных в [8]. Вероятно, причиной является более низкая температура плавления ферросиликоалюминия ($874^\circ C$) [9] по сравнению с температурой плавления ферросилиция ($1203^\circ C$) [10]. Поэтому схему азотирования ферросиликоалюминия в потоке азота изменили (рис. 1).

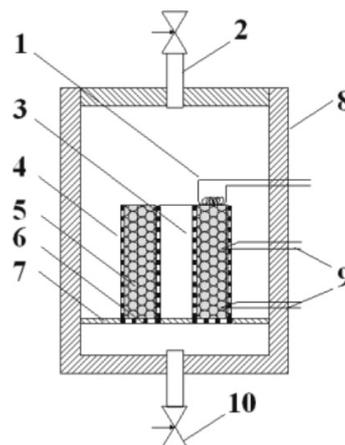


Рис. 1. Схема установки для изучения горения порошков металлов при повышенном давлении в потоке азотсодержащего газа. 1 – поджигающая спираль, 2 – патрубок для напуска газа с регулирующим клапаном, 3 – внутренняя сетка, 4 – внешняя сетка, 5 – порошок (горючее), 6 – нижняя сетка, 7 – подставка, 8 – корпус, 9 – термопары, 10 – патрубок выпуска газа с регулирующим клапаном

Установка собрана на основе реактора СВС-20 (8), в котором имеются отверстия для ввода (2) и вывода (10) газа-реагента. Внутреннее пространство реактора разделено на две части подставкой (7), которая герметично соединена со стенкой реактора и в которой имеются отверстия под участками, над которыми устанавливается сборка с порошком. Отверстия в подставке перекрываются металлической сеткой (6) во избежание просыпания порошка. Сборка, в которую помещали порошок, подобна использованной при горении в условиях естественной фильтрации. Она состоит из двух коаксиальных тиглей 20 (3) и 60 (4) мм, изготовленных из металлической сетки. Термопары (9) служат для измерения температуры горения и скорости распространения зоны реакции. Иницирование реакции осуществляется подачей напряжения на спираль (1). Поток газа из верхней части реактора попадает в нижнюю часть через образец и нижнюю сетку, которая установлена под порошком. Горение осуществляли при давлении азота 4 МПа и потоках $86\text{--}371\text{ см}^3/\text{с}$.

Результаты исследования и их обсуждения

На рис. 2 представлена типичная рентгенограмма продукта синтезированного из сплошного цилиндра ферросиликоалюминия диаметром 30 мм при давлении азо-

та 4 МПа. Основными фазами являются 1 – Si_5AlON_7 , 2 – $\text{Si}_3\text{Al}_3\text{ON}_5$, 3 – FeSi , 4 – Si_3N_4 , 5 – FeSi_2 , 6 – Fe , 7 – Fe_3Si_5 как при горении с естественной фильтрацией, так и при горении с вынужденной фильтрацией азота. Представленные на рис. 3 фрагменты рентгенограмм показывают, что в образце в форме сплошного цилиндра повышенное содержание FeSi_2 – фазы содержащейся в исходном сплаве, что указывает на недогорание.

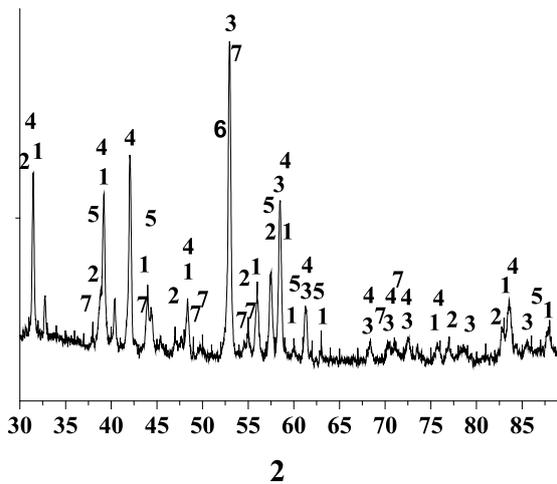


Рис. 2. Рентгенограмма продукта горения ФСА в азоте в условиях естественной фильтрации: 1 – Si_5AlON_7 , 2 – $\text{Si}_3\text{Al}_3\text{ON}_5$, 3 – FeSi , 4 – Si_3N_4 , 5 – FeSi_2 , 6 – Fe , 7 – Fe_3Si_5

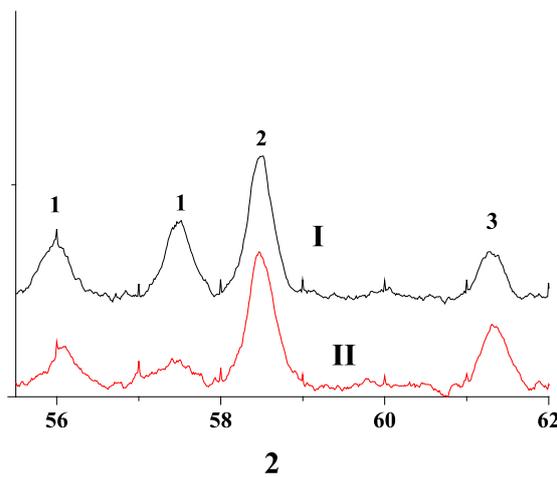


Рис. 3. Фрагменты рентгенограмм снятых с различных частей образца в форме сплошного цилиндра диаметром 30 мм, полученного в условиях естественной фильтрации азота при давлении 4 МПа: I – внутренняя часть образца, II – внешний слой толщиной 5 мм; 1 – FeSi , 2 – FeSi_2 , 3 – Si_5AlON_7

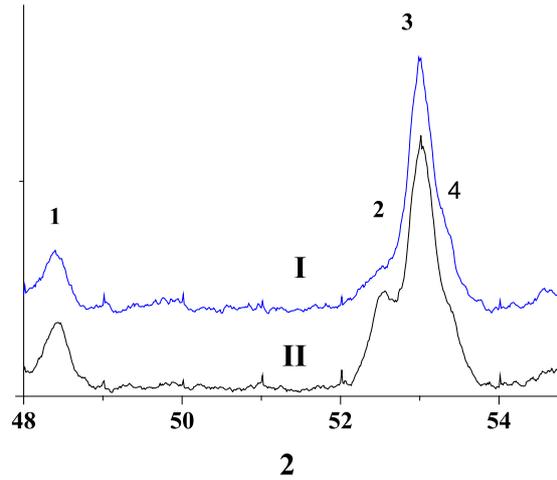


Рис. 4. Фрагменты рентгенограмм образцов в форме полого цилиндра, сгоревших в условиях: I – естественной фильтрации, II – вынужденной фильтрации азота: 1 – Si_3N_4 , 2 – Fe , 3 – FeSi , 4 – Fe_3Si_3

Химический анализ показывает, что в центральной части содержится 17,7% азота, а во внешней – 21,4%. Недогорание в центральной части связано с поверхностным режимом горения. Этим было обусловлено использование для синтеза образцов в форме полого цилиндра с газопроницаемыми боковыми стенками. Анализ продуктов горения образцов в форме полого цилиндра показал, что их состав является однородным по всему объему и аналогичен составу внешней части образцов в виде сплошного цилиндра. Из рис. 4 следует, что в полой образце сгоревшем в потоке газа, выше содержание Fe, что указывает на повышенную глубину превращения.

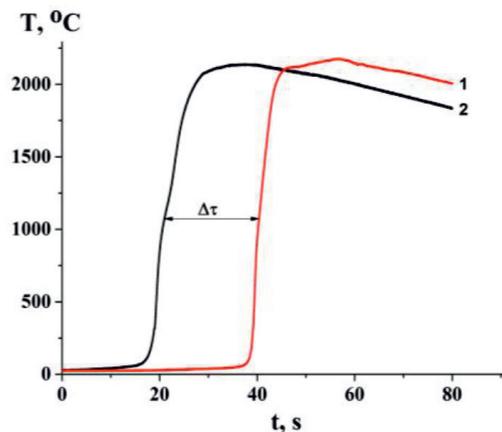


Рис. 5. Термограмма горения при давлении 6 МПа (1 – термопара 1, 2 – термопара 2)

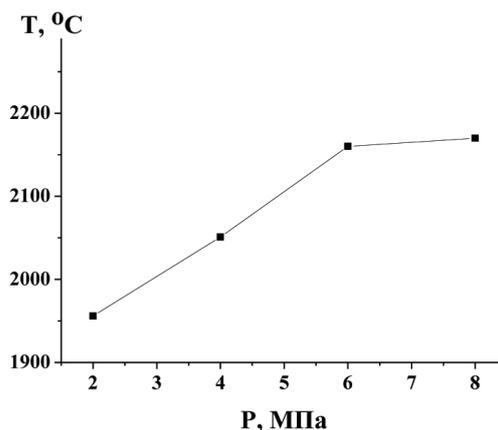


Рис. 6. Зависимость максимальной температуры от давления азота при горении в условиях естественной фильтрации

На рис. 5 приведены типичные термограммы горения полого образца ферросиликоалюминия в условиях естественной фильтрации при давлении 6 МПа. Подобие термограмм, полученных в разных участках образца, указывает на устойчивый режим горения. Расстояние между термограммами (L) позволяет определить время затраченное на прохождение зоной горения от одной термопары до другой (Δt). При известном расстоянии между термопарами можно определить скорость распространения зоны реакции (U). В случае приведенном на рис. 3 $\Delta t = 20$ сек., $L = 8$ мм, $U = 0,4$ мм/с. Рис. 6 показывает, что максимальная температура в зоне горения изменялась с изменением давления, оставаясь близкой к температуре горения сплошных образцов [9]. Скорость распространения зоны горения изменялась от 0,21 до 0,53 мм/с. На рис. 7 приведена термограмма горения порошка ферросиликоалюминия в потоке азота при расходе азота $100 \text{ см}^3/\text{с}$ и давлении 4 МПа.

Сравнение термограмм показывает, что при горении в потоке увеличивается протяженность зоны прогрева. Это связано с тем, что прошедший через зону продуктов газ нагревается и прогревает порошок, находящийся перед зоной горения. Максимальная температура в случае горения в потоке выше на 380°C , чем при горении с естественной фильтрацией, что также объясняется переносом тепла потоком газа. На термограмме наблюдается изгиб при температурах, превышающих 1000°C , что указывает на стадийность реакции в зоне горения. Аналогичный изгиб наблюдается и при горении в условиях естественной фильтрации. Согласно [9],

при азотировании ферросиликоалюминия в изотермических условиях процесс начинается с образования нитрида алюминия. Вероятно, что и при азотировании в режиме горения в условия изменяющейся температуры первая стадия тепловыделения определяется преимущественно реакцией с алюминием, а во второй стадии тепловыделение определяется преимущественно реакцией образования нитрида кремния.

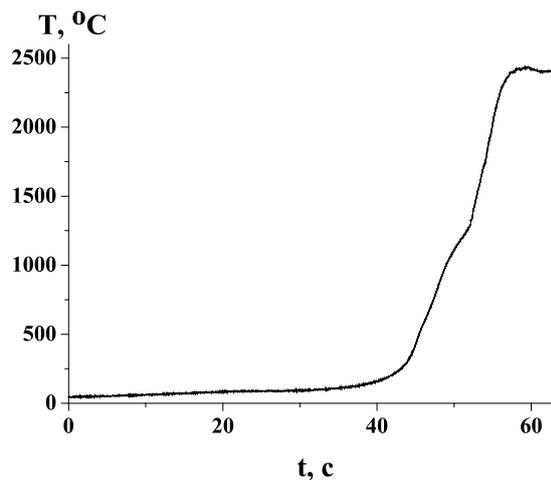


Рис. 7. Термограмма горения образца ферросиликоалюминия в форме полого цилиндра в потоке азота: давление 4 МПа, расход газа $100 \text{ см}^3/\text{с}$

Заключение

1. Установлено, что горение в азоте порошка ферросиликоалюминия в форме полого цилиндра наблюдается при толщине стенки не менее 20 мм и давлении азота более 2 МПа.

2. При горении ферросиликоалюминия в форме полого цилиндра с толщиной стенки 20 мм не наблюдается поверхностного режима горения, что приводит к получению продукта с более однородным фазовым составом (Si_5AlON_7 , $\text{Si}_3\text{Al}_3\text{ON}_5$, FeSi , Si_3N_4 , FeSi_2 , Fe , Fe_3Si_3) по толщине образца.

3. Показано, что горение в потоке азота в реакторе приводит к повышению максимальной температуры в зоне реакции, что приводит к повышению глубины превращения.

Список литературы

1. Самсонов Г.В., Кулик О.П., Полищук В.С. Получение и методы анализа нитридов. Киев: Наукова думка, 1978. 320 с.
2. Gromov A.A., Chuklomina L.N. Nitride Ceramics: Combustion Synthesis, Properties and Applications. 1st ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2015. 360 p.

3. Ziatdinov M., Zhukov A., Promakhov V. Combustion Synthesis of Composition Ferroalloys. *Materials*. 2018. Vol. 11. 2117. DOI: 10.3390/ma11112117
4. Borovinskaya I.P., Gromov A.A. and etc. Concise Encyclopedia of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. Elsevier Inc., 2017. 439 p.
5. Шагохин И.М., Зиятдинов М.Х., Бигеев В.А., Манашев И.Р., Букреев А.Е. Применение СВС-технологий в металлургии: монография. Магнитгорск: Изд-во Магнитогорского гос.техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 91 с.
6. Шаймарданов К.Р., Шагохин И.М., Зиятдинов М.Х. Опыт производства и применения СВС-ферросиликотитана журнал // Сталь. 2014. № 3. С. 33–38.
7. Браверман Б.Ш. Технология получения нитридов хрома методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза: дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2008. 154 с.
8. Браверман Б.Ш., Чухломина Л.Н., Максимов Ю.М., Болгару К.А. Изучение горения ферросилиция в потоке азота // Известия вузов Физика. 2013. Т. 56. № 12–2. С. 96–99.
9. Болгару К.А. Технология получения железосодержащих композитов на сиалоновой матрице методом СВС и их каталитические свойства: дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2015. 149 с.
10. Лякишев Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник в 3-х т. М.: Машиностроение, 1997. 1024 с.

УДК 53.06:637.5.03:637.5.072

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ ПАТОГЕННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ

¹Волков А.Ю., ²Донскова Л.А., ²Коткова В.В.

¹ФГБУН «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева» УрО РАН,
Екатеринбург, e-mail: volkov@imp.uran.ru;

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»,
Екатеринбург, e-mail: кафедра@list.ru, kiki-ekb@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы загрязнения мяса и мясных продуктов микроорганизмами, для решения которых предлагается использование воздействия на микрофлору высокого гидростатического давления. Материалом для исследования послужили образцы мясной говяжьей обрезки. При этом для проведения исследований были смоделированы опытные группы, образцы которых были инъецированы чистыми культурами микроорганизмов рода *Salmonella*, рода *Listeria*, а также колиформными бактериями. Контрольную группу составили образцы с фоновым содержанием микроорганизмов. Образцы подвергались воздействию высокого гидростатического давления, величина которого составила 250 МПа, время экспозиции 5, 15 и 30 минут. Микробиологическая оценка проводилась на соответствие требованиям ТР ТС 021/2011 и 034/2013 с использованием общепринятых методов исследований. Установлено, что наиболее восприимчива к высокому давлению – *Listeria*, так как при всех длительностях воздействия (5, 15, 30 мин) не обнаруживалась. К летальному исходу микроорганизмов рода *Salmonella* приводит более длительная экспозиция при прочих равных условиях. Общая микробная обсемененность при 5-минутной экспозиции остается практически без изменений, при 15–30-минутной обработке – наблюдаются колебания в сторону снижения. Наименее восприимчивы к давлению БГКП, их наличие установлено в 2 случаях из 4 при экспозиции 5 минут, и в 1 случае из 4 – при 15-минутной экспозиции. В целом результаты исследований позволяют рекомендовать использовать высокое гидростатическое давление как метод решения проблемы загрязнения мясного сырья.

Ключевые слова: безопасность, мясо, высокое гидростатическое давление, КМАФАнМ, КОЕ/г, БГКП, *Salmonella*, *Listeria*

THE USE OF HIGH PRESSURE TO SOLVE THE PROBLEM OF POLLUTION OF MEAT RAW MATERIALS BY PATHOGENIC MICROORGANISMS

¹Volkov A.Yu., ²Donskova L.A., ²Kotkova V.V.

¹M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, e-mail: volkov@imp.uran.ru;

²Federal state educational budgetary institution «Ural State University of Economics»,
Yekaterinburg, e-mail: кафедра@list.ru, kiki-ekb@yandex.ru

The article deals with the issues of contamination of meat and meat products by microorganisms, for the solution of which it is proposed to use the impact on the microflora of high hydrostatic pressure. Experimental groups were simulated for the research, the samples of which were injected with pure cultures of microorganisms of the genus *Salmonella*, the genus *Listeria*, as well as coliform bacteria. The control group consisted of samples with background content of microorganisms. The samples were exposed to high hydrostatic pressure, the value of which was 250 MPa, exposure time 5, 15 and 30 minutes. Microbiological assessment was carried out for compliance with the requirements of TR CU 021/2011 and 034/2013 using generally accepted research methods. *Listeria* was found to be the most susceptible to high pressure, since it was not detected at all exposure durations (5, 15, 30 min). To lethal outcome of microorganisms of the genus *Salmonella* leads the longer exposure, other things being equal. The total microbial contamination at 5-minute exposure remains virtually unchanged, with 15-30-minute treatment – there are fluctuations in the downward direction. The least susceptible to pressure bgkp, their presence is established in 2 cases out of 4 at exposure of 5 minutes, and in 1 case out of 4 – at 15 minute exposure. In General, the results of the research allow us to recommend the use of high hydrostatic pressure as a method of solving the problem of contamination of meat raw materials.

Keywords: safety, meat, high hydrostatic pressure, QMAFAnM, CFU/g, CGB, BGKP, *Salmonella*, *Listeria*

В мясоперерабатывающей промышленности одной из наиболее острых проблем является нехватка высококачественного сырья [1, 2], что обуславливает зачастую использование низкосортного и/или несортного сырья. Использование низкоккачественных сырьевых ресурсов наиболее часто применяется в производстве тех мясopодуктов, которые находятся в относительно низких

ценовых диапазонах, и значит, являясь продуктами массового спроса, представляют собой угрозу безопасности здоровью и жизни потребителей. Одной из причин непригодности мясного сырья для пищевых целей является его обсемененность микроорганизмами, в том числе патогенными.

Микроорганизмы в продуктах питания – это наиболее значимый фактор био-

логической безопасности и экономического ущерба, указывает С.А. Шевелева [3], 70% из всех регистрируемых болезней человека и 30% всех смертей обусловлено инфекциями, подчеркивает исследователь.

Вопросам обеспечения качества и безопасности используемого мясного сырья и выпускаемых продуктов, оценке их стабильности, в том числе и в микробиологическом плане, на всех этапах производства посвящены исследования многих ученых. Например, Д.С. Батаева и др. [4] отмечают, что неудовлетворительные условия получения, первичной обработки и хранения сырья становятся основной причиной интенсивного накопления широкого спектра условно-патогенной и патогенной микрофлоры, на фоне которого возможно присутствие наиболее опасных возбудителей пищевых инфекций. И если в изделиях, прошедших термическую обработку в технологическом процессе, высокая микробная обсемененность в целом и патогенными микроорганизмами в частности не превышают нормативных значений, то в полуфабрикатной группе весь первоначальный видовой состав микробного населения остается без изменений, а в ряде случаев и расширяется, обсеменяясь из окружающей среды цехов и поверхностей машин. В исследованиях А.М. Абдуллаевой, выявлено, что 19–23% реализуемых полуфабрикатов из мяса птицы имеют повышенное КМАФАнМ, КОЕ/г, а в 15–17% образцов этот показатель достигал верхних пределов уровней, допустимых нормативными документами [5].

Бактериальное заражение продуктов питания патогенными микроорганизмами грозит потребителю пищевыми отравлениями, протекающими тяжело и нередко заканчивающимися трагедией [6]. Учитывая, что в последние десятилетия в экономически развитых странах отмечается увеличение удельного веса инфекций, вызываемых условно-патогенными микроорганизмами, которые являются причиной возникновения более 100 различных нозологических форм гнойно-воспалительных заболеваний, отмечают С.М. Омарова, А.И. Алиева и др. [7], проблема представляет собой актуальную тематику для исследований.

Система обеспечения микробиологической безопасности пищевых продуктов включает организационно-надзорные мероприятия, к существующим методам обеспечения микробиологической безопасности и хранимоспособности пищевых продуктов относят и использование консервантов, современные виды и способы упаковывания, деконтаминацию мясного сырья, замораживание, термическую стерилизацию [8].

В мировой практике при производстве мясных продуктов применяют физические, химические и биологические факторы, являющиеся основой технологических процессов, обеспечивающих качество и безопасность вырабатываемых изделий, и с использованием которых сформирована «теория барьеров» [9].

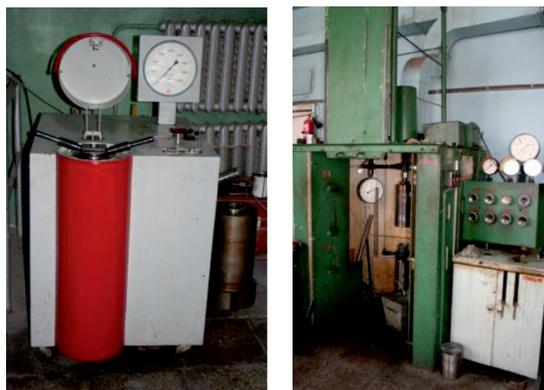
Микробиологические аспекты всех этапов изготовления мясной продукции имеют существенную значимость для специалистов мясной отрасли. Им важны знания по жизнеспособности микрофлоры в зависимости от применяемых технологий. Это относится и к физическим методам, являющимся главенствующими при изготовлении мясных продуктов, а именно высокому давлению, которое находит все более широкое применение в пищевой промышленности, в том числе в мясной промышленности. По состоянию на 2010 г. в мировой практике пищевой отрасли функционировало 130 установок высокого давления, особенно для обработки упакованной продукции [9]. Следует отметить, что исследования влияния гидростатического давления на микроорганизмы были начаты Клодом ЗоБеллом и Френком Джонсоном в 1949, при этом исследователи классифицировали все микроорганизмы на несколько групп, взяв за основу их чувствительность к высокому гидростатическому давлению: пьезочувствительные (барочувствительные), пьезотолерантные (баротолерантные), пьезофильные (барофильные) и облигатные (экстремальные) пьезофилы (облигатные барофилы) [10].

Вместе с тем следует отметить, в литературе, несмотря на достаточное количество научных публикаций, недостаточно отражены вопросы, связанные с решением данной проблемы, кроме того, отсутствуют единые общепринятые критерии обработки разных видов мясных продуктов, рецепт для выбора оптимального сочетания различных параметров обработки и другие, указывает И.В. Нога [11]. С учетом того, что мясные продукты – один из основных видов потребляемой человеком продукции, с наиболее острыми проблемами обеспечения микробиологической безопасности и сроков годности, целью нашего исследования явилось изучение возможностей практической реализации высокого гидростатического давления для решения проблемы заражения мясного сырья патогенными микроорганизмами.

Материалы и методы исследования

Теоретическую базу исследований составили классические труды отечественных и зарубежных ученых в области микро-

биологических исследований пищевых продуктов [12–14] и научные публикации [15, 16]. Исследования проводили на базе аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области» и лаборатории ФГБУ «Свердловский референтный центр Россельхознадзора» (г. Екатеринбург). Материалом для исследования послужили пробы мяса говядины в виде говяжьей обрезки – небольшие кусочки бескостного мяса с содержанием жировой ткани не более 70 мас. %, без шкуры, полученные в процессе разделки или обвалки мяса и предназначенные для промышленного применения. Выбор объекта обусловлен тем, что в настоящее время мясная обрезь является одним из распространенных видов сырья, используемого на предприятиях отрасли и поступающего по импорту, а учитывая форму и размеры обрезных кусочков, химический состав, наличие большого количества технологических операций, мясная обрезь представляет собой благоприятную среду для развития микроорганизмов. Из проб охлажденной говяжьей обрезки были сформированы четыре группы: контрольная с фоновым содержанием микроорганизмов и три опытных. В опытные образцы 2-й, 3-й и 4-й групп (опытная) намеренно были внесены чистые культуры микроорганизмов рода *Salmonella*, рода *Listeria*, а также колиформные бактерии. Гидростатическая обработка образцов высоким давлением проводилась на экспериментальной установке (рисунок), разработанной в Институте физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург). Образцы обрабатывались давлением 250 МПа при разных экспозициях – 5, 15 и 30 минут.



Гидростат и лабораторная установка М-20 для обработки образцов жидкостью высокого давления до 250 МПа и до 2000 МПа в температурном интервале 20–250 °С

Для мясного сырья и мясопродуктов разработаны специальные гигиенические нормативы безопасности в соответствии с ТР ТС «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) и «О безопасности мяса и мясной продукции» (ТР ТС 034/2013), которые включают в себя критерии микробиологической безопасности, определяющие следующие группы микроорганизмов: 1) санитарно-показательные (КМАФАнМ, БГКП, бактерии семейства Enterobacteriaceae, энтерококки); 2) условно-патогенные (*E. coli*, *S. aureus*, бактерии рода *Proteus*, *B. cereus*, *V. parahemolyticus*, сульфитредуцирующие клостридии); 3) патогенные микроорганизмы (сальмонеллы, *L. monocytogenes*).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты эксперимента представлены в таблице.

