

Министерство образования и науки
Российской Федерации

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

ISSN 2308–4758



Выпуск № 2, 2016 г.

Выходит 4 раза в год

	«Наука. Инновации. Технологии» Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета
Учредитель	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
Главный редактор	д-р геогр. наук, профессор В. С. Белозеров
Редакционный	А. А. Левитская, председатель, ректор СКФУ, канд. филол. наук, доцент; А. А. Лиховид, заместитель председателя, проректор по научной работе и стратегическому развитию СКФУ, д-р геогр. наук, профессор; В. С. Белозеров, главный редактор, д-р геогр. наук, профессор; М. Ч. Залиханов, д-р геогр. наук, профессор, академик РАН (Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик); А. Г. Храмцов, д-р техн. наук, профессор, академик РАН; Ю. Ю. Балега, д-р физ.-мат. наук, член-корр. РАН (САО РАН, п. Нижний Архыз); С. В. Рязанцев, д-р экон. наук, член-корр. РАН (ИСПИ РАН, г. Москва); И. М. Агибова, д-р пед. наук, профессор; Т. П. Бондарь, д-р мед. наук, профессор; В. С. Тикунов, д-р геогр. наук, профессор (МГУ им. Ломоносова, г. Москва)
Редакционная коллегия	М. Т. Абшаев, д-р физ.-мат. наук, профессор (Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик); А. А. Лиховид, д-р геогр. наук, профессор; И. В. Бегдай, канд. техн. наук, доцент; В. С. Белозеров, д-р геогр. наук, профессор (главный редактор); Т. П. Бондарь, д-р мед. наук, профессор; В. Б. Бородулин, д-р мед. наук, профессор (Саратовский ГМУ Росздрава, г. Саратов); О. А. Бутова, д-р мед. наук, профессор; Т. И. Герасименко, д-р геогр. наук, профессор (Оренбургский гос. университет, г. Оренбург); В. А. Гридин, д-р геол.-минерал. наук, профессор; Л. И. Губарева, д-р биол. наук, профессор; Т. И. Джандарова, д-р биол. наук, доцент; Ю. И. Диканский, д-р физ.-мат. наук, профессор; Л. А. Диневич, д-р физ.-мат. наук, профессор (Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив); К. В. Ерин, д-р физ.-мат. наук, профессор; А. И. Жакин, д-р физ.-мат. наук, профессор (Юго-Западный гос. университет, г. Курск); А. Р. Закян, канд. физ.-мат. наук, доцент; А. О. Иванов, д-р физ.-мат. наук, профессор (Уральский федеральный университет им. Б. Ельцина); А. А. Коляда, д-р физ.-мат. наук, доцент (Белорусский гос. университет, г. Минск); А. Д. Лодыгин, д-р техн. наук, доцент; А. В. Лысенко, д-р геогр. наук, доцент; И. Н. Молодинова, канд. геогр. наук (Центрально-Европейский университет, г. Будапешт); В. И. Наац, д-р физ.-мат. наук, профессор; Т. Г. Нефедова, д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва); П. М. Полян, д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва); В. В. Разумов, д-р геогр. наук, профессор; Л. Д. Тимченко, д-р ветеринар. наук, профессор; Л. Д. Цатурян, д-р мед. наук, профессор (Ставропольский гос. мед. университет, г. Ставрополь); Н. И. Червяков, д-р техн. наук, профессор; В. А. Шальнев, д-р геогр. наук, профессор; Н. А. Щитова, д-р геогр. наук, профессор; А. С. Молахосеини, канд. наук, доцент (Исламский университет Азад, Керман, Иран)
Свидетельство о регистрации	ПИ № ФС77–52723 от 8.02.2013
Подписной индекс	Объединенный каталог. ПРЕССА РОССИИ. Газеты и журналы: 94011
Журнал включен