Влияние барообработки на микрофлору говяжьей обрезки

Наименование и № образца	Внесение микрофлоры	Результаты микробиологического анализа			
		Фон	250 МПа, 5 мин	250 МПа, 15 мин	250 МПа, 30 мин
Образец 1 – обрезь говяжья охл.	БГКП	БГКП, КМАФАнМ более $3,0 \cdot 10^6$	КМАФАнМ более $3,0 \cdot 10^6$	КМАФАнМ $2,8 \cdot 10^6$	КМАФАнМ $1,1 \cdot 10^6$
Образец 2 – обрезь говяжья охл.	Сальмонелла	Листерия, КМАФАнМ более $3,0 \cdot 10^6$	БГКП, КМАФАнМ $1,7 \cdot 10^6$	Сальмонелла, КМАФАнМ $1,1 \cdot 10^6$	КМАФАнМ $4,2 \cdot 10^5$
Образец 3 – обрезь говяжья охл.	Листерия	БГКП листерия, КМАФАнМ $4,0 \cdot 10^4$	КМАФАнМ $2,5 \cdot 10^6$	КМАФАнМ $2,5 \cdot 10^6$	КМАФАнМ $4,7 \cdot 10^5$
Образец 4 – обрезь говяжья охл.	Без инъектирования микроорганизмами	БГКП, листерия, КМАФАнМ более $3,0 \cdot 10^6$	БГКП, КМАФАнМ $2,4 \cdot 10^6$	БГКП, КМАФАнМ $2,2 \cdot 10^6$	КМАФАнМ $2,9 \cdot 10^6$

Наиболее распространенным тестом микробиологического контроля пищевых продуктов является определение общего количества микроорганизмов, обнаруженных в единице объема или массы сырья, которое характеризуется показателем КМАФАнМ. Отклонение КМАФАнМ от допустимых норм свидетельствует о нарушении санитарно-гигиенического режима производства, правил транспортировки и хранения. Показатель КМАФАнМ характеризует качество пищевого продукта и его безопасность для потребителя. Исследованиями установлено, что общая микробная обсемененность при нормативе «не более $5,0 \cdot 10^6$ » при 5-минутной экспозиции остается практически без изменений, при 15–30-минутной – наблюдаются колебания в сторону снижения при разбросе от 2 до 20 раз или остается без изменений.

Микроорганизмы рода *Salmonella* – одна из наиболее распространенных причин болезней пищевого происхождения в виде острых кишечных инфекций. Сальмонеллы в настоящее время признаны индикаторными для всей группы патогенных кишечных бактерий. Например, в Дании болезни людей, вызываемые *Salmonella* spp., составляют 17%. В США общие издержки за год, связанные с сальмонеллезом, составляют до 3 млрд долл. [9]. Во многих пищевых продуктах наличие сальмонелл не допускается в 25 г (см^3). При определении влияния высокого гидростатического давления на патогенные микроорганизмы установлено, что более длительная экспозиция при прочих равных условиях приводит к их летальному исходу. Полученные данные согласуются с данными [17] об исследовании влияния высокого гидростатического давления на выживаемость и уровень мутагенеза *Salmonella typhimurium*, которыми установлено, что значительное снижение выживаемости бактерий происходит при воздействии ВГД 200 МПа и выше.

Listeria monocytogenes – представитель рода *Listeria*, возбудитель инфекционного заболевания – листериоза. Листерии были открыты в 1926 г. и получили свое родовое название по фамилии английского хирурга Д. Листера. Исходя из мировой статистики, листериоз не слишком распространенное заболевание, в год регистрируется около 10 случаев на 1 миллион человек в зависимости от стран и регионов. Тем не менее эта инфекция представляет значительную проблему в области здравоохранения, так как смертность доходит до 20%. [18, с. 62]. История изучения листериозной инфекции насчитывает более 100 лет. Листерия моноцитогенес является грамположитель-

ной бактерией, которая широко распространена как в сельскохозяйственной (почва, растительный покров, силос, фекалии, нечистоты, вода) и аквахозяйственной среде, так и в пищевой промышленности. В мясном сырье, ингредиентах, готовой продукции эти микроорганизмы выявляются в различных странах, в том числе и России. Даже при изначально низком уровне присутствия *L. monocytogenes* в зараженном продукте микроорганизм может размножиться во время хранения в пищевых продуктах, которые поддерживают его рост, и даже при низких температурах [19]. Контроль на их наличие в пищевых продуктах в нашей стране является обязательным. Исследованиями установлено, что листерия наиболее восприимчива к барообработке, так как при всех длительностях воздействия в 5, 15, 30 мин наличие листерии не установлено ни в контрольном ни в опытных образцах.

Обнаружение БГКП, или колиформных бактерий в пищевых продуктах свидетельствует об их фекальном загрязнении. Данные бактерии могут попадать в продукты из воды, с оборудования, рук рабочего персонала и из других источников. Исследованиями установлено, что БГКП наименее восприимчивы к давлению, их наличие установлено в 2 случаях из 4 при экспозиции 5 минут, и в 1 случае из 4 – при 15-минутной экспозиции.

При 30-минутной экспозиции патогенные микроорганизмы и колиформы в исследуемых образцах не обнаруживаются.

Заключение

По мнению авторов, полученные результаты существенно дополняют имеющиеся о влиянии высокого гидростатического давления на микрофлору мясных продуктов. Показана возможность моделирования микробиологической среды при изучении вопроса о решении проблемы загрязненности мясного сырья. На основании полученных результатов можно рекомендовать применение метода обработки высоким гидростатическим давлением для решения проблемы загрязненности мясного сырья патогенными микроорганизмами, таким образом, приводя свою продукцию в соответствие с требованиями государственных нормативных документов к безопасности пищевых продуктов. Вместе с тем исследования позволили выявить направления дальнейших исследований: приведение параметров обработки высоким давлением в зависимости от объекта исследований, создание базы данных о возможностях обработки сырья и готовой продукции в мясной индустрии,

встраивание процессов обработки в технологические процессы предприятия.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-016-00082 «Влияние обработки высоким гидростатическим давлением (до 10000 атмосфер) на физические свойства, микробиологические показатели и сроки хранения различных пищевых продуктов»).

Список литературы

1. Живаева М.А. Проблемы обеспечения мясной промышленности качественным отечественным сырьем // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2013. № 3. С. 47–50.
2. Горнин Л.В. Проблемы участия мясоперерабатывающей промышленности в импортозамещении и роль государства в их решении // Фундаментальные исследования. 2016. № 1–1. С. 127–130.
3. Шевелева С.А. Микробиологическая безопасность пищевых продуктов: проблемы и пути решения [Электронный ресурс]. URL: <http://snipchi.ru/updoc/2019/Prezent/%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D1%91%D0%B2%D0%B0%20%D0%A1.%D0%90.pdf> (дата обращения: 15.11.2019).
4. Батаева Д.С., Юшина Ю.К., Зайко Е.В. Идентификация микробиологических рисков контаминации туш крупного рогатого скота и свиней патогенными микроорганизмами при убое и переработке // Теория и практика переработки мяса. 2016. № 2. С. 34–41.
5. Абдуллаева А.М., Серегин И.Г., Никитченко В.Е. Микробиологический мониторинг коммерческих полуфабрикатов из мяса птицы // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. 2017. Vol. 12. № 4. С. 350–358.
6. Гущин В.В., Риза-Заде Н.И., Русанова Г.Е. Проблема безопасности птицепродуктов и пути ее решения // Птица и птицепродукты. 2009. № 2. С. 44–49.
7. Омарова С.М., Алиева А.И., Абсерханова Д.У., Меджидова Д.Ш. Мониторинг обсемененности условно-патогенными микроорганизмами различных объектов родовспомогательного стационара // Успехи современного естествознания. 2010. № 9. С. 120–122.
8. Кобялко В.О., Саруханов В.Я., Полякова И.В., Дыдыкин А.С. Радиационная обработка мясной и рыбной продукции [Электронный ресурс]. URL: http://rt2018.rirae.ru/images/Documents/27Sept/11.30-15.30_Effectiv/08_Kobyalko%20VO%20Meat.pdf (дата обращения: 15.11.2019).
9. Костенко Ю.Г. Руководство по санитарно-микробиологическим основам и предупреждению рисков при производстве и хранении мясной продукции. М.: ВНИИМП, 2015. 586 с.
10. Гидростатическое давление [Электронный ресурс]. URL: http://www.bio.bsu.by/microbio/files/eco/l3_P_UZ_Magnet_Sviet.pdf (дата обращения: 15.11.2019).
11. Нога И.В. Термодинамика воздействия высокого давления и температуры на микроорганизмы и витамины // Физика и техника высоких давлений. 2006. Т. 16. № 3. С. 126–136.
12. Жарикова Г.Г. Микробиология продовольственных товаров. Санитария и гигиена: учебник. М.: Академия, 2005. 304 с.
13. Блекберн К. де В. Микробиологическая порча пищевых продуктов. СПб.: Профессия, 2008. 784 с.
14. Современная пищевая микробиология / Под ред. Дж.М. Джеймс; пер. с англ. Е. Баранова. М.: Бинном, 2012. 888 с.
15. Татарникова Н.А., Мауль О.Г. Патогенная микрофлора мяса и мясных продуктов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. Ветеринария. 2015. № 1. С. 87–89.
16. Минаев М.Ю., Батаева Д.С., Краснова М.А. Аспекты санитарно-микробиологического контроля охлажденного мяса // Всё о мясе. 2008. № 6. С. 49–50.
17. Карамова Н.С., Зеленихин П.В., Киселев В.Д., Липатникова А.А., Ильинская О.Н. Влияние высокого гидростатического давления на жизнеспособность и уровень мутагенеза *salmonella typhimurium* // Экологическая генетика. 2015. Т. XIII. № 4. С. 99–107.
18. Кареткина Г.Н. Листерии // Лечащий врач. 2008. № 9. 87 с.
19. ФАО и ВОЗ (2007): Методические указания по применению общих принципов гигиены пищевых продуктов для контроля бактерии листерия моноцитогенес (*listeria monocytogenes*) в пищевых продуктах (CAC/GL 61-2007) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh> (дата обращения: 15.11.2019).

УДК 622.23.05

РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ МОДУЛЯ ДИСЦИПЛИН «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД» ДЛЯ ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ

Семёнов А.С.

*ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»,
Политехнический институт (филиал), Мирный, e-mail: sash-alex@yandex.ru*

В статье проанализирована актуальность и необходимость разработки учебно-методического сопровождения модуля дисциплин «Электрический привод» для горных инженеров с учетом перехода на федеральный государственный образовательный стандарт нового поколения, предусматривающий практико-ориентированное и кредитно-модульное обучение. Показаны отдельные элементы рабочих учебных планов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Электрификация и автоматизация горного производства», в которых выделены дисциплины по электрическому приводу. Внесено предложение об объединении дисциплин по электрическому приводу в единый модуль, включающий следующие разделы: основы теории электропривода; автоматизация электропривода; автоматизированный электропривод машин и установок горного производства; системы управления электроприводом; промышленный высоковольтный электропривод. Определены и подробно рассмотрены три распространенных метода углубленного изучения модульных дисциплин: метод использования так называемой специальной «рабочей лекционной тетради», метод «альбома схем» и метод «лабораторного практикума». Отмечены достоинства и недостатки рассмотренных методов. Описан опыт автора в разработке отдельных учебных пособий согласно вышеуказанным методам. Предложена примерная структура будущего универсального учебно-методического пособия по дисциплинам электрического привода. Сделано заключение об актуальности, целесообразности и необходимости в разработке такого пособия с точки зрения эффективного изучения модульных дисциплин путем четкой структуризации и систематизации информации в нём.

Ключевые слова: стандарт высшего образования, учебный план, учебное пособие, модульное обучение, рабочая тетрадь, альбом схем, лабораторный практикум, электрический привод

DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL SUPPORT FOR THE MODULE OF DISCIPLINES «ELECTRIC DRIVE» FOR MINING ENGINEERS

Semenov A.S.

*North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Polytechnic Institute (branch),
Mirny, e-mail: sash-alex@yandex.ru*

The article analyzes the relevance and necessity of developing educational and methodological support for the module of disciplines «Electric Drive» for mining engineers, taking into account the transition to a new generation of federal state educational standards, providing for practice-oriented and credit-module training. The individual elements of the working curricula of the specialty 21.05.04 «Mining» of the specialization «Electrification and automation of mining» are shown, in which disciplines on electric drive are highlighted. A proposal has been made to merge the disciplines of electric drive into a single module, which includes the following sections: the basics of electric drive theory; electric drive automation; automated electric drive of mining machinery and plants; electric drive control systems; industrial high voltage electric drive. Three common methods of in-depth study of modular disciplines are identified and examined in detail: the method of using the so-called special «work lecture notebook», the «album of diagrams» method, and the «laboratory workshop» method. The advantages and disadvantages of the considered methods are noted. The author's experience in the development of individual textbooks according to the above methods is described. An approximate structure of the future universal teaching aid on the disciplines of the electric drive is proposed. A conclusion is drawn on the relevance, feasibility and necessity of developing such a manual from the point of view of the effective study of modular disciplines by clearly structuring and systematizing the information in it.

Keywords: higher education standard, curriculum, study guide, modular training, workbook, sketchbook, laboratory workshop, electric drive

Одной из базовых дисциплин для горных инженеров, обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело» (ГД) специализации «Электрификация и автоматизация горного производства» (ЭиАП), является «Электропривод горных машин» (ЭПГМ). Уверенное знание основных определений, законов, принципиальных электрических схем, механических и электромеханических характеристик в различных режимах работы ЭП будет способствовать более легкому дальнейшему

освоению специальных дисциплин будущей специальности, таких как «Автоматизированный электропривод машин и установок горного производства», «Автоматизация электропривода», «Системы управления электроприводом», «Промышленный высоковольтный электропривод» и др.

В рамках перехода образовательных стандартов на практико-ориентированное и кредитно-модульное обучение [1] становится актуальным вопрос разработки со-

временного учебно-методического сопровождения дисциплин, позволяющего меньше времени проводить за «зубрежкой» лекций и больше времени уделить практическим и лабораторным занятиям [2].

Из большого числа встречающегося учебно-методического материала стоит выделить три распространенных метода: метод использования так называемой специальной «рабочей лекционной тетради» [3], метод «альбома схем» [4] и метод «лабораторного практикума» [5]. Первый метод хорошо подходит для быстрой и качественной передачи большого объема теоретической информации. Суть его заключается в том, что в учебный процесс вводятся специальные лекционные рабочие тетради, в которых впечатан практически весь необходимый учебный материал, но с пробелами в некоторых местах. Эти пробелы и нужно заполнить пропущенными терминами, определениями, формулами и т.д., не переписывая основную массу лекционного материала. Метод хорош тем, что благодаря такому подходу можно значительно ускорить прохождение теоретического материала. Во втором методе используются иллюстрированные материалы лекционного курса, представляющиеся как эскизы типовых схем и позволяющие за меньший срок рассмотреть большее количество примеров широкого и достаточно конкретного представления об электроприводе общепромышленных механизмов в целом. Третий метод применяется при наличии специализированных лабораторий для более быстрого и продуктивного проведения лабораторных занятий [6].

Таким образом, целью и задачами настоящего исследования будет являться анализ актуальности разработки универсального учебно-методического пособия по дисциплинам электрического привода, включающего в своём составе элементы рабочей тетради, альбома схем и лабораторного практикума.

Основная часть исследования

В настоящее время у специалистов – горных инженеров, обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Электрификация и автоматизация горного производства», рабочий учебный план состоит из дисциплин базовой части, вариативной части, дисциплин по выбору и факультативов. Поскольку в настоящее время модульная система обучения (ФГОС 3++) ещё не внедрена по специальности 21.05.04 «Горное дело», дисциплины специализации, в которые входит «Электропривод горных машин», «раскиданы» по

учебному плану и находятся как в базовой, так и в вариативной частях.

Дисциплина «Электропривод горных машин» находится в вариативной части, преподаётся на 8 семестре 4 курса и состоит из 34 лекционных часов и 34 ч практических занятий. Как показывает многолетний опыт преподавания этой дисциплины, успешно усвоить (на «хорошо» и «отлично») весь лекционный материал «с нуля» за отведенный объем часов удается единицам студентов. Преподавателю приходится в ущерб практическим занятиям отвлекаться на дополнительные разъяснения лекционного материала вместо решения задач, расчета электрических схем и построения характеристик систем ЭП [7].

В связи с разработкой базового учебного плана для специальности «Горное дело», переходом на практико-ориентированное обучение и внедрением модульной системы, все дисциплины, связанные с электрическим приводом, были перенесены в базовую часть учебного плана и объединены в модуль под названием «Электрический привод», в который войдут следующие дисциплины:

- Основы теории электропривода (6 семестр, 3 курс);
- Автоматизация электропривода (7 семестр, 4 курс);
- Автоматизированный электропривод машин и установок горного производства (8 семестр, 4 курс; 9 семестр, 5 курс);
- Системы управления электроприводом (10 семестр, 5 курс);
- Промышленный высоковольтный электропривод (11 семестр, 6 курс).

Таким образом, дисциплина «Основы теории электропривода» заменила дисциплину «Электропривод горных машин», поднялась на 1 курс вверх и поменяла свою часовую структуру.

В связи с началом разработки учебно-методического сопровождения дисциплины по электрическому приводу автор предлагает количество лекционных часов уменьшить до 17, за счет чего появится возможность ввести лабораторные работы (17 ч), и перенести 17 ч с практических занятий на самостоятельную работу студентов. Такие изменения позволят студентам более самостоятельно изучать электропривод при помощи лабораторных стендов, где можно будет увидеть всю теорию приведения в движение электропривода на практике, и самостоятельно читать электрические схемы и решать задачи. Подробная почасовая раскладка дисциплин по электрическому приводу в сравнении старого и нового ФГОС, а также с предложениями автора, представлена в таблице.

Почасовая структура дисциплин по электрическому приводу

№ п/п	Показатель	Индекс	Наименование дисциплины	Форма контроля	Всего часов	в том числе			
						Лек.	Лаб.	Пр.	СР
1	ФГОС ВПО (2011 г.)	С1.В.ОД.6	Электропривод горных машин	Экзамен	108	34	–	34	12
2	ФГОС ВО (2016 г.)	С1.Б.36.1	Основы теории электропривода	Экзамен	108	17	17	34	12
3	Авторский вариант, который войдет во ФГОС 3++	–	Электрический привод	Экзамен	108	17	17	17	29

Перейдем к описанию содержательной части универсального учебно-методического пособия.

1. *Рабочая лекционная тетрадь.* К разработке специализированной рабочей лекционной тетради по электроприводу автор приступил ещё год назад в рамках отдельного учебного пособия. Структура рабочей тетради включает в себя все необходимые разделы классического электропривода, и для удобства обучающихся разделена на 17 лекций (по количеству часов курса). Кратко представим структуру тетради.

Первая лекция посвящена общим сведениям, связанным с определением понятия электропривода, историческим обзором, классификацией и описанием функций электропривода. Вторая, третья и четвертая лекции описывают механические характеристики производственных механизмов и электродвигателей постоянного и переменного тока соответственно. В пятой лекции рассматриваются тормозные режимы работы электродвигателей. В лекции шесть и семь рассмотрены различные методы регулирования скорости вращения электроприводов. В восьмой, девятой и десятой лекциях описываются переходные процессы в электроприводах: начиная с уравнения движения электропривода, заканчивая его динамической устойчивостью. В лекции одиннадцать показан пример выбора мощности электродвигателей, включая проверочный расчет по нагреву. С двенадцатой по четырнадцатую лекции рассмотрены различные режимы работы электродвигателей: S1, S2 и S3 соответственно. В лекции пятнадцать приводится описание аппаратуры управления и защиты технологических электроустановок. В шестнадцатой и семнадцатой лекциях показаны новые типы электроприводов.

В настоящий момент для включения элемента лекционной рабочей тетради в универсальное учебно-методическое по-

собие по электроприводу идет переработка количества и содержательной части лекций, так как часть лекций с иллюстрированным материалом перейдет в альбом схем.

2. *Альбом схем.* Первый альбом схем разрабатывался автором для изучения дисциплин, связанных с математическим моделированием сложных электротехнических и электромеханических систем. В него входили схемы-модели систем электроприводов [8] и электроснабжения [9] технологических установок и участков горнодобывающих предприятий.

В новый альбом схем будут включены принципиальные электрические схемы электроприводов основных типовых производственных механизмов, такие как электропривод и автоматизация подъемных кранов, лифтов, экскаваторов, средств непрерывного транспорта, насосов, металлорежущих станков и промышленных установок специального применения.

Рассматривая все многообразие производственных процессов, в каждом конкретном производстве можно выделить ряд операций, характер которых является общим для различных отраслей. Такое многообразие разновидностей общепромышленных механизмов исключает возможность рассмотрения в альбоме схем всех частных вопросов электропривода конкретных механизмов. Общность и простота технологии позволяют выделить круг специальных типов электропривода и автоматики, общих для отдельных укрупненных групп механизмов. Изучение в качестве примеров типовых схем электроприводов отдельных типовых механизмов позволяет получить широкое и достаточно конкретное представление об электроприводе общепромышленных механизмов в целом.

3. *Лабораторный практикум.* Имея большой опыт в разработке лабораторных практикумов, автор выделяет ряд основных подходов к разработке таких практикумов для возможности проведения лабораторных

работ без участия преподавателя (обязательно наличие лаборанта в лаборатории):

- наличие требований к технике безопасности при допуске к лабораторным стендам;
- правила поведения для студентов, выполняющих лабораторные работы;
- раздел «знакомство с измерительными приборами и блоками стендов»;
- правила при сборке схемы и выполнении работ.

В отличие от лабораторных практикумов, разработанных для изучения (или исследования) объектов только «на бумаге» или на виртуальных стендах (за компьютерами) [10, 11], лабораторный практикум, предлагаемый автором, будет подразумевать работу на реальных лабораторных стендах по электрическому приводу (рисунок) [12].



Внешний вид лабораторных установок

Практикум будет разделен на два больших блока, посвященных исследованию режимов работы двигателя постоянного тока с различными типами возбуждения и асинхронного двигателя при различных способах регулирования скорости вращения.

Заключение

Все вышеуказанные методы активизации учебной деятельности студентов, даже при раздельном использовании, дают положительный эффект в освоении дисциплины. Таким образом, можно сделать вывод о том, что разработка и внедрение универсального учебно-методического пособия по дисциплинам электрического привода, включающего элементы рабочей тетради, альбома схем и лабораторного практикума, даст мультипликативный эффект [13]. Во-первых, оно позволит существенно сэкономить время, отведенное на лекции, так как основная часть материала уже будет напечатана. А значит, можно будет увеличить количество практических занятий, которые чрезвычайно важны для данного предмета. Во-вторых, учебный материал, оформленный в печатной форме, проще для восприятия и пони-

мания благодаря своей четкой структуре и систематизации [14].

Также стоит отдельно отметить роль современных информационных технологий в активизации учебной деятельности. Большой интерес у автора вызвала платформа для разработки и размещения презентационного материала prezi.com [15]. Была разработана презентация по основам теории электропривода и апробирована на группе студентов. Результаты такой апробации будут представлены в виде отдельной статьи.

Список литературы

1. Гольдман А.А., Семёнов А.С., Егорова А.А. Организация практико-ориентированного обучения по техническим направлениям подготовки специалистов (на примере МПТИ (Ф) СВФУ и АК «АЛРОСА») // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 9–2. С. 274–278.
2. Калита О.Н., Калита Г.А. К вопросу о преподавании технических дисциплин в высшей школе // Проблемы высшего образования. 2018. № 1. С. 148–150.
3. Самсонов А.В., Пономарев Р.М., Правдолюбова С.С. Разработка методобеспечения к лекционному курсу по начертательной геометрии // Новые технологии в учебном процессе и производстве: материалы XV межвузовской научно-технической конференции / Под ред. А.А. Платонова и А.А. Бакулиной. 2017. С. 11–12.
4. Плохов И.В. Альбом схем по курсу «Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов»: учеб. пособие. СПб.: Издательство СПбГТУ, 2003. 40 с.
5. Дементьев Ю.Н., Однокопылов И.Г., Семенов С.М. Теория электропривода. Лабораторный практикум: учеб. пособие. Томск: Издательство ТПУ, 2013. 214 с.
6. Миленина М.А., Беляев П.В. Методические аспекты преподавания электротехнических дисциплин // Россия молодая: передовые технологии в промышленность. 2013. № 2. С. 287–289.
7. Лямзин М.А., Сапронов В.А. К проблеме классификации современных средств обучения // Человеческий капитал. 2018. № 4 (112). С. 100–110.
8. Семёнов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М. Моделирование режимов работы электроприводов горного оборудования: монография. Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2013. 112 с.
9. Семёнов А.С., Хубиева В.М., Кугушева Н.Н. Моделирование режимов работы систем электроснабжения горных предприятий: монография. М.: Издательство «Перо», 2015. 100 с.
10. Ерёмин М.Ю., Афоничев Д.Н., Мазуха Н.А., Черников В.А. Лабораторный практикум по электротехнике, электронике и электроприводу для специальности 19010901.65 «Наземные транспортно-технологические средства». Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2016. 144 с.
11. Синева Г.Н., Шанцин В.А., Ивушкин Д.С. Практикум для проведения лабораторных работ по дисциплине «Электропривод». Волгоград: Издательство ВолГАУ, 2017. 84 с.
12. Сенигов П.Н., Карпеш М.А. Электрический привод. Руководство по выполнению базовых экспериментов. ЭП.002 РБЭ (905.1). Челябинск: ООО «Учебная техника», 2005. 106 с.
13. Гуськова Т.В., Вагаева О.А. Учебная дисциплина «Технологии обучения в вузе» как одно из условий адаптации студентов первого курса к образовательному процессу вуза // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=13142> (дата обращения: 12.10.2019).
14. Виноградова Ю.А., Иванова О.К., Яновская Е.А. Систематизация процесса усвоения материала по теме «Интегральное исчисление» (методический аспект) // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 5. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=28163> (дата обращения: 12.10.2019).
15. Семёнов А.С. Электропривод. Общие сведения [Электронный ресурс]. URL: <https://prezi.com/p/jf1szdtn3gy/> (дата обращения: 15.10.2019).

УДК 622.02:536.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ РАЗРУШЕНИЯ КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т., Турдубаева Ч.Б.

*Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова, Бишкек,
e-mail: raia-ktu@mail.ru, aikat80@mail.ru, myrzaika42@gmail.com*

При переработке минерального сырья, с целью извлечения металлов и полезных компонентов, в технологические процессы дробления и измельчения вовлекается большой объем трудно измельчаемых руд и минералов. Использование для этих руд традиционных способов измельчения приведет к росту энергозатрат, интенсивному износу металлических частей мельниц, к значительным потерям извлекаемых металлов. В связи с этим необходимость разработки способов воздействия на горные породы, изменяющие их прочность в сторону уменьшения, определения работы разрушения, улучшающие раскрываемость минеральных зерен, применения экологически чистых технологий извлечения металлов из крепких руд, в настоящее время стала стимулом новых исследований влияния физических полей на механические свойства горных пород. Поэтому изучены зависимости, отражающие влияние температуры, под воздействием электромагнитных полей, на работу разрушения. В статье рассматривается аналитический подход определения работы разрушения крепких горных пород, с учетом изменения их физико-механических свойств. Устанавливается зависимость работы разрушения горных пород от температуры. Для определения работы разрушения горных пород были использованы образцы взятые из разных месторождений Кыргызстана. Исследуются прочностные свойства образцов до и после механического и электромагнитного воздействия.

Ключевые слова: крепкие горные породы, работа разрушения, предел прочности, напряжения, деформация, температура

RESEARCH INFLUENCE OF TEMPERATURE ON WORK OF DESTRUCTION STRONG ROCKS

Sultanalieva R.M., Konushbaeva A.T., Turdubaeva Ch.B.

*Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek,
e-mail: raia-ktu@mail.ru, aikat80@mail.ru, myrzaika42@gmail.com*

In the processing of mineral raw materials, in order to extract metals and useful components, a large volume of hard-to-grind ores and minerals are involved in the technological processes of crushing and grinding. The use of traditional grinding methods for these ores will lead to an increase in energy consumption, intensive wear of the metal parts of mills, and significant losses of recoverable metals. In this regard, the need to develop methods for influencing rocks that change their strength in the direction of decrease, determine the work of destruction, improve the detection of mineral grains, use environmentally friendly technologies for the extraction of metals from hard ores, has now become an incentive for new studies of the influence of physical fields on mechanical rock properties. Therefore, the dependences reflecting the influence of temperature, under the influence of electromagnetic fields, on the work of destruction are studied. The article considers the analytical approach to determining the work of destruction of strong rocks, taking into account changes in their physical and mechanical properties. The dependence of the work of rock destruction on temperature is established. Samples taken from different deposits of Kyrgyzstan were used to determine the work of rock destruction. The strength properties of samples are studied before and after mechanical and electromagnetic effects.

Keywords: strong rocks, work of destruction, tensile strength, stresses, deformation, temperature

По кинетической теории разрушение твердых тел происходит следующим образом. Приложение к телу внешней нагрузки вызывает напряжение межатомных связей. При этом вследствие неоднородности строения реальных тел на субатомном уровне внешняя нагрузка распределяется неравномерно по связям: возникают локальные напряжения. В этих местах энергия активации распада межатомных связей понижается особенно сильно. Именно в этих местах наиболее интенсивно идут процессы термофлуктуационного разрыва структурных связей. Здесь формируются очаги разрушения, развитие которых и заканчивается распадом тела на части.

Одним из способов разрушения крепких горных пород и руд является электро-

термический способ разрушения горных пород [1, 2].

Сравнение с электротермическими способами определения работы разрушения указывает на меньшую энергоемкость механического способа. Фактически же часто выгоднее производить разрушение пород немеханическими (термическим, электротермическим и др.) способами. Это обусловлено следующими факторами:

1) разрушение пород механическими способами возможно только весьма прочными износостойкими внедряющимися в породу рабочими органами при приложении к ним больших усилий;

2) механическое разрушение связано с поверхностным воздействием на породу, в результате чего в последней преобладают

силы сжатия, в отличие от немеханических способов, при которых в процессе разрушения, как правило, основную роль играют растягивающие напряжения;

При термическом разрушении, как известно, все тепло, поступающее в горную породу, расходуется на нагрев ее до температуры, при которой термические напряжения достигают разрушающих [3–5].

Цель исследования: оценка возможности определения влияния температуры на работу разрушения образцов из разных горных пород.

Материалы и методы исследования

Для определения работы разрушения горных пород были использованы образцы взятые из разных месторождений Кыргызстана. Исследуются прочностные свойства образцов до и после механического и электромагнитного воздействия.

Рассматривается аналитический подход влияния одноосного сжатия на образцы правильной геометрической формы. Сжимающие усилия интенсивности P приводят к совершению работы разрушения горных пород. Работа A расходуется на разрыв связей в породе, на прорастание трещин; в конечном счете – на разрушение породы. Работа разрушения определяется по формуле [6]:

$$A = \beta P V_0 T - P^2 V_0 / (2 Y_0), \quad (1)$$

где β – коэффициент объемного теплового расширения породы; T – среднее значение температуры в объеме V_0 ; Y_0 – объемный модуль упругости породы.

Объемный модуль упругости породы:

$$Y_0 = E / [3(1 - 2\mu)], \quad (2)$$

где E – модуль Юнга, μ – коэффициент Пуассона.

Из уравнений (1) и (2) определяется работа разрушения:

$$A = \beta P V_0 T - \frac{3(1 - 2\mu)}{2E} P^2 V_0. \quad (3)$$

Исследуемые образцы из песчаника и мрамора ($h = 5$ см; $d = 4$ см) цилиндрической формы соответствуют стандарту для проведения численных и экспериментальных исследований. Работа разрушения определена для трех одинаковых по объему образцов горных пород (песчаник, мрамор). Первый образец контрольный (без нагрева, при комнатной температуре 27°C), другие образцы при влиянии электромагнитного воздействия до температуры 59°C , 97°C и 134°C .

С помощью генератора высоковольтного переменного напряжения задаем различные значения разности потенциалов в концах исследуемого образца горной породы. При проведении трех значений высоковольтного переменного напряжения 2000 В, 2100 В, 2300 В и 2540 В, лазерный термометр регистрирует значения температур.

Температура образца изменяется от 27°C до 134°C под действием высокого напряжения переменного тока (стенд для создания разряда).

Результаты исследования и их обсуждение

Работа разрушения для песчаника с учетом следующих данных: $V = 0,0000628$ м³, $E = 1,8 \cdot 10^4$ МПа, $\mu = 0,25$, $\beta = 11,6 \cdot 10^{-6}$ 1/°C и мрамора: $V = 0,0000628$ м³, $E = 5,6 \cdot 10^4$ МПа, $\mu = 0,25$, $\beta = 5,5 \cdot 10^{-6}$ 1/°C [7–9], определена по формуле (3) с помощью программы Matlab [10].

Далее, используя результаты экспериментов (табл. 1 и 2), приводятся графики зависимости работы разрушения от внешней нагрузки при различных значениях температуры.

Таблица 1
Расчетные значения работы разрушения песчаника

№	Название горной породы	P , кН	A , кДж, работа разрушения
1	Песчаник (исходный), при температуре 27°C	30	2,92
2		70	6,83
3		110	10,74
4		150	14,64
5		190	18,55
6		230	22,45
1	Песчаник, при температуре 59°C	30	2,11
2		70	4,94
3		110	7,77
4		150	10,59
5		190	13,42
6		230	16,25
1	Песчаник, при температуре 97°C	30	1,29
2		70	3,01
3		110	4,73
4		150	6,45
5		190	8,17
6		230	9,89
1	Песчаник, при температуре 134°C	30	0,59
2		70	1,38
3		110	2,16
4		150	2,95
5		190	3,74
6		230	4,52

Таблица 2

Расчетные значения работы разрушения мрамора

№	Название горной породы	P , кН	A , кДж, работа разрушения
1	Мрамор (исходный), при температуре 27°C	40	1,85
2		60	2,78
3		80	3,71
4		100	4,63
5		120	5,55
6		140	6,48
7		160	7,41
1	Мрамор, при температуре 59°C	40	1,34
2		60	2,01
3		80	2,68
4		100	3,35
5		120	4,02
6		140	4,69
7		160	5,36
1	Мрамор, при температуре 97°C	40	1,01
2		60	1,22
3		80	1,63
4		100	2,04
5		120	2,45
6		140	2,85
7		160	3,26
1	Мрамор, при температуре 134°C	40	0,373
2		60	0,56
3		80	0,746
4		100	0,933
5		120	1,12
6		140	1,31
7		160	1,49

Поскольку в состав пород входят различные минералы, имеющие различные значения тепловых параметров, электрических и магнитных характеристик, температур фазовых переходов, то для некоторых пород достижение максимума предела

прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ будет зависеть от температуры нагревания.

Как видно из графика, с увеличением температуры работа разрушения горных пород уменьшается, что подтверждается теорией разрушения горных пород (рис. 1 и 2).

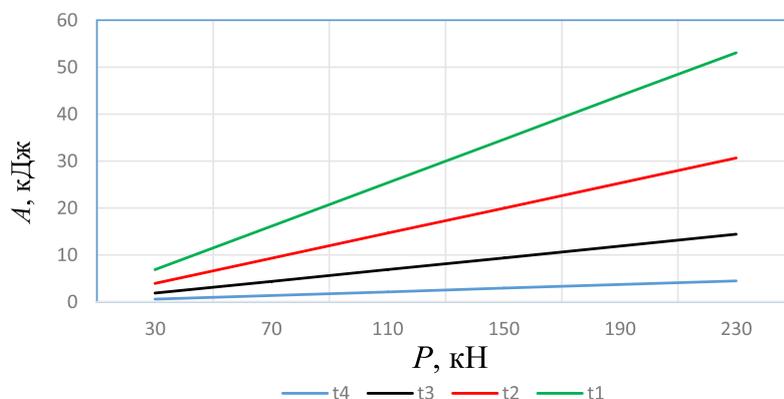


Рис. 1. График зависимости работы разрушения от внешней нагрузки песчаника при различных температурах ($t_1 = 27^\circ\text{C}$, $t_2 = 59^\circ\text{C}$, $t_3 = 97^\circ\text{C}$ и $t_4 = 134^\circ\text{C}$)

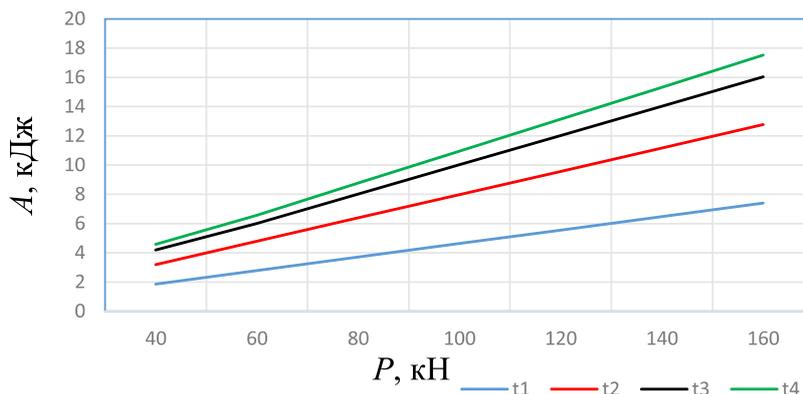


Рис. 2. График зависимости работы разрушения от внешней нагрузки для мрамора при различных температурах ($t_1 = 134^\circ\text{C}$, $t_2 = 97^\circ\text{C}$, $t_3 = 59^\circ\text{C}$ и $t_4 = 527^\circ\text{C}$)

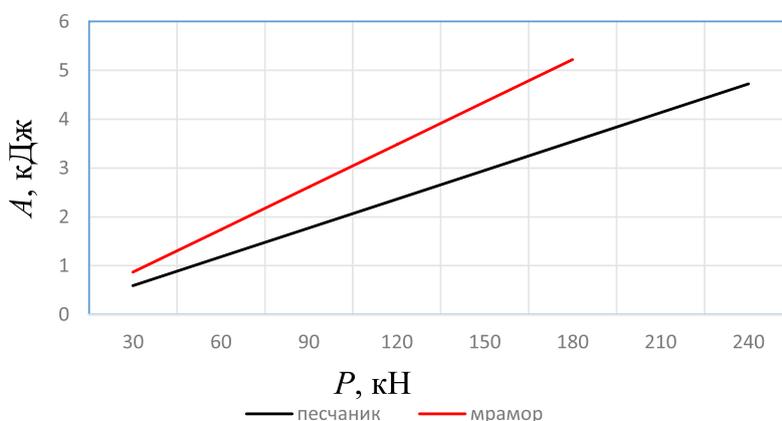


Рис. 3. График сравнения зависимости работы разрушения при температуре 134°C для двух горных пород от внешней нагрузки (1 – песчаник, 2 – мрамор)

При сопоставлении двух образцов выявлено, что работа разрушения песчаника больше чем мрамора, при одинаковых ростах значений температуры (рис. 3).

Как видно из графика, с увеличением температуры работа разрушения горных пород уменьшается, что подтверждается теорией разрушения горных пород.

Выводы

1. Вычислена работа разрушения песчаника (это полиминерал) и мрамора (это мономинерал – кальцит) при комнатной и трех значениях повышенной температуры.

2. Выявлено, что с увеличением температуры работа разрушения этих горных пород уменьшается. При этом работа разрушения песчаника больше, чем мрамора, при одинаковых значениях температуры. Это можно объяснить тем, что коэффициент теплового расширения песчаника больше в два раза, чем у мрамора. А значение работы разрушения прямо пропорционально этому коэффициенту.

Список литературы

1. Новые методы разрушения горных пород / Емелин М.А. и др. М.: Наука, 1996. 256 с.
2. Кичигин А.Ф. Аналитические исследования механизма разрушения горных пород // Сборник научных трудов. Караганда: Карагандинский политехнический институт, 1995. № 5. С. 15–20.
3. Трубецкой К.И., Викторов С.Д. Физические проблемы разрушения горных пород. М.: 2014. 260 с.
4. Гончаров С.А. Физико-технические основы ресурсосбережения при разрушении горных пород. М.: Изд. МГТУ, 2009. С. 350.
5. Окресс Э., Алыбин В.Г., Пастрон Э.Я., Шлифер Э.Д. Применение энергии СВЧ в производстве. М.: Наука, 2010. С. 345.
6. Елисеев В.В. Механика деформируемого твердого тела. СПб., 2006. С. 260.
7. Горная энциклопедия. М.: Издательство «МИФ», 2010. С. 350.
8. Султаналиева Р.М., Тажибаев К.Т. Энергосберегающий способ измельчения крепких руд // Труды Международного научного симпозиума «Неделя горняка-2015». ГИАБ. М.: Изд. «Горная книга», 2015. № 12. С. 76–83.
9. Султаналиева Р.М., Козубай И. Определение удельной энергоёмкости разрушения строительных материалов // International scientific conference «Science, Technology and Higher Education» Strategic Studies Institute: материалы Международной конференции. Канада (Вествуд), 2017. С. 94–99.
10. Дьяконов В.П. MATLAB 6. Учебный курс. СПб.: Питер, 2011. С. 180.

ОБЗОРЫ

УДК 666.364

**ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАВНЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ
КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Шишакина О.А., Паламарчук А.А.

*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир,
e-mail: olya.shishakina@mail.ru*

Керамические материалы широко применяются в различных отраслях промышленности. Бурно развивающиеся авиакосмическая, строительная и другие отрасли требуют создания инновационных материалов с улучшенными характеристиками. Для регулирования и модификации свойств и структуры керамических материалов используются различные добавки. Одними из наиболее важных добавок являются плавни, значительно облегчающие производство и улучшающие характеристики готовых изделий. Другое название плавней – флюсы. В отличие от металлургии, где основное назначение флюсов заключается в защите металла от окисления, при производстве керамики использование плавней преследует цель образования расплава с относительно низкой температурой плавления, что способствует снижению температуры обжига и жидкофазного спекания готовых изделий. Добавка плавней увеличивает содержание стекловидной фазы, что приводит к возрастанию плотности керамических изделий. Однако большая доля стекловидной фазы снижает термостойкость и ударную вязкость, что необходимо учитывать при подборе состава шихты. При производстве керамических изделий в качестве плавней наиболее активно применяются полевые шпаты и карбонаты щелочноземельных металлов. Реже применяются перлиты, тальк и пирофиллит. Выбор подходящего плавня во многом зависит от назначения изделий. Например, для художественной керамики лучше всего подходят полевые шпаты, а при производстве легкоплавких глазурей лучше использовать перлиты.

Ключевые слова: плавни, керамика, жидкофазное спекание, полевой шпат, пегматит, известняк, доломит

APPLICATION SMOOTH IN THE PRODUCTION OF CERAMIC MATERIALS

Shishakina O.A., Palamarchuk A.A.

Vladimir State University A.G and N.G. Stoletovs, Vladimir, e-mail: olya.shishakina@mail.ru

Ceramic materials are widely used in various industries. Rapidly developing aerospace, construction and other industries require the creation of innovative materials with improved performance. Various additives are used to regulate and modify the properties and structure of ceramic materials. One of the most important additives are Plavni, greatly facilitating the production and improving the characteristics of finished products. Another name for marshes – fluxes. In contrast to metallurgy, where the main purpose of the fluxes is to protect the metal from oxidation, in the production of ceramics, the use of smoother pursues the goal of forming a melt with a relatively low melting point, which helps to reduce the firing temperature and liquid-phase sintering of finished products. The additive gradually increases the content of the vitreous phase, which leads to an increase in the density of ceramic products. However, a large proportion of the vitreous phase reduces heat resistance and toughness, which must be considered when selecting the composition of the charge. Field spars and carbonates of alkaline earth metals are most actively used as smooth ones. In the production of ceramic products, feldspar and carbonates of alkaline earth metals are most actively used as melts. Less commonly used perlite, talc and pyrophyllite. The choice of a suitable melt largely depends on the purpose of the products. For example, for artistic ceramics feldspar is best suited, and in the production of fusible glazes it is better to use perlite.

Keywords: fluxes, ceramics, liquid phase sintering, feldspar, pegmatite, limestone, dolomite

Плавни применяются в различных областях промышленности. В металлургии плавни применяются для снижения температуры плавления руды и отделения металла от шлака. При пайке и сварке металлов плавни используют для уменьшения окисления поверхности металлов, что значительно улучшает качество шва. В стекольном производстве флюсы используют при производстве витражей. В данной статье рассмотрено применение плавней в производстве керамики.

В керамике плавни – это материалы, взаимодействующие при обжиге с глинистыми минералами с получением легкоплавких соединений, образующих расплав. Применение этих материалов позволяет понизить температуру обжига, предотвратить дефор-

мацию изделия, улучшить спекаемость, повысить прочность и плотность изделия, уменьшить водопоглощение до 1–5% [1].

При увеличении доли плавней в составе керамической массы возрастает содержание стекловидной фазы, но уменьшается термическая стойкость и механическая прочность, особенно на удар. Наличие стекловидной фазы способствует жидкофазному спеканию, т.е. такому спеканию многокомпонентного порошкового тела, при котором один или несколько его компонентов расплавляются с образованием жидкой фазы. Появление жидкой фазы за счёт расплавления материала с самой низкой температурой плавления в смеси способствует связыванию отдельных компонентов в единый композитный материал. Но это возможно

только при хорошей смачиваемости частиц жидкой фазой. В противном случае жидкая фаза будет замедлять процесс спекания [2].

При производстве керамических материалов плавни принято разделять на две большие группы: флюсующие, которые имеют низкую температуру плавления, а также вещества, имеющие высокую температуру плавления, но при обжиге с другими компонентами массы дающие легкоплавкие соединения. К первой группе плавней относят полевые шпаты, пегматиты и нефелиновые сиениты, а ко второй группе – мел, доломит и тальк [3].

Целью данной работы являлось составление обзора основных материалов, используемых в керамическом производстве в качестве плавней, с рассмотрением их природы, характеристик, особенностей и областей применения.

Полевошпатовые плавни

Полевые шпаты – часто встречающиеся в природе минералы, представляющие собой алюмосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов, к которым относятся ортоклаз $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, альбит $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, анортит $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, нефелин $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и др. [4].

Добавка полевых шпатов в состав керамики используется для получения стекловидной фазы, которая существенно влияет на свойства получаемого материала. В частности, при увеличении доли стекловидной фазы возрастает прочность материала при обжиге, значительно снижается вероятность деформации и растрескивания готового изделия. Также стекловидная фаза растворяет в себе другие компоненты керамической массы и может способствовать образованию новых кристаллических фаз из расплава.

Причиной активного применения полевых шпатов в качестве плавней является относительно низкая температура плавления, равная 1200 °С. При расплавлении полевой шпат становится вязкой стеклообразной массой – полевошпатовым стеклом, которое заполняет пустое пространство между компонентами керамической массы, тем самым склеивая их и образуя при охлаждении с ними монолитную массу [5].

Действие полевых шпатов в качестве флюсов в керамике начинается с 900 °С. При дальнейшем увеличении температуры вначале происходит растворение метакаолина, а затем кварца. Вместе с этим протекает растворение части кварцевых и глинистых зёрен керамики в стеклообразной массе с образованием муллита $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ [6, 7].

Запасы пригодных к использованию полевых шпатов сравнительно невелики. Чи-

стые, не загрязненные примесями полевые шпаты обычно встречаются в пегматитовых жилах. Пегматитовые жилы встречаются достаточно редко, соответственно, и полевые шпаты чаще встречаются не в чистом виде, а в смесях с другими минералами, например магнетитом.

Принято выделять три различных группы полевых шпатов, исходя из их минералогического состава. К первой группе относятся ортоклазы (натриево-калиевые полевые шпаты), ко второй – плагиоклазы – альбит и анортит, представляющие собой натриево-кальциевые полевые шпаты, а к третьей – гиалофаны (калиево-бариевые полевые шпаты). Также существуют, хоть и значительно менее распространены, сподумен (литиевый полевой шпат $Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$) и целезиан (бариевой полевой шпат $BaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) [8].

Калиевый полевой шпат $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ существует в природе в двух разновидностях – микроклин и ортоклаз, имеющих различные кристаллографические свойства, но одинаковый химический состав. Соответственно в зависимости от разновидности и примесей может иметь различную окраску от чистого белого до бордового цвета и плотность 2,56–2,58 г/см³. Температура плавления также варьируется в диапазоне 1130–1450 °С. Добавка калиевого полевого шпата придаёт расплаву очень высокую вязкость, что существенно увеличивает устойчивость керамических изделий к резким перепадам температур.

Натриевый полевой шпат $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ (альбит) представляет собой минерал с плотностью 2,62 г/см³. Цвет чистого альбита – белый, но примеси могут окрашивать его в серый, жёлтый и другие цвета. Температура плавления альбита находится в интервале 1120–1250 °С [9].

При производстве твёрдого фарфора наиболее качественные изделия получают при применении натриево-калиевых полевых шпатов в качестве флюсов. При этом важно, чтобы в составе таких полевых шпатов соотношение K_2O / Na_2O было больше 2. Это обеспечивает сравнительно низкую температуру плавления и достаточно большой интервал температур между спеканием и плавлением.

Кальциевый полевой шпат $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ – анортит, имеет плотность 2,76 г/см³ и температуру плавления между 1250 °С и 1550 °С. Цвет анортита преимущественно жёлтый, но может меняться из-за наличия примесей. Увеличение количества оксида кальция в составе плавня ухудшает светопропускание расплава. Из-за этого не рекомендуется использовать анортит в количестве больше 20 % [10].

Смесь кальциевых и натриевых полевых шпатов образует плагиоклазы различных оттенков белого и розового цветов. Принято разделять плагиоклазы на 3 группы: кислые (менее 30% анортита), средние (от 30 до 60% анортита) и основные (более 60% анортита). Плагиоклазы в качестве плавней применяются реже из-за узкого интервала между спеканием и плавлением и более высокой температуры плавления по сравнению с ортоклазами.

Пегматиты представляют собой проросшие кварцем полевые шпаты. В виду ограниченных запасов чистых полевых шпатов пегматиты используют в качестве их замены при изготовлении тонкой керамики. В составе пегматитов содержатся около 60–70% полевых шпатов, 25–30% кварца, а также слюда и примеси других минералов.

Пегматиты не имеют постоянного минералогического состава, впрочем как и постоянного состава по размеру зерна, что необходимо учитывать при расчёте шихты. Несмотря на это, температура плавления колеблется в достаточно узком интервале 1230–1300 °С [11].

Нефелиновый сиенит – щелочная порода, которая состоит из нефелина ($K_2O \cdot 3Na_2O \cdot 2Al_2O_3 \cdot 9SiO_2$), полевых шпатов и примесей слюды, оксидов железа и др. Может применяться в качестве замены пегматитов. Однако для применения в составе тонкой керамики нефелиновый сиенит необходимо обогащать, так как значительное количество оксидов железа в составе отрицательно влияет на внешний вид изделия. Без обогащения нефелиновый сиенит может использоваться для производства каменного товара, фасадных и метлахских плиток [12].

Карбонатные плавни

В сухие керамические смеси для улучшения их технологических свойств вводят карбонатные материалы, которые могут играть роль как заполнителей, так и наполнителей. В группу карбонатных плавней входят известняки, мергели и доломиты [13].

При производстве керамических масс для художественной керамики активно используются карбонаты щелочноземельных металлов – кальция и магния. Карбонат кальция – $CaCO_3$ – в природе встречается в виде мела, мрамора и известняка; карбонат магния – $MgCO_3$ – в виде магнезита и двойной карбонат кальция и магния – $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ – встречается в виде доломита. Сами по себе эти карбонаты не проявляют свойства плавней. Но оксиды кальция CaO и магния MgO , которые образуются после разложения карбонатов при температуре 800–1000 °С, способны вза-

имодействовать с другими компонентами керамической массы. В результате такого взаимодействия образуются легкоплавкие соединения, выполняющие функции плавней: уменьшение температуры спекания и огнеупорности [6, 14]. Однако снижается и температурный интервал спекания керамической массы, что увеличивает вероятность возникновения пузырей и деформации изделий во время обжига даже при незначительном повышении времени или температуры обжига.

Рассмотрим наиболее широко применяемые в качестве плавней карбонатные материалы [15]:

Известняк – осадочная горная порода, основным минералом которой является кальцит $CaCO_3$ (56% CaO и 44% CO_2). Присутствие известняка в глинистых массах снижает температуру спекания, однако при этом уменьшается интервал спекания, что существенно затрудняет обжиг и увеличивает опасность деформации изделий. Из карбонатов кальция в состав керамических масс обычно вводят мел, так как он выгодно отличается от других известняков мягкостью (твёрдость по шкале Мооса равна 1), тонкозернистостью и землистым изломом.

Мрамор – кристаллическая горная порода, состоящая преимущественно из кристаллов кальцита и доломита. Также в виде примесей в нем присутствуют кварц, полевой шпат, рутил и др. Мрамор относится к известнякам химического происхождения. Применяется при изготовлении мягкого фарфора и глазурей для твёрдого фарфора в качестве флюса.

Магнезит – кристаллическая горная порода, встречающаяся в природе в аморфном и кристаллическом виде. Магнезит является менее распространенной породой, чем известняк. Достаточно часто магнезит встречается в смеси с доломитом. Магнезиты используют в качестве плавней для производства тонких фарфоровых изделий с повышенной белизной и глазурей.

Доломит – осадочная карбонатная горная порода, которая в природе может встречаться как в виде крупно-, средне- и тонкозернистой твёрдой кристаллической породы, так и в виде более мягкой породы, называемой опокой. Цвет доломита светлосерый, иногда с желтоватым оттенком; твёрдость по шкале Мооса составляет 3,5–4,0. В доломите могут присутствовать в качестве примесей кальцит, магнезит, карбонаты железа, марганца и др. Доломит является значительно более эффективным плавнем, чем $CaCO_3$ и $MgCO_3$ в отдельности. Так же как и магнезит, доломит способствует снижению вязкости стеклофазы, что благоприятно

является выходу пузырей и улучшает качество готовых изделий [16].

Прочие плавни

Перечисленные выше материалы хоть и используются в качестве плавней, однако обладают определёнными недостатками. Кроме того, полевые шпаты, которые являются универсальными плавнями в технологии тонкой керамики, в производстве глазурей и эмалей, весьма ограничены по своим запасам [17]. Поэтому в научных разработках и в промышленном производстве продолжают поиски альтернативных материалов, которые можно использовать как плавни. В настоящее время в качестве плавней в керамическом производстве также используют:

Перлиты – породы вулканического происхождения, состоящие преимущественно из оксидов кремния, алюминия и щелочных металлов. Содержание оксидов железа и кальция снижает белизну и прозрачность готовых изделий, поэтому перлиты не так давно применяются в качестве плавней. Температура размягчения перлитов около 1040–1070 °С. Помимо производства керамических изделий перлиты применяют при изготовлении легкоплавких глазурей и в строительстве.

Тальк – гидросиликат магнезия с формулой $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, представляющий собой мягкий материал (твёрдость по шкале Мооса равна 1), который может содержать примеси оксидов алюминия, железа и кальция. Чистый тальк без примесей имеет белый цвет. Наличие в составе оксида железа в виде FeO окрашивает тальк в зелёный цвет. Присутствие оксида железа в виде Fe_2O_3 – в бурый цвет. Добавление талька в керамическую массу увеличивает её устойчивость к изменению температуры, образуя расплав с глинистыми материалами. Его используют главным образом для изготовления тонкокаменных масс [18, 19].

Пиррофиллит является мягким материалом, имеющим химический состав $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. По своим характеристикам он похож на тальк. Используется при изготовлении художественной керамики. Благодаря низкой твёрдости из него можно при помощи механической обработки получать изделия, которые после обжига сохраняют свою форму, размеры и приобретают значительную механическую прочность [20].

Гусевский камень (вторичный кварцит) – твёрдая порода, имеющая в своём составе кварц (50–60%), каолинит (20–30%), гидрослюда (до 6–10%) и различные примеси. После обогащения вторичный кварцит может служить сырьём для производства

фарфоровых изделий высокого качества, имеющих повышенную белизну (до 80%) и просвечиваемость [21].

Борная кислота H_3BO_3 представляет собой белое кристаллическое вещество слоистой структуры и относится к слабым кислотам. Является легкоплавким соединением с температурой плавления 170,9 °С, позволяет значительно понизить температуру жидкофазного спекания и повысить количество стекловидной фазы [22–24]. В сочетании с веществами, способными образовывать стекловидную фазу, борная кислота позволяет получить эффект самоглазурования поверхности изделий, существенно повысить прочность и морозостойкость, снизить водопоглощение изделий [25, 26], а также позволяет повысить их кислотоупорность и термостойкость [27, 28].

Заключение

Таким образом, активное применение плавней при производстве керамических материалов позволяет значительно улучшить их свойства и обеспечивает возможность получения материалов с заданными характеристиками. Использование плавней приводит к увеличению плотности керамических изделий, улучшает устойчивость изделий при обжиге, повышает просвечиваемость изделий за счёт создания легкоплавкой фазы. Плавни являются обязательным компонентом эмалей и глазурей. Без применения плавней было бы невозможно создание высококачественных изделий из фарфора. Плавни позволяют повысить эксплуатационные свойства и трещиностойкость строительной керамики на основе сырьевых материалов низкого качества. Учитывая всё возрастающие объёмы производства керамических изделий, можно предположить существенное увеличение количества применяемых плавней и расширение ассортимента сырья, используемого в этом качестве.

Список литературы

1. Mecif A., Soro J., Harabi A., Bonnet J.P. Preparation of mullite-and zircon-based ceramics using kaolinite and zirconium oxide: a sintering stud. J. Am. Ceram. Soc. 93, 5 (2010) P. 1306–1312.
2. Жидкофазное спекание [Электронный ресурс]. URL: https://studbooks.net/1892552/tovarovedenie/zhidkofaznoe_spekanie (дата обращения: 11.09.2019).
3. Салахов А.М. Современные керамические материалы; Министерство образования и науки РФ, Казанский федеральный университет. Казань: КФУ, 2016. 407 с.
4. Флюсоующиеся добавки (плавни) [Электронный ресурс]. URL: <https://poznayka.org/s83439t1.html> (дата обращения: 11.09.2019).
5. Волочко А.Т., Подболотов К.Б., Дятлова Е.М. Огнеупорные и тугоплавкие керамические материалы. Минск: Беларус. навука, 2013. 385 с.

6. Шахова В.Н., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Получение облицовочной керамики с использованием несортированного боя тарных стекол // Экология и промышленность России. 2019. № 2. С. 36–41.
7. Августиник А.И. Керамика. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Стройиздат (Ленингр. отд-ние), 1975. 592 с.
8. Кичкайло О.В., Левицкий И.А. Получение термостойких керамических материалов в системе $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ // Огнеупоры и техническая керамика. 2013. № 11–12. С. 50–60.
9. Сырьевые материалы для производства керамики [Электронный ресурс]. URL: <https://investobserver.info/syryevye-materialy-dlya-proizvodstva-keramiki/> (дата обращения: 11.09.2019).
10. Дятлова Е.М., Климош Ю.А. Химическая технология керамики и огнеупоров. В 2 ч. Ч. 1: тексты лекций для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 09 «Технология тонкой функциональной и строительной керамики». Минск: БГТУ, 2014. 224 с.
11. Горбачёв Б.Ф., Красникова Е.В. Состояние и возможные пути развития сырьевой базы каолинов, огнеупорных и тугоплавких глин в Российской Федерации // Строительные материалы. 2015. № 4. С. 6–17.
12. Кара-Сал Б.К., Сат Д.Х., Серен Ш.В., Монгуш Д.С. Стеновая керамика из нетрадиционных сырьевых материалов // Строительные материалы. 2016. № 4. С. 33–36.
13. Карбонатные материалы [Электронный ресурс]. URL: https://studref.com/524778/stroitelstvo/karbonatnye_materialy (дата обращения: 11.09.2019).
14. Мустафин Н.Р., Ашмарин Г.Д. Клинкерная керамика на основе кремнеземистого сырья и техногенных отходов // Строительные материалы. 2006. № 1. С. 32–33.
15. Dondi M. The role of surface microstructure on the resistance to stains of porcelain stoneware tiles. J. Eur. Ceram. Soc. 25, 4 (2005) 357–365.
16. Непластичные материалы и добавки [Электронный ресурс]. URL: <https://helpiks.org/9-50417.html> (дата обращения: 11.09.2019).
17. Плавни: полевые шпаты и пегматиты [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stroitelstvo-new.ru/keramika/farfor/plavni.shtml> (дата обращения: 14.08.2019).
18. Котляр В.Д., Терехина Ю.В., Котляр А.В. Особенности свойств, применение и требования к клинкерному кирпичу // Строительные материалы. 2015. № 4. С. 72–74.
19. Иманов Г.М., Косов В.С., Смирнов Г.В. Производство художественной керамики: Учеб. для сред. ПТУ. М.: Высш. шк., 1985. 223 с.
20. Захаров А.И. Основы технологии керамики: учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2005. 79 с.
21. Плавни [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ngpedia.ru/id257782p3.html> (дата обращения: 11.09.2019).
22. Перовская К.А., Петрина Д.Е., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Применение полимерных отходов для повышения энергоэффективности стеновой керамики // Экология промышленного производства. 2019. № 1. С. 7–11.
23. Сухарникова М.А., Пикалов Е.С. Исследование возможности производства керамического кирпича на основе малопластичной глины с добавлением гальванического шлама // Успехи современного естествознания. 2015. № 10. С. 44–47.
24. Марьин В.К., Кузнецов Ю.С., Новокрещенова С.Ю. Опыт утилизации промышленных отходов в Пензенской области // Экология и промышленность России. 2005. № 5. С. 28–33.
25. Шахова В.Н., Березовская А.В., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г., Сысоев Э.П. Разработка облицовочного керамического материала с эффектом самоглазурования на основе малопластичной глины // Стекло и керамика. 2019. № 1. С. 13–18.
26. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка энергоэффективной облицовочной керамики на основе местного сырья и стекольного боя // Экология промышленного производства. 2019. № 3. С. 22–26.
27. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Использование отходов, содержащих тяжелые металлы, для получения кислотоупорной керамики с эффектом самоглазурования // Экология промышленного производства. 2018. № 2. С. 2–6.
28. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка состава шихты для получения термостойкой керамики // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 10. С. 126–130.

СТАТЬИ

УДК 523.31

**ТЕОРИЯ ЗАМЕДЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ
ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ****Рыбкин В.В.***ОАО «Когалымнефтегеофизика», Когалым, e-mail: rybv@mail.ru*

Приведены данные наблюдений, указывающие на то, что приливного трения в системе «Земля – Луна» может оказаться недостаточно для объяснения наблюдаемого увеличения периода вращения Земли и векового ускорения Луны. В качестве исходной информации для построения новой теории автор использовал эмпирический закон Хаббла, устанавливающий зависимость длины волны излучения галактик от расстояния до них. Используя теорию корпускулярно-волнового дуализма, автор осуществил переход от изменяющихся длин волн к изменяющимся импульсам произвольных частиц. В качестве такой частицы может выступать, например, малый элемент массы планеты. Следующее из теории постепенное уменьшение импульса произвольной частицы выражается в малых, но доступных для наблюдений потерях энергии при вращении и поступательном движении тел. Показано, что предложенная теория дает полное объяснение наблюдаемого замедления вращения Земли и векового ускорения Луны. Сделан вывод о том, что вклад приливного трения в наблюдаемые динамические эффекты в системе «Земля – Луна» пренебрежимо мал. Выведена формула для вычисления числа суток в году в геологическом прошлом. Результаты вычислений по формуле согласуются с данными палеонтологии о числе суток в году за последние несколько сотен миллионов лет. Другим следствием теории является постепенное уменьшение радиуса орбиты Земли и других планет. Это приводит к отклонению положения планеты на орбите от предсказаний ньютоновской теории. Вычисления показали, что это отклонение согласуется с данными высокоточных радиолокационных измерений расстояний до планет. Полученная зависимость радиуса орбиты Земли от времени позволила вычислить, что расстояние от Земли до Солнца в геологическом прошлом было существенно больше современного значения. Это дает новое объяснение причины существования глобального оледенения в нижнем протерозое.

Ключевые слова: замедление вращения Земли, вековое ускорение Луны, изучение древних кораллов, радиус орбиты Земли в геологическом прошлом, оледенение в нижнем протерозое, космология, закон Хаббла, ускорение космических аппаратов «Пионер-10» и «Пионер-11»

**THE THEORY OF SLOWING THE EARTH'S ROTATION BASED ON DATA
GEOLOGY, GEOPHYSICS AND ASTRONOMY****Rybkin V.V.***JSC Kogalymneftegeofizika, Kogalym, e-mail: rybv@mail.ru*

Observation data are presented that indicate that tidal friction in the Earth-Moon system may not be enough to explain the observed increase in the Earth's rotation period and secular acceleration of the Moon. The author used the Hubble empirical law, which establishes the dependence of the radiation wavelength of galaxies on the distance to them, as initial information for constructing a new theory. Using the theory of wave-particle duality, the author made the transition from changing wavelengths to changing momenta of arbitrary particles. Such a particle can be, for example, a small element of the mass of the planet. The gradual decrease in the momentum of an arbitrary particle following from the theory is expressed in small, but observable, energy losses during rotation and translational motion of bodies. It is shown that the proposed theory gives a full explanation of the observed deceleration of the Earth's rotation and the secular acceleration of the Moon. It is concluded that the contribution of tidal friction to the observed dynamic effects in the Earth-Moon system is negligible. A formula is derived for calculating the number of days in a year in the geological past. The results of calculations according to the formula are consistent with paleontology data on the number of days per year over the past several hundred million years. Another consequence of the theory is a gradual decrease in the orbit radius of the Earth and other planets. This leads to a deviation of the position of the planet in orbit from the predictions of Newton's theory. Calculations showed that this deviation is consistent with the data of high-precision radar measurements of distances to planets. The obtained dependence of the radius of the Earth's orbit on time made it possible to calculate that the distance from the Earth to the Sun in the geological past was significantly greater than the current value. This provides a new explanation of the reason for the existence of global glaciation in the Lower Proterozoic.

Keywords: deceleration of the Earth's rotation, secular acceleration of the Moon, the study of ancient corals, the radius of the Earth's orbit in the geological past, glaciation in the Lower Proterozoic, cosmology, Hubble's law, acceleration of the Pioneer-10 and Pioneer-11 spacecraft

В 1693 г. Э. Галлей, проведя анализ наблюдений лунных затмений, проведенных в отдаленном прошлом и в современную ему эпоху, установил, что средняя скорость орбитального движения Луны постепенно возрастает. Ускорение Луны по расчетам Галлея составило около 10" за столетие. На

основании этих данных Галлей сделал вывод о том, что наш спутник постепенно приближается к Земле [1].

Попытки объяснить вековое ускорение Луны через гравитационное влияние со стороны других тел Солнечной системы предпринимались П. Лапласом (1783 г.)

и Д. Адамсом (1853 г.). Однако они не привели к успеху. В 1865 г. Ш. Делоне высказал предположение, что причиной аномального движения Луны может являться приливное трение в системе «Земля – Луна». Но в то время не все согласились с такой точкой зрения. В 1885 г. русский астроном Н.П. Долгоруков в своей магистерской диссертации высказал сомнение по поводу того, что приливы могут оказывать хоть сколько-нибудь заметное влияние [1].

В настоящее время приливы продолжают считаться основной причиной наблюдаемого векового ускорения Луны. При этом, согласно приливной теории [2], основная часть эффекта должна приходиться на долю лунных приливов в мелководных морях, а приливами в твердой Земле можно пренебречь. Пренебрегают также и солнечными приливами, так как они существенно меньше лунных приливов по амплитуде и самостоятельно не наблюдаются [2].

Механизм взаимодействия Луны и Земли в приливной теории выглядит следующим образом. Приливная волна, вызванная гравитационным полем Луны, движется навстречу вращению Земли. В мелководных морях эта волна вызывает приливные течения, которые теряют свою энергию за счет трения о дно бассейна. Поскольку сила трения направлена против вращения Земли, скорость ее вращения постепенно уменьшается и земному наблюдателю кажется, что Луна ускоряет свое движение по орбите. При этом Луна, получая дополнительный момент количества движения за счет силы притяжения приливного горба, смещенного относительно линии Земля-Луна, должна постепенно удаляться со скоростью около 3–4 см в год. За счет этого орбитальная скорость Луны должна уменьшаться, а ее положение на орбите будет отставать на 4" за столетие. Однако эффект, вносимый замедляющейся Землей, намного больше, поэтому наблюдателю должно казаться, что Луна движется по орбите с возрастающей скоростью. Таковы основные положения приливной теории, выдвигаемые в связи с наблюдаемым вековым ускорением Луны [1, 2].

Практически, наблюдая с Земли за движением Луны, можно определить лишь суммарную угловую невязку σ в положении Луны, обусловленную как непостоянством скорости вращения Земли, так и непостоянством средней орбитальной скорости Луны.

Величина σ , первую оценку которой сделал Галлей, была уточнена современными астрономами. В 1972 г. астрономы К. Эстервинтер и К. Коэн, используя наблюдения 1912–1968 гг. прохождений через

меридиан Луны, Солнца и планет, вычислили, что $\sigma = (19 \pm 4)''$ за столетие. В 1970 г. Р. Ньютон, анализируя древние наблюдения затмений Солнца, получил аналогичный результат $\sigma = 19''$. По данным Л. Моррисона, полученным в 1973 г. в результате обработки наблюдений долготы Луны за 1955–1972 гг., $\sigma = (21 \pm 3)''$. Используя 7000 наблюдений покрытий звезд Луной, Т. Ван Фладерн определил, что $\sigma = (26 \pm 8)''$. В результате проведения световой локализации Луны, с использованием уголкового отражателя, установленных экспедициями «Аполлон-11», «Аполлон-15» и «Луноход-2», было получено $\sigma = 24''$ [1]. Нужно отметить, что при измерениях σ , выполненных на исторически коротком отрезке времени (порядка 100 лет и менее), возрастает погрешность, обусловленная хаотическими колебаниями скорости вращения Земли [3].

Таким образом, наиболее точные вычисления приводят к значению $\sigma \approx 20''$ за столетие. На первый взгляд, величина σ кажется очень маленькой, однако за большое историческое время ей соответствует значительное расхождение в наблюдении солнечных затмений. Оно составляет около 4 часов за 2000 лет. Это позволяет вычислить величину σ при анализе астрономических наблюдений, относящихся к отдаленному прошлому. Наиболее удаленные исторически затмения были описаны Плутархом (–1889 г. и –1931 г.), Гиппархом (–2088 г.) и Архилохом (–2607 г.) [2].

Для объяснения наблюдаемой величины σ с помощью приливной теории, необходимо, чтобы мощность потерь энергии в приливах для всей Земли составляла около $2,7 \cdot 10^{19}$ эрг/сек. Мощность потерь энергии в каждом конкретном случае зависит от скорости приливных течений, глубины моря, а также от состояния дна. Реально все эти факторы трудно оценить, поэтому существуют лишь грубые оценки диссипации энергии в морях. Самые большие потери энергии исследователи отводили Беринговому морю. Например, по оценке Джеффриса мощность потерь энергии здесь составляет $0,75 \cdot 10^{19}$ эрг/сек, а по оценке Хейсканена $0,48 \cdot 10^{19}$ эрг/сек. Однако измерения скорости приливных течений, проведенные в Беринговом море в 1958 г. на первой атомной подводной лодке «Наутилус», показали, что скорости течений здесь превышались в 2–2,5 раз. Приливные течения носят турбулентный характер, поэтому мощность потерь энергии пропорциональна кубу скорости течений. Это означает, что мощность потерь энергии в Беринговом море превышалась приблизительно в 10 раз [2, с. 279]. Сходная ситуация возможна и в других морях.

Если же попытаться объяснить измеренную величину σ за счет приливов в твердой Земле, то для этого необходимо, чтобы угол между линией Земля – Луна и линией, проходящей через диаметрально противоположные приливные горбы, составлял 5° . Но специальные измерения показали, что этот угол составляет лишь 1° [2, с. 287–288].

Изложенное выше дает повод для сомнений в том, что приливы являются основной причиной наблюдаемого замедления вращения Земли. Попытки объяснить наблюдаемое угловое расхождение σ как следствие только приливного трения отчасти были связаны с тем, что не было видно другой физической причины, которая могла бы вызывать потери энергии в системе «Земля – Луна». Однако такая причина существует. В данной статье будет показано, что имеющиеся астрономические наблюдения позволяют построить последовательную неприливную теорию, дающую точное описание наблюдаемого замедления вращения Земли и векового ускорения Луны.

Цель исследования: построение теории, дающей описание наблюдаемого замедления вращения Земли и объясняющей основную причину потерь энергии в системе «Земля – Луна». Предлагаемая теория также предназначена для интерпретации полученных геологами результатов при изучении древних кораллов. Этими исследованиями установлено, что несколько сотен миллионов лет назад число суток в году было существенно больше, чем в настоящее время. Одно из следствий теории позволяет вычислить расстояние от Земли до Солнца в прошлом и выявить причину очень холодного климата на планете в нижнем протерозое и, вероятно, в более раннее геологическое время.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели исследования возникла необходимость обращения к результатам научных работ в смежных с геологией и геофизикой дисциплинах – в астрономии и физике. В качестве исходных данных при построении теории из области астрономии был использован известный эмпирический закон Хаббла. Применение идеи корпускулярно-волнового дуализма из квантовой механики привело к новой интерпретации этого закона. В результате было получено уравнение, описывающее малые потери энергии при вращении и поступательном движении тел, в частности Земли.

Результаты исследования и их обсуждение

В 1929 г. Э. Хаббл, анализируя результаты наблюдений излучения галактик, уста-

новил эмпирический закон космологического красного смещения:

$$r = \frac{c}{H} \frac{(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0} = \frac{c}{H} z, \quad (1)$$

где λ_0 – длина волны некоторой спектральной линии в точке испускания фотона, λ – длина волны той же спектральной линии в точке приема излучения, r – расстояние до источника излучения (галактики), $c = 2,997925 \cdot 10^8$ м/с скорость света, H – постоянная Хаббла [4].

В работе Сэндиджа и Таммана, опубликованной в 1975 г., даны измеренные значения $H = 57 \pm 3$ км/(сек·Мпк) и $H = 55$ км/(с·Мпк) для далеких галактик типа Sc. По данным Эйдмана (1969 г.) $H = 51$ км/(с·Мпк), а по определениям Вокулера (1970 г.) $H = 50$ км/(с·Мпк) [5]. Метод, основанный на наблюдении цефеид был применен при определениях постоянной H с использованием наблюдений на Космическом телескопе им. Э. Хаббла. Группа ученых под руководством А. Сэндиджа (Институт Карнеги) в 1999 г. получила значение $H = 58$ км/(с·Мпк) $\pm 10\%$. Обработка данных наземных измерений красного смещения большого числа галактик и наблюдений сверхновых Ia приводят к постоянной Хаббла $57(+15, -14)$ км/(с·Мпк) [6]. Одно из самых надежных значений постоянной Хаббла дают наблюдения расширяющихся оболочек сверхновых: $H = 55$ км/(с·Мпк) [7, с. 212]. Учитывая эту совокупность данных, в данной статье будет использовано значение $H = 55$ км/(с·Мпк) $\approx 1,8 \cdot 10^{-18}$ с $^{-1}$.

При скоростях движения источника света вдоль луча зрения $v \ll c$ справедлива формула для известного эффекта Доплера: $cz = v$. В результате из эмпирического закона (1) можно сделать вывод, что галактики удаляются от наблюдателя со скоростью

$$v = Hr, \quad (2)$$

а пространство между галактиками расширяется. Приведенные выше соотношения (1) и (2) лежат в основе космологической теории, предполагающей расширение пространства [4]. Попытаемся на их основе построить теорию, объясняющую наблюдаемые динамические эффекты в системе «Земля – Луна».

Соотношение (2) можно интерпретировать так, что любой линейный элемент пространства увеличивает свою длину со скоростью

$$\frac{dr}{dt} = Hr. \quad (3)$$

В обычном евклидовом пространстве таким линейным «элементом» может быть, например, длина дебройлевской волны частицы. Согласно экспериментально подтвержденной гипотезе Луи де Бройля, любая частица материи характеризуется длиной волны [8]:

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad (4)$$

где p – импульс частицы, h – постоянная Планка.

Идея корпускулярно-волнового дуализма материи была высказана Луи де Бройлем в 1924 г. Она явилась обобщением известного тогда только для фотонов соотношения (4) также и на частицы с массой покоя. Это позволило предсказать волновые свойства у электрона, которые были экспериментально обнаружены уже в 1927 г. (К. Дэвиссон и Л. Джермер). Несколько позднее наблюдалась дифракция атомов и молекул (О. Штерн и И. Эстерман), таким образом, было доказано, что соотношение (4) справедливо для любых частиц материи.

Принимая, что в выражении (3) $r = \lambda$, получаем уравнение

$$\frac{d\lambda}{dt} = H\lambda. \quad (5)$$

Из соотношений (4) и (5) приходим к уравнению для скорости изменения импульса произвольной частицы, что тождественно действию на нее некоторой силы [9, 10]:

$$F = \frac{dp}{dt} = -Hp. \quad (6)$$

Эта сила направлена вдоль траектории частицы противоположно направлению вектора скорости, что вызывает потери ее энергии.

Таким образом, корпускулярно-волновой дуализм приводит к тому, что при расширении пространства импульсы всех частиц уменьшаются и, напротив, если физический вакуум устроен так, что, взаимодействуя с частицами, уменьшает их импульс, то это будет создавать иллюзию расширения пространства. В соответствии с этим возможны два подхода при объяснении эмпирической закономерности (1). При первом подходе можно считать, что физический вакуум расширяется, а при другом можно исходить из того, что он обладает диссипативными свойствами, определяемыми уравнением (6). В последнем случае постоянная Хаббла приобретает статус универсальной мировой константы. Ниже на примере Солнечной системы мы покажем,

что импульсы всех тел, движение которых хорошо изучено, действительно изменяются в соответствии с уравнением (6).

Уравнение (6) фактически означает, что на любую движущуюся частицу или тело с массой m , например планету, действует тормозящая сила [9, 10]:

$$F = -Hmv, \quad (7)$$

где v – скорость частицы. Рассчитаем вековое ускорение Луны, используя силу (7), действующую на Луну как на точечную массу, а также на любой малый элемент массы вращающейся Земли. Для простоты расчеты будем проводить для круговых орбит. Из-за малого наклона орбиты Луны к плоскости экватора Земли $5,09^\circ$ будем исходить из приближения, что плоскость орбиты Луны совпадает с плоскостью экватора Земли. Из условия равновесия на круговой орбите орбитальная скорость планеты или спутника

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}, \quad (8)$$

где M – масса центрального тела, r – радиус орбиты, $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ – гравитационная постоянная. Запишем известное выражение для полной орбитальной энергии спутника с массой m :

$$A = \frac{mv^2}{2} - G \frac{mM}{r} = -\frac{GMm}{2r}, \quad (9)$$

отсюда

$$\frac{dA}{dr} = \frac{GMm}{2r^2}. \quad (10)$$

Из выражений (7) и (8) найдем мощность потерь энергии спутником:

$$\frac{dA}{dt} = Fv = -Hm \frac{GM}{r}. \quad (11)$$

Далее, используя соотношения (10) и (11), получим скорость уменьшения радиуса орбиты:

$$\frac{dr}{dt} = -2Hr. \quad (12)$$

После интегрирования уравнения (12) приходим к формуле, описывающей уменьшение радиуса орбиты во времени:

$$r = r_0 e^{-2Ht}, \quad (13)$$

где r_0 соответствует величине r в момент начала наблюдения ($t = 0$). Воспользовавшись третьим законом Кеплера, получаем закон изменения периода обращения

$$T = T_0 e^{-3Ht}. \quad (14)$$

Отсюда следует постепенное возрастание угловой скорости радиус-вектора планеты

$$\omega = \omega_0 e^{3Ht} = \frac{d\varphi}{dt}, \quad (15)$$

После интегрирования уравнения (15) находим угол, который опишет радиус-вектор за время t :

$$\varphi = \frac{\omega_0}{3H} (e^{3Ht} - 1). \quad (16)$$

В ньютоновской теории $\omega = \omega_0 = const$, соответственно $\varphi_N = \omega_0 t$. После нахождения угловой невязки $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_N$ и разложения экспоненты в степенной ряд получаем

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi t}{T_0} \left[\frac{3Ht}{2!} + \frac{(3Ht)^2}{3!} + \frac{(3Ht)^3}{4!} + \dots \right]. \quad (17)$$

Пренебрегая членами, в которых H имеет показатель степени >1 , находим, что радиус-вектор любого спутникового тела за время t будет «убегать» вперед по орбите по отношению к предсказаниям, сделанным на основе теории Ньютона на угол [9, 10]:

$$\Delta\varphi = \frac{3\pi H t^2}{T}, \quad (18)$$

где T – период обращения спутника.

Из уравнения (6) также можно получить закон изменения периода вращения планеты вокруг оси. Для точки, находящейся на расстоянии x_0 от оси вращения планеты, линейная скорость вращения $v = \Omega x_0 = 2\pi x_0 / \tau$, где Ω – угловая скорость вращения, τ – период вращения. Поэтому из соотношения (6) следует уравнение для скорости увеличения периода вращения тела

$$\frac{d\tau}{dt} = H\tau \quad (19)$$

и формула, описывающая возрастание периода вращения со временем:

$$\tau = \tau_0 e^{Ht}. \quad (20)$$

Соответственно, должна уменьшаться угловая скорость вращения тела:

$$\Omega = \frac{d\psi}{dt} = \Omega_0 e^{-Ht}. \quad (21)$$

После интегрирования этого уравнения находим угол, который «накручивает» планета за время t :

$$\psi = \frac{\Omega_0}{H} (1 - e^{-Ht}). \quad (22)$$

Согласно же предсказанию ньютоновской теории, этот угол $\psi_N = \Omega_0 t$, соответственно, отставание угла поворота планеты $\Delta\psi = \Omega_0 t - \psi$. После подстановки в это выражение соотношения (22) и разложения экспоненты в ряд находим:

$$\Delta\psi = \frac{2\pi t}{\tau_0} \left[\frac{Ht}{2!} - \frac{(Ht)^2}{3!} + \frac{(Ht)^3}{4!} - \dots \right]. \quad (23)$$

Пренебрегая малыми членами ряда, окончательно получаем [10]:

$$\Delta\psi = \frac{\pi H t^2}{\tau_0}. \quad (24)$$

Для Земли период вращения $\tau_0 = 23,9345$ часов, и за 100 лет угол, согласно формуле (24), составит $135''$. При этом отставание по времени $\Delta t_{\oplus} = \Delta\psi / \Omega_0 = 8,98$ с, где $\Omega_0 = 15,04'' \text{ c}^{-1}$ – угловая скорость вращения Земли, а кажущееся вековое ускорение Луны $\Delta t_{\oplus} \omega_0 = 4,93''$, где $\omega_0 = 0,549'' \text{ c}^{-1}$ – угловая скорость орбитального движения Луны. Согласно формуле (18), истинное вековое ускорение Луны $\Delta\varphi = 14,8''$. В итоге суммарное наблюдаемое с Земли вековое ускорение Луны $\sigma = 4,93'' + 14,8'' = 19,7''$ [10]. Вычисленная на основе уравнения (6) величина σ хорошо согласуется с приведенными выше данными наблюдений, согласно которым $\sigma \approx 20''$ за 100 лет. Полученный результат говорит о том, что существование силы, определяемой выражением (7), полностью объясняет наблюдаемое вековое ускорение Луны, а приливные потери энергии в системе «Земля – Луна», вероятно пренебрежимо малы по сравнению с потерями, появляющимися за счет действия этой силы.

Данные палеонтологии дают нам возможность для независимой проверки соотношений (14) и (20). Установлено, что кораллы каждые сутки наращивают в своей известковой оболочке тонкий известковый слой, толщина которого зависит от длины светового дня. Это позволяет в совокупности суточных слоев выделить годовые слои. Таким образом, кораллы фиксируют число оборотов Земли относительно Солнца за период обращения Земли. При изучении под микроскопом шлифов современных кораллов в годовых слоях обнаруживают 365 суточных поясков. В результате исследований древних кораллов, проведенных Уэллсом, Панеллой и Мак-Клинтоком, охватывающих несколько последних сотен миллионов лет, установлено, что в геологическом прошлом число суток в году было существенно больше и постепенно уменьша-

лось с приближением к современной эпохе (табл. 1) [2, с. 238].

Отличительной особенностью предлагаемой теории является то, что в ней, согласно (14), период обращения Земли вокруг Солнца меняется с течением времени (уменьшается, приблизительно на 0,54 с за 100 лет). Если в выражении (14) поменять знак времени, то его можно использовать для вычисления T в прошлом:

$$T = T_0 e^{3Ht}, \quad (25)$$

где в случае Земли $T_0 = 365,25$ суток – период обращения в современную эпоху. Аналогично из формулы (20) период вращения Земли в прошлом:

$$\tau = \tau_0 e^{-Ht}, \quad (26)$$

где $\tau_0 = 23,9345$ часов – продолжительность суток в настоящее время. Кораллы в строении своей известковой оболочки «запоминают», сколько оборотов вокруг оси совершила Земля относительно Солнца за период обращения по орбите в эпоху роста коралла. Из астрономии известно, как вычисляется период вращения Земли относительно Солнца (солнечные сутки): $\tau_c = T\tau / (T - \tau)$, где τ и T соответственно период вращения, и период обращения Земли в рассматриваемую эпоху. Поэтому число солнечных суток N , содержащихся в периоде обращения Земли:

$$N = \frac{T}{\tau_c} = \frac{(T - \tau)}{\tau}. \quad (27)$$

Используя выражения (25), (26) и (27), окончательно получаем

$$N = \frac{T_0}{\tau_0} e^{4Ht} - 1 = 365,25 \cdot e^{4Ht} - 1 \text{ сут}, \quad (28)$$

где t – время в прошлое [10].

Результаты вычисления N на основе формулы (28) представлены в последнем столбце табл. 1. Мы видим, что наблюдается хорошее согласие теории с данными палеонтологии. Практически точное совпадение происходит при $t = 380$ млн лет. Некоторый разброс экспериментальных данных может быть объяснен погрешностью подсчета суточных поясков у кораллов. Таким образом, исследования палеонтологов хорошо подтверждают реальное присутствие силы, определяемой соотношением (7).

Согласно уравнению (12), Луна должна приближаться к Земле со скоростью 4,4 см в год. В то время как теория приливов предсказывает по измеренной величине σ удаление Луны со скоростью 3–4 см в год. По этой же теории Земля должна увеличивать период вращения в темпе (1,5–2) мс/сто-

летие [2]. Однако из уравнения (19) следует, что замедление вращения Земли относительно звезд составляет лишь 0,5 мс за 100 лет. Помимо наблюдений движения Луны, независимые определения темпа замедления вращения Земли были получены на основе измерений склонений (начиная с 1760 г.) и прямых восхождений Венеры (с 1835 г.) и наблюдений прохождений Меркурия по солнечному диску (с 1677 г.). Перечисленные выше наблюдения также дают более низкое значение $d\tau/dt \approx 1$ мс/столетие [2, с. 237], близкое к тому, что предсказывает уравнение (19). Как уже отмечалось, нужно также учитывать, что при астрономических наблюдениях на сравнительно небольших интервалах времени ($\lesssim 100$ лет) может оказать некоторое влияние хаотическая составляющая неравномерности вращения Земли [3].

Таблица 1

Число суток в году в геологическом прошлом по данным палеонтологии и согласно теоретическим расчетам

Время в прошлое, млн лет	Число суток в году (N)	
	Данные палеонтологии	Результаты расчетов по формуле (28)
0	365	365,25
72	370,3	371,3
270	384,1	388,4
298	387,5	390,9
380	398,8	398,3
440	407,1	403,8

Сила, определяемая формулой (7), должна сказываться и на движении планет. За счет ее действия возникает угловая невязка в положении радиус-вектора планеты, которая описывается выражением (18). В результате обработки высокоточных радиолокационных измерений расстояний до планет, проведенных в период с 1960 г. по 1980 г. Институтом радиотехники и электроники АН СССР совместно с рядом других организаций, был выявлен так называемый эффект «запаздывания». Он заключается в том, что при построении теории движения планет на основе ньютоновской теории вычисленное положение планеты на орбите запаздывает по отношению к ее реальному положению [11, с. 31]. Это означает, что планеты движутся по орбите с положительным ускорением – быстрее, чем это следует из ньютоновской теории. Нужно отметить, что согласно Общей теории относительности (ОТО) из-за замедления хода времени в гравитационном поле Солнца, согласно

соотношению (33), планеты с точки зрения удаленного наблюдателя должны двигаться медленнее, чем это предсказывает ньютоновская теория. Это может быть учтено путем введения атомного координатного времени, зависящего от гравитационного потенциала Солнца. Обнаруженный эффект «запаздывания» выходит за рамки ОТО. Авторы, открывшие это явление, назвали его *новым частным релятивистским эффектом* [12]. Путем численного моделирования ими была получена кривая, отражающая изменение измеренного эффекта в зависимости от радиуса орбиты планеты [13].

На рис. 1 представлена теоретическая кривая, полученная для планет Солнечной системы на основе формулы (18). Величина $\Delta\varphi$ дана в угловых секундах за столетие ($t = 100$ лет) при $H = 1,8 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$. Здесь же представлены экспериментальные данные (кружки) для Меркурия ($r_0 = 0,387$ а.е.), Венеры ($r_0 = 0,723$ а.е.), Марса ($r_0 = 1,524$ а.е.) и Юпитера ($r_0 = 5,203$ а.е.), полученные в результате радиолокационных измерений [11, 12].

Из формулы (18) следует, что за 100 лет для Венеры ($T_0 = 0,61521$ лет) $\Delta\varphi = 1,80''$, а для Земли ($T_0 = 1,00004$ лет) $\Delta\varphi = 1,10''$, т.е. радиус-вектор Венеры опережает радиус-вектор Земли на $0,70''$ по гелиоцентрической долготе. Из данных, приведенных на рис. 2 в научном сообщении М.Д. Кислика [12, с. 15], следует, что Венера опережает Землю на $0,71''$, что хорошо согласуется с результатами расчетов по формуле (18).

Приведенные выше результаты расчетов динамических эффектов для Луны, Земли и планет говорят в пользу реального существования силы, которая описывается выражением (7).

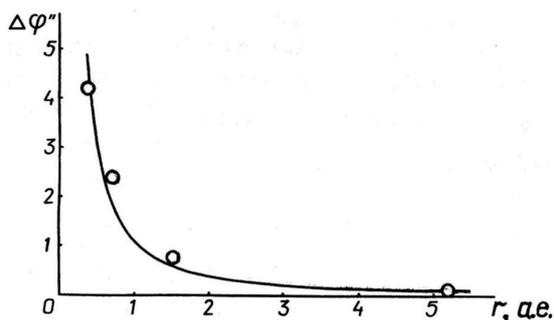


Рис. 1. Уход $\Delta\varphi$ радиус-вектора планет по гелиоцентрической долготе по данным радиолокационных наблюдений в угловых секундах за столетие (кружки) для Меркурия, Венеры, Марса и Юпитера [11, 12]. Кривая отражает теоретические значения $\Delta\varphi$, согласно формуле (18)

Попытаемся прояснить физический смысл соотношения (6). В соответствии с формулой (7) описанные выше динамические эффекты в Солнечной системе можно представить как результат действия ускорения, направленного против движения частицы:

$$g = \frac{F}{m} = -Hv. \quad (29)$$

Видно, что это ускорение не зависит от массы частицы. Из всех известных физических полей ускорение, не зависящее от массы пробной частицы, создает только гравитационное поле. Следовательно, сила, определяемая уравнением (6), создается за счет действия некоторого гравитационного поля с напряженностью $g = -Hv$. Видно, что данное гравитационное поле зависит от скорости частицы. Это означает, что гравитационное поле является индуцированным полем и появляется как результат своеобразной реакции физического вакуума на движение частицы. Поле появляется лишь тогда, когда частица начинает двигаться. Нужно отметить, что в Специальной теории относительности (СТО) движущиеся системы отсчета отличаются от покоящихся систем, в частности, разной скоростью хода времени. При переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой видоизменяется и электромагнитное поле. Электрическое или магнитное поле, отсутствующее в одной системе координат, при этом может присутствовать в другой, что отражено в формулах преобразований Лоренца. Соотношение (29) можно представить как некоторое дополнение к СТО. Оно заключается в том, что в системе отсчета, движущейся со скоростью v , появляется гравитационное поле с напряженностью $g = -Hv$.

Постепенное уменьшение радиуса орбиты Земли (астрономической единицы), которое в соответствии с уравнением (12) должно происходить со скоростью $\approx 1,7$ км за 100 лет, косвенно подтверждается данными геологии. Если в соотношениях (13), (14) и (20) поменять знак времени, то можно вычислить, что 4,5 млрд лет назад, в эпоху своего образования, Земля имела радиус орбиты 1,67 а.е., период обращения $T = 2,15$ лет и период вращения 18,5 часов. Мощность излучения звезд типа Солнца сохраняется почти постоянной за все время их пребывания (около 10 млрд лет) на главной последовательности эволюционной диаграммы светимость-цвет [14]. Поэтому можно принять, что 45 млрд лет назад полная светимость Солнца была приблизительно равна современному значению $L_{\odot} = 3,86 \cdot 10^{26}$ Вт.

Отсюда следует, что плотность потока излучения Солнца $\sigma = L_{\odot} / 4\pi r^2$ в месте расположения орбиты Земли 4,5 млрд лет назад была в 2,79 раз меньше современного значения. Можно предположить, что в это время и несколько позднее планета имела сплошной ледяной покров. Вероятно, как раз об этом свидетельствуют многочисленные следы глобального оледенения, которые обнаружены в отложениях нижнего протерозоя.

Своеобразным индикатором холодного климата в геологии являются специфические горные породы – тиллиты. Они представляют собой неслоистые конгломераты – смеси валунов различного размера с глинами или мергелями, которые по всем признакам являются остатками древних ледниковых морен. Об этом же свидетельствует, например, наличие отполированного и исштрихованного скального ложа, а также такие геоморфологические признаки бывшего присутствия ледников, как долины с плоским дном, цирки и куполовидные выступы, которые имеют гладкий склон с одной стороны (откуда двигался ледник) и шероховатый или зубчатый склон с другой стороны. Наиболее типичные представители нижнепротерозойских тиллитов находятся в свите Гоуганда на юго-востоке Канадского щита. Они имеют возраст 2–2,3 млрд лет и имеют мощность 650–1300 м. На Канадском щите тиллиты такого же возраста находятся вблизи озера Верхнего. Кроме того, они обнаружены в Южной Америке, Индии, Южной Африке, Западной Австралии и в Сарколийской серии Карелии, что указывает на глобальный характер нижнепротерозойского оледенения [15], которое иногда называют Величайшим Оледенением. Согласно расчетам ученых, толщина ледяного панциря планеты в этот период достигала 0,5 км. В архее небольшие открытые водоемы, вероятно, существовали лишь в зонах выделения эндогенного тепла, например вблизи вулканов и в мелководных частях рифтовых зон. В пределах этих водоемов могли существовать первые бактерии фотосинтезики (цианобактерии), которые выделяли относительно небольшое количество кислорода, шедшего в основном на окисление минералов. Вблизи границы архея и протерозоя около 2,3–2,4 млрд лет назад, согласно открытиям геологов, в атмосфере Земли впервые появился свободный кислород. Накопление кислорода происходило настолько быстро, что иногда это событие называют Кислородной катастрофой. Быстрое накопление в атмосфере кислорода можно связать с началом таяния ледяного покрова планеты и с массовым размножением цианобактерий в образовавшихся обширных пространствах открытой воды.

Планета, изначально образовавшаяся за пределами обитаемой зоны (зоны Златовласки), постепенно теряя орбитальную энергию и уменьшая радиус орбиты, в соответствии с формулой (13), постепенно входит в зону обитания и вода на планете переходит из твердой фазы в жидкую фазу. Это увеличивает вероятность появления и последующей эволюции жизни на планете. Существуют некоторые оценки верхней границы обитаемой зоны в Солнечной системе: 1,24 а.е. (Dole, 1964 г.); 1,30 а.е. (Fogg, 1992 г.); 1,37 а.е. (Kasting et al., 1993 г.). На этом фоне несколько заниженной выглядит оценка 1,01 а.е. (Hart et al., 1978 г., 1979 г.). Эти оценки в целом согласуются с расчетами, сделанными на основе соотношения (13), согласно которым во время окончания Величайшего Оледенения 2–2,3 млрд лет назад Земля находилась на расстоянии соответственно 1,26–1,30 а.е. от Солнца. Таким образом, существование в истории нашей планеты такого геологической эпохи, как Величайшее Оледенение, косвенно подтверждает наличие миграции спутниковых тел к центральному телу, в соответствии с выражением (13), которое получено на основе уравнения (6).

Покажем, что представление о существовании гравитационного поля, которое описывается соотношением (29) не вступает в противоречие с наблюдениями в космологии.

Для изменения энергии фотона, движущегося в пространстве, формально можно записать

$$dE = -mgdr = -\frac{h\nu}{c^2} gdr, \quad (30)$$

где g – напряженность гравитационного поля, действующего на фотон, ν – частота фотона. Воспользовавшись известным соотношением для фотона $E = pc$, из уравнения (6) найдем мощность потерь энергии фотоном при его «покраснении»:

$$\frac{dE}{dt} = -HE. \quad (31)$$

Поскольку $E = hc / \lambda$, то после замены $dt = dr / c$ уравнение (31) преобразуется к другому виду [9]:

$$\lambda \frac{dE}{dr} = -hH. \quad (32)$$

Отсюда видно, что потери энергии E фотоном на длине волны λ составляют по кванту hH .

Из уравнений (30) и (32) находим, что на движущийся фотон действует гравитационное поле с напряженностью $g = -Hc$, т.е. имеет место частный случай соотношения

(29) при $v = c$. Это позволяет рассматривать космологическое красное смещение как гравитационное красное смещение частоты фотонов, что является новым взглядом на природу этого явления. В свою очередь, это дает возможность независимым способом вычислить наблюдающийся в космологии эффект замедления времени.

А. Эйнштейном теоретическим путем было установлено явление замедления хода времени в гравитационном поле. Действие гравитационного поля описывается выражением [16, с. 110]:

$$\tau_1 = \tau_2 \left(1 - \frac{\Delta\Phi}{c^2} \right), \quad (33)$$

где τ_1 и τ_2 – длина временных интервалов в двух системах отсчета, $\Delta\Phi$ – разность ньютоновских гравитационных потенциалов между двумя рассматриваемыми точками в этих системах отсчета. Эту взаимосвязь между временными интервалами Эйнштейн получил, анализируя распространение света в системе отсчета, движущейся с постоянным ускорением a . В конечной формуле при переходе к однородному гравитационному полю, в соответствии с принципом эквивалентности гравитационного поля и ускорения, была проведена замена: $a\Delta r = \Delta\Phi$, где Δr – расстояние пройденное светом. Выражение (33) имеет ограничение на его применимость вблизи массивных тел при значительной кривизне пространства. Оно вытекает из связи кинетической энергии падающей массы m с гравитационным потенциалом. Поскольку ньютоновский предел соответствует скоростям падения $v \ll c$, то отсюда принято ограничение на область применения соотношения (33): $\Delta\Phi / c^2 \ll 1$. По данным современных наблюдений Вселенная имеет плоскую евклидову геометрию, т.е. представляет собой пространство с нулевой кривизной [17]. Это практически необъяснимо в рамках теории расширяющейся Вселенной [18]. Наличие плоской геометрии пространства тождественно отсутствию крупномасштабного гравитационного поля, что возможно при ограниченном радиусе гравитационного взаимодействия. Рассматривая движение отдельных фотонов, мы будем исходить из того, что они движутся в плоском и нерасширяющемся пространстве, не накладывая при этом ограничения на расстояния.

Индукцированное гравитационное поле $g = -Hc$ приводит к тому, что для наблюдателя, регистрирующего фотон, все будет выглядеть так, как если бы фотон прошел через разность гравитационных потенциалов $\Delta\Phi = -Hc\Delta r$, где Δr – расстояние от наблюдателя до источника света. При этом

в соответствии с соотношением (33), временные интервалы τ_1 и τ_2 в точке приема и в точке испускания фотона будут связаны соотношением

$$\tau_1 = \tau_2 \left(1 + \frac{H\Delta r}{c} \right). \quad (34)$$

После подстановки в уравнение (5) $dt = dr / c$ получаем

$$dr = \frac{c}{H} \frac{d\lambda}{\lambda}. \quad (35)$$

Из этого уравнения $\Delta r \approx cz / H$ и соотношение (34) преобразуется к виду

$$\tau_1 = \tau_2 (1 + z). \quad (36)$$

Из формулы (36) для больших расстояний при $z = 1$ получаем $\tau_1 = 2\tau_2$, т.е. если продолжительность свечения близкого объекта составляет 20 суток, то при $z = 1$ продолжительность свечения такого же объекта будет равна 40 суток. Это подтверждается наблюдениями кривых яркости далеких сверхновых, которые увеличивают свою ширину $\sim (1 + z)$ [19]. В существующей космологической теории, использующей представление о расширении пространства, явление уширения кривых яркости объясняют тем, что за счет расширения пространства фотоны, испущенные в конце вспышки сверхновой, проходят гораздо больший путь, чем фотоны, испущенные в начале вспышки.

Для гравитационного красного смещения частоты фотонов в поле массивных тел справедлива известная формула [20]:

$$v = v_0 \left(1 + \frac{\Delta\Phi}{c^2} \right), \quad (37)$$

где v_0 – частота фотона в точке испускания. В нашем случае $\Delta\Phi = -Hc\Delta r$ – потенциалов индуцированного гравитационного поля. Поэтому космологическое красное смещение:

$$v = v_0 \left(1 - \frac{H\Delta r}{c} \right). \quad (38)$$

Поскольку $v = c/\lambda$, то нетрудно видеть, что из соотношения (38) следует формула (1) закона Хаббла, которую он получил эмпирическим путем для сравнительно небольших расстояний при $z \leq 0,004$.

Чтобы получить предполагаемый закон космологических расстояний для больших значений $z \gtrsim 0,1$, проинтегрируем уравнение (35), в результате получим [9]:

$$r = \frac{c}{H} \ln \frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{c}{H} \ln(1 + z). \quad (39)$$

PERLMUTTER ET AL.

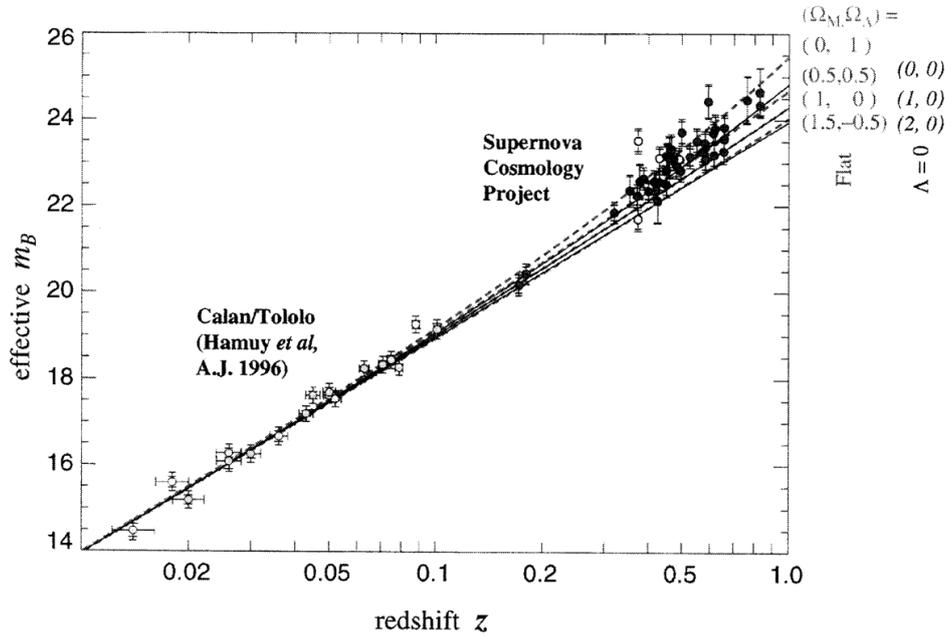


Рис. 2. Зависимость эффективной голубой видимой звездной величины m_B от красного смещения для 42 сверхновых типа Ia с большими красными смещениями, изученными исследовательской группой Supernova Cosmology Project. Данные по 18 сверхновым с меньшими красными смещениями взяты из обзора Calan-Tololo Supernovae Survey. Горизонтальными рисками обозначены погрешности z , обусловленные наличием хаотической скорости. Пунктирные и сплошные кривые отражают теоретические эффективные видимые светимости для двух видов космологических моделей

Поскольку для $z \lesssim 0,1$ имеет место известное соотношение $\ln(1+z) \approx z$, то из формулы (39) при небольших значениях z также следует закон Хаббла, который описывается выражением (1). Из соотношений (34) и (39) следует связь между двумя временными интервалами:

$$\tau_1 = \tau_2 [1 + \ln(1+z)]. \quad (40)$$

Так как энергия фотона $E = hc / \lambda$, то из выражений (39) можно найти, что при движении в пространстве энергия каждого фотона уменьшается $\sim 1/(1+z)$. Кроме того, в соответствии с формулой (36), длина временного интервала увеличивается $\sim (1+z)$ или, точнее, согласно выражению (40), $\sim [1 + \ln(1+z)]$. В первом случае регистрируемая болометрическая плотность потока излучения l от любого источника с мощностью излучения L :

$$l = \frac{L}{(1+z)^2 4\pi r^2} = \frac{L}{(1+z)^2 4\pi \left(\frac{c}{H} \ln(1+z)\right)^2}. \quad (41)$$

Это выражение похоже на то, которое получается, когда исходят из представления о расширении пространства [21]:

$$l = \frac{L}{(1+z)^2 4\pi r_1^2 a^2(t_0)}, \quad (42)$$

где r_1 – радиальная координата Земли при отсчете от светящегося объекта, $a(t_0)$ – безразмерный масштабный множитель, который зависит от параметров конкретной выбранной модели.

Считается, что сверхновые типа Ia хорошо подходят на роль стандартного источника света при проверке космологических теорий, так как характеризуются сравнительно небольшим разбросом пиковой мощности излучения и их абсолютная звездная величина в максимуме в среднем составляет $-19,2$ [21]. Исследовательская группа Supernova Cosmology Project сопоставила результаты наблюдений яркости сверхновых типа Ia с теоретическими значениями (рис. 2) [22]. Сравнения проводились для случая плоской Вселенной, когда между безразмерными параметрами

плотности вакуума Ω_Λ и плотности нерелятивистской материи Ω_M имеется связь $\Omega_\Lambda + \Omega_M = 1$. Из данных по сверхновым следует значение $\Omega_M = 0,28$ и, соответственно, $\Omega_\Lambda = 1 - \Omega_M = 0,72$. Известное соотношение [21]

$$q_0 = \frac{1}{2}(\Omega_M - 2\Omega_\Lambda + 2\Omega_H) \quad (43)$$

при плотности излучения $\Omega_H = 0$ приводит к отрицательному значению параметра замедления $q_0 = -0,58$, из чего был сделан вывод о том, что расширение Вселенной ускоряется.

Во второй строке табл. 2 приведены теоретические значения звездных величин m_{B1} , полученные автором на основе формулы (41) при $H = 1,8 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$. Величина $L = 2,16 \cdot 10^{36} \text{ Вт}$ была подобрана так, чтобы при $z = 0,01$ наблюдалось совпадение с кривыми на рис. 2. Данные в третьей строке (m_{B2}) соответствуют модификации выражения (41) для случая замедления времени $\sim [1 + \ln(1+z)]$. Данные из табл. 2 соответствуют кривым, проходящим через центральную часть облака точек для далеких сверхновых на рис. 2. Поэтому можно считать, что предложенное автором соотношение (41) хорошо соответствует наблюдениям в космологии. При этом не использовалось представление о расширении Вселенной при другом способе описания, основанном на применении уравнения (6).

Таблица 2

Теоретические значения звездных величин сверхновых при разных красных смещениях z

z	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0
m_{B1}	14,0	15,5	17,5	19,1	20,7	22,9	24,7
m_{B2}	14,0	15,5	17,5	19,1	20,7	22,8	24,5

Соотношение (6) позволяет вычислить и температуру космического микроволнового фона, открытого в 1965 г. А. Пензиасом и Р. Вилсоном [4]. Для этого постулируем Вселенную, средние свойства которой не меняются в пространстве и во времени. Такая Вселенная, в частности, должна «уметь» регенерировать запасы водорода, являющегося топливом для звезд. Если бы фотоны не уменьшали свой импульс и энергию в соответствии с уравнениями (6) и (31), то температура Вселенной постепенно поднялась бы до поверхностной температуры нормальных звезд $\approx 6000 \text{ К}$. Однако фотоны постепенно «краснеют» за счет действия индуцированного гравитационного поля $g = -Hc$ и устанавливается

более низкая равновесная температура. При этом физический вакуум выступает в роли своеобразного «холодильника», забирая энергию у фотонов. Световое излучение галактик в основном формируется за счет звезд, похожих на Солнце. Оно имеет мощность излучения $3,86 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$ при массе $M_\odot = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ кг}$, т.е. удельная мощность излучения $b = 1,94 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/кг}$. Если среднюю (равномерно распределенную по всему пространству) плотность светящегося вещества галактик обозначить как ρ_G , то мощность излучения выходящего из единицы объема Вселенной

$$\frac{dw}{dt} = b\rho_G. \quad (44)$$

Объемная плотность энергии фотонного газа $w = nE$, где n – концентрация фотонов. Для простоты можно принять, что все фотоны имеют одинаковую энергию, поскольку это не влияет на конечный результат. Тогда из уравнения (31) мощность уменьшения энергии излучения в единице объема

$$\frac{dw}{dt} = -Hw. \quad (45)$$

При равновесии должно иметь место равенство

$$b\rho_G = -Hw. \quad (46)$$

Из него находим объемную плотность энергии

$$w = \frac{b\rho_G}{H} = aT_0^4, \quad (47)$$

где $a = 7,5657 \cdot 10^{-16} \text{ Дж} / (\text{м}^3 \cdot \text{К}^4)$ – постоянная излучения. Отсюда получаем выражение для равновесной температуры Вселенной:

$$T_0 = \left(\frac{b\rho_G}{aH} \right)^{\frac{1}{4}}. \quad (48)$$

Средняя плотность светящегося вещества Вселенной по существующим оценкам составляет $10^{-28} - 10^{-27} \text{ кг/м}^3$ [4, с. 514], т.е. можно принять $\rho_G = 5 \cdot 10^{-28} \text{ кг/м}^3$. В результате из формулы (48) получаем равновесную температуру Вселенной $T_0 = 2,91 \text{ К}$, что близко к измеренному значению $2,73 \text{ К}$. Некоторое расхождение можно объяснить неточностью знания параметров ρ_G и H . По мнению автора, микроволновое фоновое излучение является следствием того, что Вселенная имеет температуру T_0 и потому излучает практически как абсолютно черное тело с такой температурой. В этом случае микроволновый фон не является реликтом горячей стадии Вселенной, которая,

как предполагается, образовалась в результате некоторого гипотетического события – Большого взрыва.

По-видимому, нельзя считать, что спектр микроволнового излучения является спектром звезд, испытавшим космологическое красное смещение. Известно, что излучение звезд, похожих на Солнце, в первом приближении является чернотельным. Можно оценить характерное расстояние, которое должен был бы преодолеть свет звезд для увеличения его длины волны до длины волны фотонов микроволнового фона. Пусть в выражении (39) $\lambda_0 = 589 \cdot 10^{-9}$ м, что приблизительно соответствует желтому цвету звезд. Из наблюдений следует, что средняя по спектру энергия квантов микроволнового фона $E = w/n = 1,02 \cdot 10^{-22}$ Дж. Это соответствует средней наблюдаемой длине волны $\lambda = hc/E = 1,95 \cdot 10^{-3}$ м. В результате из формулы (39) получаем $r = 1,35 \cdot 10^{27}$ м = 143 млрд св. лет. Это приблизительно в 15 раз превышает расстояния, доступные современным телескопам. Маловероятно, что при таких расстояниях Вселенная является прозрачной и свет звезд напрямую доходит до нас с таких больших расстояний. Источником микроволнового излучения, в частности, может быть пыль, присутствующая в небольших количествах в пространстве между галактиками и нагретая до температуры T_0 .

Из постоянного существования равновесия, определяемого соотношением (46), между энергией испущенной звездами и энергией поглощенной физическим вакуумом следует, что в межгалактической среде непрерывно образуется новый водород, компенсирующий его потери в ходе термоядерных реакций в звездах. Водородные облака в межгалактическом пространстве действительно существуют. Они обнаруживают себя по абсорбционным линиям поглощения. Это, так называемый Лайман-альфа лес (Ly_α – лес). Причиной появления Ly_α – леса являются облака нейтрального водорода, расположенные на пути распространения света от объектов, находящихся на космологически больших расстояниях. Линия Лайман-альфа водорода в лабораторных условиях имеет длину волны $\lambda = 1,216 \cdot 10^{-7}$ м ($\nu = 2,47 \cdot 10^{15}$ Гц), что соответствует ультрафиолетовой области спектра. Для облаков, находящихся на разных космологических расстояниях, эта линия имеет разное красное смещение z , что и приводит к появлению «леса» из линий поглощения. Для некоторых далеких источников света этот эффект бывает настолько сильным, что приводит к спаду регистрируемого излучения в соответствующем ин-

тервале частот (желоб Ганна – Петерсона (*Gunn – Peterson*)).

Можно предположить, что из энергии, полученной физическим вакуумом при взаимодействии с излучением, в соответствии с уравнением (31), впоследствии, в результате флуктуаций плотности энергии вакуума происходит рождение частиц, в частности, протонов и электронов, образующих затем водород. Согласно квантовой теории поля в физическом вакууме непрерывно происходят процессы рождения и уничтожения виртуальных квантов физических полей и виртуальных пар частиц, например, электронов и позитронов, а также протонов и антипротонов. Время жизни Δt виртуальной частицы с энергией ΔE определяется принципом неопределенности для энергии и равно $\hbar/\Delta E$. Для того чтобы виртуальные частицы превратились в реальные частицы, им нужно передать энергию больше или равную энергии покоя частицы m_0c^2 , где m_0 – масса покоя частицы [23]. Эту энергию они могут получить в области большой по амплитуде флуктуации плотности энергии физического вакуума и за счет флуктуаций кривизны пространства-времени. Считается, что при квантовых флуктуациях кривизны пространства-времени могут образовываться виртуальные черные дыры. Разрыв пары из частицы и античастицы и их превращение в реальные частицы может происходить вблизи горизонта событий виртуальной черной дыры. Одна из частиц падает в дыру, а другая улетает в бесконечность (процесс Хокинга). Таким образом, физический вакуум способен порождать частицы и античастицы. В 1964 г. в экспериментах с каонами впервые экспериментально обнаружено нарушение *CP*-симметрии (Джеймс Кронин и Вал Фитч). В силу существования этого явления смесь равных количеств вещества и антивещества должна аннигилировать не полностью. В результате останется небольшое количество обычного вещества. Нужно также отметить, что в областях флуктуаций происходит уменьшение энтропии [24, с. 198], в то время как процессы в звездах ведут к возрастанию энтропии. Возможно, что эти противоположно направленные изменения энтропии во Вселенной уравнивают друг друга.

Представление об одноактном образовании всего вещества Вселенной из одной «точки» лежит в основе известной теории Большого взрыва. В отличие от этого, автор статьи, в сущности, предполагает непрерывное образование некоторого количества частиц во множестве отдельных вакуумных точек. Таким образом, Большой взрыв заменяется большим количеством микроско-

пических «взрывов», которые происходили как в прошлом, так и продолжают происходить в настоящее время. При этом не происходит расширение пространства. Нужно отметить, что представление о расширении пространства в теории Большого взрыва порождает пока не решенную проблему космологической сингулярности. Предполагается, что в начальный момент Большого взрыва вся материя Вселенной была сосредоточена в «точке» и имела бесконечно большую плотность и бесконечно большую температуру. Однако выяснилось, что при бесконечно большой плотности мера хаоса (энтропия) стремится к нулю, что несовместимо с бесконечно большой температурой. Это создает одну из проблем в теории Большого взрыва.

Водород, образованный в физическом вакууме, впоследствии может идти на образование новых галактик, а также на пополнение запаса водорода в уже существующих галактиках. Группа астрономов из Института астрономии общества Макса Планка (нем. Das Max-Planck-Institut für Astronomie, MPIA) под руководством Мелиссы Несс (Melissa Ness) создала подробную карту распределения звезд в Галактике по их возрастам. На карте ближе к центру Галактики расположены старые звезды, а на периферии сосредоточены молодые звезды. Кроме того, исследования, проведенные с помощью рентгеновской обсерватории «Чандра», показали, что в центральной части Галактики находится большое скопление нейтронных звезд и, возможно, черных дыр. Этот «рой» из звезд, представленный более 10 тысячами рентгеновских источников, был образно назван «кладбищем» старых звезд, которые по неизвестным причинам мигрировали в центр Галактики [25]. По мнению автора статьи, эти факты можно объяснить тем, что одновременно с поступлением водорода идет процесс сжатия галактики. Так, из соотношения (13) следует, что за время $t = 1/2 H = 8,8$ млрд лет радиусы орбит звезд уменьшаются в $e \approx 2,72$ раз, т.е. вращающиеся галактики устроены по принципу конвейера. Приближаясь к центру крупной галактики, звезды постепенно стареют и в конечном итоге падают в находящуюся в ее центре сверхмассивную черную дыру. Подобные дыры уже обнаружены в центре многих галактик, в том числе и в центре нашей Галактики. Таким путем происходит уничтожение старых звезд, которые уже выработали свое термоядерное топливо. В те эпохи, когда поток падающих в дыру звезд становится особенно плотным, происходит наибольшее выделение энергии. По-видимому, это и порождает эффект квазара [10, 26]. Черные

дыры в центрах галактик иногда выбрасывают мощные релятивистские струи вещества (джеты) в двух диаметрально противоположных направлениях, предположительно, вдоль оси вращения дыры. Джеты состоят из протонов и электронов и тем самым они восполняют запасы водорода в межгалактической среде. Механизм ускорения и нагрева плазмы в джетах пока неизвестен. Неизвестно и то, откуда вырываются струи плазмы – из черной дыры или из пространства вблизи нее. Сами черные дыры, в соответствии с теорией Хокинга, постепенно испаряются, излучая преимущественно фотоны, а также частицы с массой покоя и их античастицы. Поэтому есть основания предполагать, что вещество и излучение, падающие в черную дыру, в конечном итоге оказываются в межгалактической среде.

Можно привести дополнительные доказательства того, что в потоке частиц материи действительно образуется гравитационное поле, в соответствии с соотношением (29). В частности, в потоке фотонов его напряженность должна быть равна $-Hc$. Фотонное излучение Солнца будет приводить к появлению в его окрестности дополнительного гравитационного поля с напряженностью $g = -Hc \approx 5,40 \cdot 10^{-10}$ м/с² (при $H = 1,8 \cdot 10^{-18}$ с⁻¹), направленного к Солнцу. Космические аппараты «Pioneer-10» и «Pioneer-11» с выключенными двигателями удаляются от Солнца и хорошо подходят на роль пробных масс при изучении малых гравитационных эффектов. Анализ радиосигналов, поступающих с этих аппаратов, при использовании эффекта Доплера позволил измерять их скорость с точностью около 0,1 мм/сек. Оказалось, что после учета всех малых влияний остается некоторый избыточный доплеровский сдвиг частот, который можно интерпретировать как наличие некоторого добавочного ускорения, направленного к Солнцу. Это ускорение для «Pioneer-10», по разным оценкам, составило $8,09 \cdot 10^{-10}$ м/с² и $8,85 \cdot 10^{-10}$ м/с², а в случае «Pioneer-11» $8,56 \cdot 10^{-10}$ м/с². Аналогично, для космических аппаратов «Ulysses» и «Galileo» были вычислены избыточные ускорения, соответственно, $12 \cdot 10^{-10}$ м/с² и $8 \cdot 10^{-10}$ м/с² [27]. В двух последних случаях на борту имелись работающие малые реактивные двигатели системы ориентации. Видно, что космические станции действительно испытывают дополнительное ускорение $\approx Hc$, направленное в сторону источника фотонов.

Фотонное излучение яркого ядра галактики также должно приводить к тому, что

в окрестности ядра будет генерироваться направленное радиально гравитационное поле $g = -Hc$. С учетом этого, для обращающихся вокруг ядра звезд можно записать условие равновесия на круговой орбите с радиусом r :

$$-\frac{v^2}{r} = Hc + \frac{GM}{r^2}, \quad (49)$$

где M – масса ядра, v – скорость движения звезды по орбите. Второе слагаемое, представляющее собой ньютоновскую составляющую ускорения $g_N \sim 1/r^2$, быстро спадает при удалении от ядра. Начиная с некоторого радиуса, имеем $g_N \ll Hc$, и обращение звезд уже происходит практически только под действием ускорения Hc с орбитальной скоростью

$$v \approx \sqrt{Hcr}. \quad (50)$$

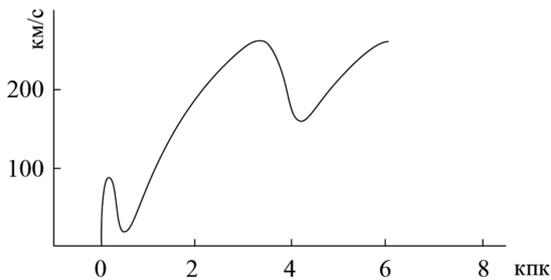


Рис. 3. Зависимость скорости обращения звезд в галактике NGC 7331 от радиуса их орбиты [28]

Это соотношение описывает неньютоновское «твердотельное» вращение крупных галактик, объяснение которому не было найдено. Проблема обозначилась в связи с тем, что орбитальная скорость звезд при их движении в гравитационном поле ядра галактики должна уменьшаться по закону $v \sim 1/\sqrt{r}$. Однако на практике наблюдается возрастание скорости звезд с ростом радиуса их орбиты. Можно показать, что ньютоновское гравитационное поле в средней части крупной галактики действительно может быть мало по сравнению с полем $g = -Hc$. Масса звезд в нашей Галактике равна около $2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ при ее радиусе 50000 св. лет, где $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30}$ кг – масса Солнца. При этом масса ядра (галактического центра) равна $10^{10} M_{\odot}$. При такой массе ядра и расстоянии от центра Галактики $r = 25000$ св. лет напряженность ньютоновского поля $g_N = 2,37 \cdot 10^{-11}$ м/с². Видно, что в данном случае $g_N \ll Hc$, поэтому орбитальная скорость звезд будет

описываться приближенно формулой (50) и более точно соотношением (49). Одного ньютоновского поля явно недостаточно для объяснения наблюдаемой в Галактике скорости звезд ≈ 240 км/с, которая приближенно оценена по скорости ближайших звезд относительно Солнца.

В подтверждение вышесказанному вычислим постоянную Хаббла, воспользовавшись следующей из соотношения (50) формулой $H \approx v^2 / cr$ и графиком измеренной орбитальной скорости звезд в галактике NGC 7331 (рис. 3) [28]. Это крупная спиральная галактика с ярким ядром, которую иногда называют близнецом нашей Галактики. На рис. 3 видно, что начиная с расстояния 0,55 кпк от центра ядра происходит плавный подъем орбитальной скорости звезд, который наблюдается до 3,3 кпк. Скорость обращения звезд в ядре, согласно графику на рис. 3, при $r = 0,2$ кпк равна 90 км/с, что соответствует массе ядра $M \approx 0,38 \cdot 10^9 M_{\odot}$. При использовании эффекта Доплера точность измерения скорости вращения галактики повышается с ростом скорости. Поэтому для вычислений целесообразно использовать «твердотельный» участок кривой вращения, соответствующий наибольшим радиусам орбит звезд. Из рис. 3 видно, что при $r = 2$ кпк и $r = 3$ кпк орбитальная скорость звезд в галактике равна, соответственно, 190 км/сек и 250 км/сек. Из формулы получаем два значения постоянной Хаббла $H = 1,95 \cdot 10^{-18}$ с⁻¹ и $H = 2,25 \cdot 10^{-18}$ с⁻¹. При учете массы ядра из соотношения (49) находим немного отличающиеся оценки $H = 1,99 \cdot 10^{-18}$ с⁻¹ и $H = 2,27 \cdot 10^{-18}$ с⁻¹. Мы видим, что в обоих случаях получаются приблизительно правильные величины постоянной H . Выражения (49) и (50) могут быть использованы для определения постоянной Хаббла в тех случаях, когда расстояние до галактики известно с хорошей точностью, например в результате применения метода цефеид, так как на практике измеряются угловые размеры орбит звезд. Кроме того, галактика должна быть достаточно разреженной, что позволяет пренебречь тяготением звезд за пределами ядра. Благодаря существованию в световом потоке гравитационного поля $g = -Hc$ галактика может более эффективно притягивать к себе водород из межгалактической среды.

Аномально высокую скорость звезд внутри и на периферии галактик при «твердотельном» вращении иногда объясняют существованием гипотетической невидимой («темной») материи, создающей дополнительное гравитационное поле. Суще-

ствование внутри и за пределами галактик гравитационного поля с напряженностью Hc может полностью или частично снять необходимость привлечения гипотезы о существовании темной материи, в том числе и в скоплениях галактик типа Комы. Если фотон пересекает пучок фотонов, то он должен отклоняться в сторону источника света. Вероятно, это также может создавать эффект присутствия темной материи при наблюдениях прохождения света вблизи светящихся объектов.

Заключение

Переход от изменяющейся длины дебройлевской волны физических объектов к их изменяющимся импульсам, в соответствии с уравнениями (5) и (6), применительно к геофизике, астрономии и космологии приводит к предсказанию новых эффектов, согласующихся с уже имеющимися наблюдениями.

Наблюдаемое ускорение «Пионеров» и «твердотельное» вращение галактик подтверждают реальное присутствие гравитационного поля $g = -Hv$ в потоке частиц, в данном случае фотонов. Существование данного поля вытекает из уравнения (6), поэтому наличие этих эффектов является дополнительным подтверждением правильности сделанных в статье выводов о том, что основная причина замедления вращения Земли и векового ускорения Луны и планет является результатом действия гравитационного поля, предсказанного соотношением (29). Предложенная теория дает объяснение полученному палеонтологами результату, согласно которому число суток в году в геологическом прошлом было существенно больше, чем в настоящее время (формула (28)). Из формулы (13) следует, что 2–2,3 млрд лет назад наша планета находилась на расстоянии, соответственно, 1,26–1,30 а.е. от Солнца. Это согласуется с выводами геологов о холодном климате в нижнем протерозое во время окончания Величайшего Оледенения. Вычисленное расстояние от Земли до Солнца в ту геологическую эпоху практически совпадает с имеющимися оценками верхней границы зоны обитания в Солнечной системе. Эта граница соответствует таким климатическим условиям на планете, когда вода переходит в жидкое состояние. Постепенное приближение Луны к Земле, в соответствии с формулой (13), подтверждается вычислением ее векового ускорения, согласующегося с данными наблюдений. Это может говорить о том, что Луна сформировалась не вблизи Земли, а была захвачена нашей планетой на эллиптическую орбиту, напри-

мер, после ее столкновения с достаточно крупным спутником Земли.

Полученные в работе результаты показывают, что более тщательные измерения потерь энергии в приливах, возможно, дадут дополнительные основания для пересмотра основной причины наблюдаемого замедления вращения Земли и векового ускорения Луны. Для этого необходимо спланировать и реализовать специальную программу исследований с использованием современных технологий.

Список литературы

1. Бронштэн В.А. Как движется Луна? М.: Наука, 1990. 208 с.
2. Мельхиор П. Физика и динамика планет. М.: Мир, 1976. Т. 2. 484 с.
3. Киселев В.М. Вращение Земли от архея до наших дней. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2015. 262 с.
4. Климишин И.А. Астрономия наших дней. М.: Наука, 1986. 560 с.
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Внегалактическая астрономия. М.: Наука, 1978. 480 с.
6. Odman C., Hobson M., Lasenby A., Melchiorri A. Cosmological parameter estimation with large scale structure and supernovae data. *Int. J. Mod. Phys.* 2004. D13. P. 1661–1668.
7. Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М.: Наука. 1984. 384 с.
8. Коэн-Таннуджи К., Диу Б., Лалоз Ф. Квантовая механика. М.: Ленанд, 2015. Т. 1. 976 с.
9. Рыбкин В.В. О новых свойствах гравитационных масс и физического вакуума. М.: ВИНТИ, № 4458-В89. деп. 1989. 117 с.
10. Рыбкин В.В. Что замедляет вращение Земли? М.: ВИНТИ, № 414-В93. деп. 1993. 25 с.
11. Абалакин В.К., Коложа Ю.Ф., Тихонов В.Ф. Как нашли точное место планетам // Наука и жизнь. 1982. № 10. С. 31.
12. Кислик М.Д. Создание единой релятивистской теории движения внутренних планет Солнечной системы // Научное сообщение в Президиуме Академии наук СССР. 1982. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ras.ru/FStorage/download.aspx?id=bad710bb-4487-4df2> (дата обращения: 23.10.2019).
13. Кислик М.Д., Коложа Ю.Ф., Котельников В.А., Петров Г.М., Тихонов В.Ф. Единая релятивистская теория движения внутренних планет Солнечной системы. Релятивистские эффекты при определении орбит планет по радиолокационным наблюдениям // УФН. 1981. Т. 134. Вып. 1. С. 165–166.
14. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. Фрязино: Век 2, 2011. 576 с.
15. Монин А.С. Популярная история Земли. М.: Наука, 1980. 224 с.
16. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. М.: Наука, 1965. Т. 1. 702 с.
17. Komatsu E., Bennett C., Barnes C. et al. Results from the Wilkinson Microwave Anisotropy Probe/ Progress of Theoretical and Experimental Physics. Vol. 2014. Issue 6. June 2014. 06B102 [Electronic resource]. URL: <https://doi.org/10.1093/ptep/ptu083> (date accessed: 17.10.2019).
18. Измерения космологической кривизны пространства-времени. Критическая плотность. Проблема плоскостности. 2013. [Электронный ресурс]. URL: <http://novmysl.ru/GeneralRelativity/CosmCurvature.html> (дата обращения: 24.10.2019).

19. Goldhaber G. et al. Timescale Stretch Parameterization of Type Ia Supernova B-band Light Curves. *The Astrophysical Journal*. 2001. vol. 558. P. 359–368.
20. Зельдович Я.Б., Блииников С.И., Шакура Н.И. Физические основы строения и эволюции звезд. М.: Изд. МГУ. 1981. 150 с. [Электронный ресурс]. URL: www.astronet.ru/db/msg/1169513/index.html (дата обращения: 21.10.2019).
21. Вайнберг С. Космология. М.: УРСС, Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 605 с.
22. Perlmutter S, Aldering G., Goldhaber G. et al. Measurements of Ω and Λ from 42 high-redshift supernovae. *The Astrophysical Journal*. 1999. vol. 517. P. 565–586.
23. Вайнберг С. Квантовая теория поля. Общая теория. М.: Издательство физико-математической литературы, 2015. 648 с.
24. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики. Киев: Наукова думка, 1989. 434 с.
25. Вселенная, пространство, время. 2005. № 12. С. 14.
26. Zhou H., Shi X., Yuan W. et al. Fast inflows as the adjacent fuel of supermassive black hole accretion disks in quasars. *Nature*. 2019 Sep., vol. 573 (7772). P. 83–86. DOI: 10.1038/s41586-019-1510-y. Epub 2019 Sep 4.
27. Anderson J.D., Laing Ph.A., Lau E.L., Liu A.S., Nieto M.M., Turyshev S.G. Indication, from Pioneer 10/11, Galileo, and Ulysses data, of an apparent anomalous, weak, long-range acceleration. *Phys. Rev. Lett.* 1998. vol. 81. P. 2858–2861.
28. Афанасьев В.Л., Буренков А.Н., Засов А.В., Сильченко О.К. Вращение внутренних областей спиральных галактик // *Астрофизика*. 1988. Т. 29. Вып. 1. С. 155–166.

УДК 543.631:615

ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОДЕИНА ДЛЯ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТАХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ МЕТОДАМИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И СПЕКТРОМЕТРИИ ДИФФУЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ

¹Немихин В.В., ²Качин С.В., ^{1,3}Кутяков В.А., ²Сагалаков С.А.

¹КГБУЗ «Красноярское краевое бюро судебно-медицинской экспертизы», Красноярск;

²ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: kachin.s@yandex.ru;

³Красноярский государственный медицинский университет имени профессора
В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск

Представлен обзор результатов исследований спектроскопических свойств кодеина в растворах и твердой фазе, а также разработанных методик его определения в лекарственных препаратах и биологических объектах методами люминесценции и спектрометрии диффузного отражения. Свечение кодеина зафиксировано в водных растворах 0,05 М H₂SO₄ при длинах волн возбуждения ($\lambda_{\text{возб}}$) и люминесценции ($\lambda_{\text{люм}}$) 300 и 345 нм соответственно. В данных условиях возможно определение микрограммовых содержаний кодеина по его собственной люминесценции с пределом обнаружения 3 мг/дм³. В водных растворах при pH = 6–8 кодеин образует ионный ассоциат с эозином, который экстрагируется толуолом и интенсивно флуоресцирует при $\lambda_{\text{возб}} = 520$ нм; $\lambda_{\text{люм}} = 550$ нм. По флуоресценции экстракта ионного ассоциата возможно определение наногаммовых содержаний кодеина с пределом обнаружения 0,4 мкг/дм³. В твердой фазе кодеин образует окрашенный ионный ассоциат с реактивом Драгендорфа с максимальным значением коэффициента диффузного отражения при $\lambda = 520$ нм. Это дает возможность определять кодеин на поверхности сорбентов с пределом обнаружения 9 мг/дм³. Рассмотрены схемы пробоподготовки исследуемых объектов. В пробоподготовке лекарственных препаратов и внутренних органов человека (печень, стенка желудка) использован метод тонкослойной хроматографии. В пробоподготовке мочи человека использована процедура экстракции. Приводятся характеристики методик определения кодеина. Методики определения кодеина в лекарственных препаратах (40–1200 мг/дм³), во внутренних органах человека (0,01–0,75 мг/г) по его собственной люминесценции с предварительным ТСХ-разделением компонентов, элюированием зоны кодеина в раствор и последующим измерением интенсивности свечения. Методика определения (50–1200 мг/дм³) кодеина в лекарственных препаратах с предварительным ТСХ-разделением компонентов, получением ионного ассоциата кодеина с реактивом Драгендорфа и последующим измерением его коэффициента диффузного отражения. Методика определения (30–320 мкг/дм³) кодеина в моче человека с предварительной экстракцией и последующим измерением интенсивности флуоресценции экстракта ионного ассоциата кодеина с эозином.

Ключевые слова: кодеин, определение, люминесценция, спектрометрия диффузного отражения

STUDIES OF THE SPECTROSCOPIC PROPERTIES OF CODEINE FOR ITS DETERMINATION IN DRUGS AND BIOLOGICAL OBJECTS BY METHODS OF LUMINESCENCE AND DIFFUSE REFLECTION

¹Nemikhin V.V., ²Kachin S.V., ^{1,3}Kutyakov V.A., ²Sagalakov S.A.

¹Krasnoyarsk Regional Bureau of Forensic Medical Examination, Krasnoyarsk;

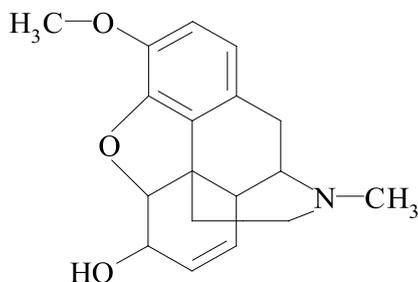
²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: kachin.s@yandex.ru;

³Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk

An overview of the results of studies of the spectroscopic properties of codeine in solutions and solid phase, as well as developed methods for its determination in drugs and biological objects by luminescence and diffuse reflection spectrometry was presented. Codeine luminescence was recorded in aqueous solutions of 0.05 M H₂SO₄ at excitation wavelengths (λ_{exc}) and luminescence wavelengths (λ_{lum}) of 300 and 345 nm, respectively. Under these conditions, it is possible to determine the microgram quantities of codeine by its own luminescence with a detection limit of 3 mg/dm³. In aqueous solutions at pH = 6–8 codeine forms an ionic associate with eosin, which is extracted by toluene and fluoresces intensely at $\lambda_{\text{exc}} = 520$ nm; $\lambda_{\text{lum}} = 550$ nm. The fluorescence of the ion-associate extract can be used to determine the nanogram quantities of codeine with a detection limit of 0.4 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. In the solid phase, codeine forms a colored ionic associate with the Dragendorf reagent with a maximum diffuse reflection coefficient at $\lambda = 520$ nm. This makes it possible to determine the codeine on the surface of sorbents with a detection limit of 9 mg/dm³. The schemes of sample preparation of the studied objects were considered. The method of thin-layer chromatography was used in the sample preparation of drugs and human internal organs (liver, stomach wall). In the sample preparation of human urine, an extraction procedure was used. The characteristics of codeine determination procedures were given. The procedures for determining of codeine in drugs (40–1200 mg/dm³), in the internal organs of human (0.01–0.75 mg/g) by its own luminescence with preliminary TLC-separation of components, elution of the codeine zone into solution and subsequent measurement of luminescence intensity. The procedure of determination (50–1200 mg/dm³) of codeine in drugs with preliminary TLC-separation of components, obtaining an ion associate of codeine with Dragendorf reagent and subsequent measurement of its diffuse reflection coefficient. The procedure of determination (30–320 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) of codeine in human urine with preliminary extraction and subsequent measurement of fluorescence intensity of codeine ion associate extract with eosin.

Keywords: codeine, determination, luminescence, diffuse reflection spectrometry

Кодеин – 3-метилморфин, алкалоид опия (рисунок), обладает умеренной анальгетической активностью, в связи с чем препараты на его основе используются при лечении болевого синдрома в сочетании с ненаркотическими анальгетиками, а также для успокоения кашля [1, 2].



Структурная формула кодеина

Однако при длительном использовании кодеин может вызывать физическую зависимость, поэтому отпуск соответствующих кодеинсодержащих препаратов в аптечной сети и контроль их качества регламентируются [3, 4].

В основном кодеин определяют при проверке подлинности лекарственных препаратов, дифференцировании приема лекарственного средства кодеина от немедицинского употребления опиатов, а также в процессе соответствующих судебно-химических исследований при подозрении отравления препаратами опиоидной группы. С этой целью, как правило, используются хроматографические методы с различными типами детекторов [5]. К их недостаткам следует отнести применение сложного, дорогостоящего оборудования и в ряде случаев необходимость получения дериватов кодеина при его определении в биологических объектах [6].

Методы молекулярной спектрометрии, в частности люминесценции и спектрометрии диффузного отражения, характеризующиеся относительно высокой чувствительностью, экспрессностью и простотой аппаратного оформления, существенно расширяют возможности определения кодеина в различных объектах [7]. Однако до настоящего времени они практически не использовались в связи с отсутствием соответствующих исследований.

Цель исследования: сравнительный научный обзор работ с результатами исследований спектроскопических свойств кодеина в жидкой и твердой фазах, способов пробоподготовки, а также методиками его определения в лекарственных препаратах и биологических объектах методами лю-

минесценции и спектрометрии диффузного отражения.

Результаты исследования и их обсуждение

Люминесценция кодеина в водных растворах. Молекула кодеина содержит гетероатом азота с неподеленной парой электронов (рисунок). В спектре поглощения присутствует полоса $n \rightarrow \pi^*$ электронного перехода $^c \lambda_{\text{макс}} = 285 \text{ нм}$ и ϵ порядка $n \cdot 10^2$ [8]. Соединения с подобными электронными структурами слабо или вовсе не флуоресцируют [7]. Активация флуоресценции в ряде случаев достигается протонизацией атома азота. В результате становятся возможными $\pi \rightarrow \pi^*$ электронные переходы, обуславливающие люминесценцию (флуоресценцию) растворов. В соответствии с молекулярной структурой кодеин является весьма сильным третичным основанием, содержащим $=\text{NCH}_3$ группу с $\text{pK}_a = 8,2$ [5]. Таким образом, в нейтральных и кислых водных растворах в результате протонизации атома азота формой нахождения кодеина является положительно заряженный ион. В работе [9] для активации свечения кодеина использован 0,05 М раствор H_2SO_4 при $\lambda_{\text{возб}}$ и $\lambda_{\text{люм}}$ 300 и 345 нм соответственно. Относительный квантовый выход люминесценции кодеина ($\phi_{\text{кв}}$) составил 0,01. В данных условиях по собственной люминесценции возможно определение микрограммовых содержаний кодеина с пределом обнаружения 3 мг/дм³.

Для повышения чувствительности люминесцентных измерений кодеина использована способность его положительно заряженного иона образовывать ионные ассоциаты с отрицательно заряженными противоионами с высокими квантовыми выходами свечения. В [10] в качестве противоиона использован эозин ($\phi_{\text{кв}} = 0,23$) – галонопроизводное флуоресцеина. В диапазоне рН 6–9 эозин находится в виде двукратно ионизированного аниона и образует флуоресцирующий ионный ассоциат с положительно заряженным ионом кодеина, который экстрагируется рядом органических растворителей. Максимальная интенсивность свечения достигается при экстракции ионного ассоциата кодеина с эозином толуолом ($\lambda_{\text{возб}} = 520 \text{ нм}$; $\lambda_{\text{люм}} = 550 \text{ нм}$). По флуоресценции экстракта возможно определение нанограммовых содержаний кодеина с пределом обнаружения 0,4 мкг/дм³. Аналогичные экстракционно-фотометрические измерения с использованием ионных ассоциатов кодеина с рядом красителей также обеспечивают определения его содержания на уровне $n \text{ мг/дм}^3$ [8].

Твердофазная спектрометрия кодеина. Тонкослойная хроматография (ТСХ) – один из скрининговых методов идентификации и последующего определения кодеина [5]. После ТСХ-разделения сопутствующих компонентов хроматографическую зону кодеина проявляют различными окрашивающими реагентами, в частности реактивом Драгендорфа (тетрайодовисмутат калия $K[ViI_4]$) [8]. При этом образуется поверхностный ионный ассоциат кодеина с реактивом Драгендорфа с характерной для него оранжевой окраской. В работе [11] получен спектр диффузного отражения ионного ассоциата кодеина с реактивом Драгендорфа в координатах функции Гуревича – Кубелки – Мунка $F(R) = [(1 - R)^2/2R]$ – длина волны (нм). Найдены условия определения кодеина на поверхности ТСХ-пластинки путем измерения коэффициента диффузного отражения (R) образующегося ионного ассоциата при $\lambda = 520$ нм с пределом обнаружения 9 мг/дм^3 .

Пробоподготовка объектов исследования. В соответствии со спецификой методов люминесценции и спектрометрии диффузного отражения оптимальными являются способы пробоподготовки, адаптированные к стадии измерения аналитического сигнала.

Кодеинсодержащие лекарственные препараты представляют собой, как правило, многокомпонентные смеси веществ с различными физико-химическими свойствами. Так, кроме кодеина основными компонентами препаратов выступают парацетамол, пропифеназон, метамизол натрия, кофеин, напроксен, фенобарбитал и др. В способе пробоподготовки [12] применительно к веществам опиной группы на первой стадии экстракцией разделяют соединения кислотного и основного характера. Полученные «щелочные экстракты», содержащие кодеин, парацетамол, пропифеназон, кофеин и продукты разложения анальгина, на второй стадии подвергают ТСХ-процедуре. При этом значения R_f составляют для кодеина (0,23), парацетамола (0,71), анальгина (0,65), кофеина (0,66), пропифеназона (0,60).

Согласно действующему нормативному акту [13] в летальном случае при подозрении на отравление человека ядовитым веществом для судебно-химического исследования необходимо направлять печень и стенку желудка. Известно [8], что большинство действующих компонентов лекарств, в том числе кодеин образуют в органах человека комплексы с белками, прежде всего с альбумином. Таким образом, выделение кодеина из органов человека предполагает разрушение этих комплексов. Для этой цели чаще

всего используется метод А.А. Васильевой [14], основанный на выделении кодеина из его комплексов с белками подкисленной водой. Основным мешающим компонентом при определении кодеина в данном случае является морфин. Его влияние устраняют специально подобранной хроматографической системой растворителей (ацетон: хлороформ: 25%-ный раствор аммиака при объемном соотношении компонентов 24: 12: 1). При этом значения R_f кодеина и морфина при последующем ТСХ-разделении составляют 0,23 и 0,09 соответственно.

В большинстве методик скрининга наркотических и лекарственных веществ в биологических жидкостях человека в качестве объекта исследования используется моча. Кроме того, что имеются достаточные объемы доступных для исследования проб, в моче многие вещества, выводятся почками, могут обнаруживаться более длительное время, чем, например, в крови. Присутствующий в организме человека кодеин образует в моче конъюгаты, поэтому первичный этап пробоподготовки – гидролиз этих соединений. Для последующего выделения кодеина из гидролизатов используют процедуру экстракции [15]. В данном случае морфин также является основным мешающим компонентом. Для разделения морфина и кодеина используется свойство последнего экстрагироваться из слабощелочных водных растворов диэтиловым эфиром [8]. При этом морфин образует морфинат и остается в водной фазе.

Определения кодеина в лекарственных препаратах. В работе [10] описана методика определения кодеина в некоторых кодеинсодержащих препаратах (Пенталгин Н, Пенталгин Плюс, Седалгин Нео) с предварительным ТСХ-разделением сопутствующих компонентов по его собственной люминесценции в растворах при $\lambda = 345$ нм. В пробоподготовке исходных образцов использованы рекомендации [12]. Основные метрологические характеристики методики: линейный диапазон определяемых содержаний кодеина – $40\text{--}1200 \text{ мг/дм}^3$, предел обнаружения – 7 мг/дм^3 , S_f не превышает 0,06.

Значительный выигрыш в экспрессности измерений достигнут при определении кодеина в лекарственных препаратах методом спектроскопии диффузного отражения [11]. После ТСХ-разделения сопутствующих компонентов получают поверхностный ионный ассоциат кодеина с реактивом Драгендорфа и измеряют его коэффициент диффузного отражения при $\lambda = 520$ нм. Градуировочный график зависимости функции ΔF от концентрации кодеина линеен в диапазоне $50\text{--}1200 \text{ мг/дм}^3$.

Рассчитанный предел обнаружения составил 15 мг/дм^3 , а S_r не более 0,05.

Определения кодеина в органах человека. В работе [16] описана методика определения кодеина в биоматериале человека (печень, стенка желудка) по его собственной люминесценции в растворах. Исходные образцы предоставлены экспертами Отдела судебно-медицинской экспертизы трупов КГБУЗ «Красноярское краевое бюро судебно-медицинской экспертизы» при реальном отравлении кодеинсодержащими препаратами. В качестве независимого метода исследования использован метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с ультрафиолетовым детектором. Методика позволяет определять $10\text{--}750 \text{ мкг/г}$ кодеина с пределом обнаружения $\sim 3 \text{ мкг/г}$, S_r не превышает 0,07.

Определение кодеина в моче человека. Концентрации кодеина в моче человека, подтверждающие его наличие в случаях немедицинского употребления, составляют порядка $n \cdot 10^2 \text{ мкг/дм}^3$. Для его определения использовано свойство толуольного экстракта ионного ассоциата кодеина с эозином интенсивно флуоресцировать при $\lambda = 550 \text{ нм}$ [10]. Для апробации методики взяты образцы мочи потребителей опиатов. Для оценки правильности полученных результатов привлечен метод газовой хроматографии (ГХ) с масс-селективным детектором. Подтверждено определение $30\text{--}320 \text{ мкг/дм}^3$ кодеина с пределом обнаружения 6 мкг/дм^3 и S_r не более 0,06.

Заключение

Приведен научный обзор работ с результатами исследований спектроскопических свойств кодеина в жидкой и твердой фазах, способов пробоподготовки, а также методик его определения в лекарственных препаратах и биологических объектах методами люминесценции и спектрометрии диффузного отражения.

В Государственном реестре лекарственных средств кодеинсодержащие препараты отечественных и зарубежных производителей занимают весьма внушительное место [17]. Методики определения кодеина в лекарственных препаратах (в основном ВЭЖХ) хорошо отработаны и включены в известные фармакопеи [18]. Концентрационные диапазоны ВЭЖХ-определений кодеина в данных объектах составляют порядка $n \cdot 10^1 \text{--} n \cdot 10^2 \text{ мкг/дм}^3$ [19]. Однако зачастую в ВЭЖХ-методиках необходимо применение в качестве подвижных фаз токсичных растворителей: метанола и ацетонитрила. В экстракционно-фотометрических методиках определения $n \cdot \text{мг/дм}^3$ кодеина в виде

его ионных ассоциатов с рядом красителей для экстракции последних используют хлороформ [8]. В разработанных авторами [9, 11] методиках определения кодеина в лекарственных препаратах по его собственной люминесценции в растворах и диффузному отражению ионного ассоциата с реактивом Драгендорфа в твердой фазе не используются токсичные органические растворители, а селективность определений обеспечивается на стадии пробоподготовки.

При определении кодеина во внутренних органах человека также в основном используются методы ВЭЖХ и ГХ [20]. Содержания кодеина в образцах печени и стенки желудка при подтверждении диагноза отравления составляют порядка $n \cdot 10^1 \text{--} n \cdot 10^2 \text{ мкг/г}$. Соответствующие ВЭЖХ- и ГХ-методики обеспечивают определения до $n \cdot 10^{-1} \text{--} n \cdot 10^{-2} \text{ мкг/г}$ кодеина. Люминесцентная методика определения $10\text{--}750 \text{ мкг/г}$ кодеина [16] с учетом экономичности и относительной простоты инструментария в данном случае может рассматриваться в качестве дополнительной при определенных условиях.

При определении кодеина в биологических жидкостях человека (кровь, моча) в рамках серийных анализов наиболее эффективным методом является хромато-масс-спектрометрия (ГХ-МС). Достижимые содержания кодеина составляют $n \cdot 10 \text{ мкг/дм}^3$. Вместе с тем в анализе образцов с низкими содержаниями кодеина на стадии пробоподготовки часто требуются проведение реакций ацилирования или силилирования для получения соответствующих дериватов с применением весьма токсичных реагентов. В этой связи методика [10] также может представлять практический интерес, например, при проведении разовых анализов.

В целом описанные в работах [9–11, 16] методики определения кодеина в биофармабъектах методами люминесценции и спектрометрии диффузного отражения могут быть использованы при решении научных и учебных задач в НИИ, вузах, а после необходимой валидации – в контрольно-аналитических лабораториях соответствующего профиля.

Список литературы

1. Машковский М.Д. Лекарственные средства. М.: Новая волна, 2014. 1216 с.
2. 20th WHO model list of essential medicines. World Health Organization, 2017. 58 p.
3. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 17 мая 2012 г. № 562н «Об утверждении Порядка отпуска физическим лицам лекарственных препаратов для медицинского применения, содержащих кроме малых количеств наркотических средств, психотропных веществ и их прекурсоров другие фармакологические ак-

- тивные вещества» [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/70184474> (дата обращения 27.10.2019).
4. Постановление Правительства РФ от 30 июня 1998 г. № 681 «Об утверждении перечня наркотических средств, психотропных веществ и их прекурсоров, подлежащих контролю в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/77663526> (дата обращения 27.10.2019).
5. Moffat A.C., Osselton M.D., Widdop B. Clarke's analysis of drugs and poisons in pharmaceuticals, body fluids and postmortem material. London: Pharmaceutical Press, 2011. 2473 p.
6. Vitha M.F. Chromatography: principles and instrumentation. Hoboken: Wiley, 2017. 280 p.
7. Беккер Ю. Спектроскопия. М.: Техносфера, 2009. 528 с.
8. Крамаренко В.Ф. Токсикологическая химия. Киев: Вища школа, 1989. 447 с.
9. Немихин В.В., Качин С.В., Шахворостова Т.С. Изучение спектролюминесцентных свойств кодеина с целью его определения в некоторых лекарственных препаратах // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2012. Т. 5. № 3. С. 289–295.
10. Метелица С.И., Киреева Е.В., Немихин В.В., Качин С.В., Лосев В.Н., Сагалаков С.А. Экстракционно-флуориметрическое определение кодеина в моче человека // Аналитика и контроль. 2017. Т. 21. № 4. С. 315–321. DOI: 10.15826/analitika.2017.21.4.006.
11. Немихин В.В., Качин С.В., Метелица С.И., Лосев В.Н., Сагалаков С.А., Шахворостова Т.С. Определение кодеина в лекарственных препаратах методом спектроскопии диффузного отражения // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2016. Т. 82. № 2. С. 20–23.
12. Бушуев Е.С., Бабаханян Р.В., Куклин В.В. Современные проблемы химико-токсикологического анализа наркотических средств и психотропных веществ. СПб.: НИИХ СПбГУ, 2003. 127 с.
13. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 12 мая 2010 г. № 346н «Об утверждении Порядка организации и производства судебно-медицинских экспертиз в государственных судебно-экспертных учреждениях Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://garant.ru/products/ipo/prime/doc/12077987> (дата обращения: 27.10.2019).
14. Раменская Г.В., Родионова Г.М., Кузнецова Н.И., Петухов А.Е. ТСХ-скрининг токсикологически значимых соединений, изолируемых экстракцией и сорбцией. М.: ГЕОТАР-Медиа, 2010. 240 с.
15. Мелентьев А.Б. Практическое руководство по скринингу лекарственных, наркотических веществ и их метаболитов методом газовой хроматографии с масс-селективным детектором для целей судебной токсикологии. Челябинск, 2001. Ч. 1. 62 с.
16. Немихин В.В., Качин С.В., Сагалаков С.А., Шахворостова Т.С. Люминесцентное определение кодеина в органах человека // Фундаментальные исследования. 2013. № 1. С. 483–486.
17. Государственный реестр лекарственных средств (по состоянию на 2 октября 2019 года) [Электронный ресурс]. URL: [document/cons_doc_LAW_119873/](http://document.cons_doc_LAW_119873/) (дата обращения 27.10.2019).
18. European Pharmacopoeia. 8th edition. Strasbourg: European Directorate for the Quality of Medicines & Health Care, 2013. 3655 p.
19. Maslarska V., Tencheva J. Simultaneous determination and validation of paracetamol and codeine phosphate in pharmaceutical preparation by RP-HPLC. Int. J. Pharmacy and Pharmaceutical Sci. 2013. vol. 5. no. 2. P. 417–419.
20. Барсегян С.С., Пурвина Е.А., Саломатин Е.М., Свиридова Т.А., Федорова Т.Н. Определение морфина и кодеина при судебно-химических исследованиях с применением одноквадрупольного масс-селективного детектора, сопряженного с ВЭЖХ-системой // Судебно-медицинская экспертиза. 2012. № 6. С. 33–37.

СТАТЬИ

УДК 338.43(470.21)

**АГРАРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ
СЕВЕРНОГО РЕГИОНА**

Марецкая В.Н., Марецкая А.Ю.

Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр» Российской академии наук, Апатиты, e-mail: maretskaya@iep.kolasc.net.ru, anna_maretskaya@mail.ru

Актуальность рассмотрения современного состояния сельскохозяйственного производства северного региона на примере Мурманской области обусловлена тем, что за последние годы произошло значительное сокращение количества сельскохозяйственных предприятий и организаций и, как следствие, сокращение производства. Ведение сельскохозяйственного производства в условиях Севера связано с большими затратами, следовательно, более дорогая продукция, которая производится в северном регионе, не способна конкурировать с аналогичной продукцией из других регионов. Производимые продукты питания местных сельхозпроизводителей можно отнести к стратегическим товарам, поскольку они удовлетворяют потребности в полноценном, сбалансированном питании, обеспечивая нормальную жизнедеятельность и определяя уровень продовольственного обеспечения проживающего на Севере населения. На основе обобщения опыта ученых и специалистов, исследующих социально-экономическое развитие сельских территорий, развитие сельского хозяйства, в статье были выявлены особенности аграрного производства в условиях Севера. Кроме того, в статье определены факторы, определяющие необходимость развития сельскохозяйственного производства в северном регионе. Рассмотрены основные показатели сельскохозяйственного производства на сельских территориях Мурманской области. В результате проведенного исследования были определены основные направления дальнейшего развития сельскохозяйственных отраслей с учетом региональной специфики.

Ключевые слова: северный регион, аграрное производство, муниципальные районы, сельские территории

AGRICULTURAL PRODUCTION OF THE NORTHERN REGION RURAL AREAS

Maretskaya V.N., Maretskaya A.Yu.

Luzin Institute for Economic Studies-Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», Apatity, e-mail: maretskaya@iep.kolasc.net.ru, anna_maretskaya@mail.ru

The relevance of considering the current state of the Northern region agricultural production on the example of the Murmansk region is due to the fact, that there has been a significant reduction in the number of agricultural enterprises in recent years and, as a consequence, a reduction in production. Agricultural production in the North is costly, and the more expensive products produced in the North are not able to compete with similar products from other regions. The food produced by local agricultural producers can be classified as strategic goods, as they provide livelihoods and determine the level of food security of the population living in the North. On the basis of generalization of experience of scientists and experts studying social and economic development of rural territories, development of agriculture, features of agrarian production in the conditions of the North are revealed in article. The factors determining the need for the development of the Northern region agricultural production are identified. The main indicators of agricultural production in rural areas of the Murmansk region are considered. As a result of the conducted research the main directions of further development of agricultural branches taking into account regional specifics are defined.

Keywords: Northern region, agricultural production, municipal areas, rural areas

Регионы Севера обладают значительным природно-ресурсным и производственным потенциалом для развития отраслей агропромышленного комплекса и сельскохозяйственного производства, имеющего стратегическое значение для обеспечения населения продовольствием и социально-экономического развития сельских территорий. Численность населения Российской Федерации, проживающего в зоне Севера, составляет 6,8%. Доля площади сельхозугодий – 2,5%, поголовье крупного рогатого скота насчитывает 4,5%. На северных и арктических территориях выращивается

около 2/3 мировой численности домашних оленей (1605 тыс. голов).

Цель исследования: определение влияния аграрного производства на развитие сельских территорий северного региона.

Материалы и методы исследования включают обобщенный опыт ученых, специализирующихся на северной специфике развития сельского хозяйства, социально-экономическом развитии сельских территорий, отраженный в научных трудах А.И. Алтухова, В.А. Иванова, В.Н. Лаженцева и др. [1–3]. По мнению В.А. Иванова, «объективные предпосылки развития

аграрного сектора Российского Севера обусловлены обеспечением проживающего здесь населения свежими биологически полноценными продуктами питания, решением социальных проблем коренных жителей, устойчивым развитием сельских территорий, обеспечением продовольственного суверенитета страны» [3]. В информационной базе исследования использованы статистические данные Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации и территориального органа статистической службы по Мурманской области. В работе использованы общенаучные методы исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализируя сельскохозяйственное производство сельских территорий Мурманской области, относящейся к Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ), необходимо отметить следующие особенности аграрного производства:

1. Сельское хозяйство специализируется на производстве продукции традиционных отраслей, а также малотранспортабельной и скоропортящейся продукции.

2. Холодные климатические условия (короткий вегетационный период, высокая влажность воздуха, значительное количество осадков, холодность, круглогодичные заморозки), которые являются неблагоприятными для развития отрасли растениеводства, а также негативным образом сказывающиеся на качественном составе почв.

3. Высокая себестоимость сельскохозяйственной продукции, производимой на северных территориях, из-за повышенных энергозатрат на сельскохозяйственное производство, что делает ее неконкурентоспособной по ценовому фактору с аналогичной продукцией из других регионов.

4. Слабое хозяйственное освоение сельских территорий, низкий уровень распаханности, невысокая степень вовлеченности земельных ресурсов в производственную деятельность, низкая плотность населения.

5. Трудности со сбытом произведенной продукции, ввиду низкой транспортной обеспеченности и неразвитости инфраструктуры сельских территорий и, как следствие, низкая эффективность вложений в сельское хозяйство, деградация сельских поселений.

6. В силу отраслевых особенностей сельского хозяйства его развитие невозможно без существенной поддержки государства [4].

Необходимость развития сельскохозяйственного производства северного региона обусловлена следующими факторами:

1. При эффективном функционировании аграрного сектора происходит развитие экономики сельских территорий, которое включает воспроизводство человеческих ресурсов, обеспечение занятости трудоспособного населения, рациональное использование и воспроизводство природно-ресурсного потенциала, повышение уровня и качества жизни сельского населения [5].

2. Население данных территорий нуждается в свежих, богатых витаминами продуктах питания. Полноценное питание населения северных регионов не может быть обеспечено полностью только за счет завоза из других регионов России или из-за рубежа.

3. Сельское хозяйство (в частности, оленеводство) является традиционной отраслью и едва ли не единственной сферой приложения труда для коренных народов Севера и составляет основу их питания. Сохранение условий для развития традиционных отраслей способствует повышению уровня жизни коренного населения и сельских жителей, препятствует разрушению сельских поселений [6].

Доля сельского хозяйства в валовом региональном продукте Мурманской области незначительна и составляет 0,1–0,3%. Среди регионов Арктической зоны наименьшая доля отмечается так же в Ненецком и Ямало-Ненецком автономных округах (0,1–0,3%), наибольшая в Архангельской области (4,0%) [7]. Рассматривая динамику основных показателей сельского хозяйства Мурманской области, необходимо отметить, что наибольшее снижение к 2018 г. произошло по поголовью сельскохозяйственных животных, обусловленное банкротством в 2015 г. ведущих организаций отраслей свиноводства и птицеводства (ООО «Птицефабрика «Мурманская»», ООО «Свинокомплекс «Пригородный»»). Поголовье свиней по отношению к 2014 г. снизилось на 77%, поголовье птицы на 93%. Несмотря на то, что по производству яиц динамика в 2018 г. положительная, по сравнению с 2012 г. (38,9 млн шт.) снижение составило 76,6%, по сравнению с 2010 г. (145,4 млн шт.) на 89% [8]. В 2018 г. на территории области наибольший удельный вес в производстве сельскохозяйственной продукции занимают сельскохозяйственные организации – 69,8%, хозяйства населения – 25,4%, крестьянские (фермерские) хозяйства (включая индивидуальных предпринимателей) – 4,8% [9].

В настоящее время незначительные объемы сельскохозяйственного производства не позволяют обеспечить местное население основными продуктами питания соб-

ственного производства. За исключением рыбы и рыбопродуктов, ресурсы продовольствия в регионе формируются за счет завоза из других субъектов РФ и из-за рубежа. Удельный вес собственного производства в общих ресурсах молока и молокопродуктов в 2017 г. составил 10%, мяса и мясопродуктов – 2%, яиц – 3%. Необходимо отметить наибольшие значения данного показателя, которое было достигнуто по молоку и молокопродуктам 23% (2000 г.) мясу и мясопродуктам 31% (1990 г.), яйцу 101% (2009 г.) [10, с. 127]. Уровень самообеспечения в 2017 г. по основным продуктам питания составил 0,05%, что соответствует крайне низкому уровню данного показателя, таким образом, Мурманская область находится на последнем месте по уровню самообеспечения среди других регионов Европейского Севера [11].

Продовольственные отрасли сельского хозяйства Мурманской области представлены животноводческими отраслями (молочное и мясное скотоводство, свиноводство, птицеводство, оленеводство), к растениеводческим отраслям относятся кормопроизводство, овощеводство открытого грунта. Исторически сложилось, что сельское хозяйство Мурманской области носит пригородный характер, за исключением оленеводства, которое таковым не является по условиям землепользования (выпас рассредоточен по нескольким районам области, площадь пастбищ занимает 97,6% – 2788,2 тыс. га) земель сельскохозяйственного назначения области [12, с. 43]. Часть сельскохозяйственных предприятий региона расположена в городских округах, так как они были организованы как подсобные в местах строительства крупных промышленных предприятий. Примером такого предприятия на протяжении 89 лет является совхоз «Индустрия», образованный в окрестностях строительства горно-химического комбината «Апатит» в 1930 г. [4, с. 11].

Сельскохозяйственные предприятия всех форм собственности расположены в пяти муниципальных районах Мурманской области: Кольском, Кандалакшском, Ловозерском, Печенгском, Терском. Численность сельского населения муниципальных районов в 2019 г. составила 26,6 тыс. чел или 45,8% от общей численности сельского населения области (58,1 тыс. чел) [13]. Площадь земель сельскохозяйственного назначения в муниципальных районах составляет 44,2 тыс. га, без учета оленьих пастбищ (2745,0 тыс. га – Ловозерский район). Посевные площади сельскохозяйственных культур составляют 4,2 тыс. га, что соответ-

ствует 9,5% площади земель сельскохозяйственного назначения.

На территории *Кольского района* располагается большая часть сельскохозяйственных предприятий Мурманской области: 9 сельскохозяйственных, 7 крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей, более 3000 личных подсобных хозяйств [14]. Все предприятия находятся на территории девяти населенных пунктов, их деятельность связана с производством и переработкой сельскохозяйственной продукции в молочном и мясном скотоводстве, свиноводстве, птицеводстве. Удельный вес Кольского района в объеме выпускаемой продукции, среди муниципальных районов в 2018 г. наибольший и составляет 744470 тыс. руб. (73,8%). По данным статистики в 2018 г. в хозяйствах всех категорий поголовье сельскохозяйственных животных составило: птицы – 13259 голов, крупного рогатого скота – 4023, коров – 1857, свиней – 842, лошадей – 339, индивидуальные предприниматели и хозяйства населения выращивают кроликов, овец, коз [13]. Посевная площадь сельскохозяйственных культур муниципального района составляет 2,9 тыс. га, что соответствует 42% общей посевной площади сельскохозяйственных культур Мурманской области. Из общей численности трудоспособного сельского населения – 7741 чел. в сельскохозяйственном производстве занято 755 чел. (9,7%).

Удельный вес объема производства сельскохозяйственной продукции *Ловозерского района* в 2018 г. составляет 137014 тыс. руб. (13,6%). Оленеводство – традиционная отрасль сельского хозяйства муниципального района, она представлена двумя сельскохозяйственными производственными кооперативами СХПК «Тундра» (с. Ловозеро) и СХПК «Оленевод» (с. Краснощелье с отделениями в с. Каневка и с. Сосновка), родовыми общинами коренных малочисленных народов Севера и личными подсобными хозяйствами населения. Оленьи пастбища располагаются на землях сельскохозяйственного назначения и лесного фонда и занимают 51% территории района. По климатическим и почвенным условиям район непригоден для земледелия, сельскохозяйственные угодья (без оленьих пастбищ) составляют 0,02% всех земель района. Производство продукции растениеводства в районе направлено в основном на обеспечение отрасли животноводства устойчивой кормовой базой. Личные подсобные хозяйства занимаются выращиванием картофеля. Поголовье оленей в кооперативах на конец 2018 г. – 54 268 голов, поголовье КРС – 283,

дойного стада – 146, свиней – 229, индивидуальные предприниматели и хозяйства населения выращивают птицу, овец и коз [14]. Основную часть дохода оленеводческие хозяйства получают от продажи мяса оленей, хозяйства имеют стационарный убойный цех в с. Краснощелье и мобильный убойный цех в с. Ловозеро. В СХПК «Тундра» развивается молочное животноводство, имеется цех по переработке молока, цех по изготовлению мясных деликатесов из оленины.

Развитие сельского хозяйства *Кандалакшского, Печенгского муниципальных районов* связано с деятельностью индивидуальных предпринимателей и личных хозяйств населения. Удельный вес в объеме производства сельскохозяйственной продукции Кандалакшского района в 2018 г. составляет 91367 тыс. руб. (9,1%), Печенгского – 10052 тыс. руб. (1%).

Одной из особенностей *Терского района* является отсутствие градообразующего предприятия. Экономический потенциал муниципального района составляют небольшие по объему производства предприятия. Производство сельскохозяйственной продукции осуществляет единственное сельскохозяйственное предприятие ООО «Совхоз Умбский», деятельностью которого является молочное животноводство, кормопроизводство, в трех рыболовецких колхозах сельскохозяйственное производство носит вспомогательный характер. Район располагает значительными площадями земель сельскохозяйственного назначения (15,3 тыс. га), доля посевных площадей сельскохозяйственных культур соответствует 4,5% (0,696 тыс. га). Объем производства продукции сельского хозяйства к 2018 г. составил 26212 тыс. руб., сокращение данного показателя на 54% произошло по сравнению с 2014 г. (56920 тыс. руб), значительно сократилась производство продукции животноводства: скот, птица на убой на 71,1% (с 32,1 т до 9,2 т), производство молока на 30,6% (с 268,9 т до 186,7 т) [15]. Численность сельского населения Терского района незначительна и составляет 637 чел.

В муниципальных районах с менее развитым сельским хозяйством большая роль отводится реализации инвестиционных проектов, которые придают устойчивый характер социально-экономическому развитию территорий. В настоящее время в Кандалакшском районе (сельское поселение Алакуртти) осуществляется реализация международного инвестиционного проекта «Агропарк Алакуртти – модель трансграничного сотрудничества», который наряду с развитием предпринимательства, туризма, направлен на поддержку сельского хо-

зяйства [15]. Подпрограмма «Развитие сельского хозяйства» включает: организацию и реализацию деятельности животноводческой (крупный рогатый скот) фермы, мини-проектов по созданию кролиководческой, свиноводческой ферм, фермы по выращиванию перепелов; организацию пилотного проекта по выращиванию кормовых культур для нужд животноводства на территории п. Кайралы в рамках сотрудничества с финской организацией ПроАгрия; организацию мини-производства по производству кормов; организацию пилотного проекта по выращиванию овощей с использованием финских технологий, мини-проекта по созданию тепличного хозяйства.

В рамках данного проекта предусмотрено строительство и оборудование фермерского комплекса на территории агропарка с учетом современных требований экологической безопасности; обеспечение экологически чистыми сельскохозяйственными продуктами предприятий общественного питания и населения с.п. Алакуртти; тестирование и внедрение новых видов и технологий животноводства и растениеводства; повышение квалификации сотрудников агропарка (тренинги и семинары, учебные туры на сельскохозяйственные предприятия Финляндии и Швеции). Кроме того, в рамках развития перерабатывающего направления деятельности предусмотрено создание производства по переработке дикорастущих растений (обучение специалистов в г. Рованиemi), создание мини-комплекса по производству полуфабрикатов из продуктов животноводства и птицеводства.

В Печенгском муниципальном районе разработан инвестиционный проект по развитию северного оленеводства. Имеются предпосылки для успешной реализации данного проекта: оленье стадо насчитывает более 500 голов, на полуостровах Рыбачий и Средний зарезервировано 20 тыс. га земельных участков пригодных для оленьих пастбищ; в большинстве развитых стран мира рост спроса на экологически чистые продукты питания из оленины делает высокоперспективным ее экспорт; производство продукции оленеводства при надлежащей организации является практически безотходным.

Перспектива развития сельских территорий Мурманской области связана с инвестиционными проектами в сфере сельского туризма. При использовании природных, культурных, исторических объектов, сельские территории вовлекаются в развитие туристического бренда региона. В настоящее время происходит развитие туристско-рекреационного кластера (ТРК) Мурманской

области, в рамках которого получит развитие ТРК «Беломорье» (муниципальные образования Терский и Кандалакшский районы), ТРК «Териберка» (Кольский район), ТРК Печенгского, Ловозерского районов.

Выводы

Для преодоления кризисного состояния и перехода сельского хозяйства Мурманской области на динамичное развитие, региональная аграрная политика должна быть нацелена на сохранение имеющихся сельскохозяйственных предприятий всех форм собственности с целью развития производства в объемах, которые бы частично удовлетворяли потребности проживающего здесь населения в социально значимых продуктах питания (цельное молоко, парное мясо, диетическое яйцо, свежие овощи); на сохранение и развитие оленеводства, как отрасли, которая имеет определяющее значение для малочисленных народов Севера; развитие малых форм хозяйствования и кооперации на селе посредством господдержки крестьянских (фермерских) хозяйств и сельскохозяйственных потребительских кооперативов, а также субъектов малого и среднего предпринимательства в сферах производства и переработки пищевой продукции, в том числе при помощи инструментов кластерного подхода (формирование к 2025 г. производственно-пищевого кластера); развитие несельскохозяйственных видов деятельности, используя высокий рекреационный потенциал земель лесного фонда (сбор грибов, ягод, лекарственного и технического сырья); развитие природного, экологического, этнографического и сельского туризма, используя природные, культурные, исторические объекты сельских территорий для вовлечения их в развитие туристского бренда региона. Кроме того наличие свободных земель сельскохозяйственного назначения является потенциальным ресурсом для развития аграрного сектора региона. При условии рационального использования земель сельскохозяйственного назначения можно обеспечить возможность производства и экспорта органической продукции, что может стать конкурентным преимуществом сельскохозяйственного производства в регионе. Определение приоритетных направлений развития сельского хозяйства, с выделением наиболее эффективных и перспективных направлений, исходя из потенциала и потребностей региона, должно найти отражение в региональных и муниципальных нормативно-правовых документах.

Список литературы

1. Алтухов А.И. Основные проблемы развития АПК и пути их решения // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 2. С. 2–6.
2. Лаженцев В.Н. Север России: размещение производственных сил и пространственное развитие // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2011. № 1 (13). С. 37–46.
3. Иванов В.А., Иванова Е.В. Сельское хозяйство Северных и Арктических территорий: предпосылки, условия и возможности развития // Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2017. № 2. С. 22–33.
4. Марецкая А.Ю. Особенности функционирования сельского хозяйства России и ее Арктических территорий // Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий: материалы II Всероссийской конференции с международным участием Юдахинские чтения. Архангельск, 2019. С. 566–571.
5. Марецкая А.Ю., Марецкая В.Н. Аграрный сектор Мурманской области: история развития, современное состояние. М.: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. 108 с.
6. Иконникова О.В., Зыкова Н.В. К вопросу о ресурсном потенциале сельских территорий арктической зоны России // Проблемы современной экономики. 2015. № 3 (55). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=5556> (дата обращения: 25.09.2019).
7. Регионы России. Социально-экономические показатели 2018 // Статистический сборник Росстат. 2018. 1162 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.gks.ru/free_doc/doc_2018/region/reg-pok18.pdf (дата обращения: 20.10.2019).
8. Мурманская область в цифрах // Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. Мурманск, 2019. 138 с.
9. Статистический ежегодник: 2018 // Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. Мурманскстат. 2018. 198 с.
10. Мурманской области – 75 лет // Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Мурманской области. Мурманск. 2013. 110 с.
11. Омелай А.Ю. Оценка продовольственной безопасности Мурманской области // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/120-16809> (дата обращения: 12.10.2019).
12. Доклад о состоянии и использовании земель Мурманской области в 2018 г. Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Мурманской области. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosreestr.ru/site/open-service/statistika-i-analitika/analitika-murmansk/analit-zemleustroystvo-i-monit> (дата обращения: 22.10.2019).
13. База данных показателей муниципальных образований. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения 11.10.2019).
14. Муниципальная программа «Устойчивое развитие сельских территорий Кольского района Мурманской области на период 2017–2020 годы». Утверждена постановлением Администрации Кольского района 17.11.2016 № 849 [Электронный ресурс]. URL: <https://gov-murman.ru/> (дата обращения: 01.09.2019).
15. Инвестиционные паспорта Муниципальных образований [Электронный ресурс]. URL: https://minec.gov-murman.ru/activities/develop_city/sub03/invest-pasporta/ (дата обращения 15.10.2019).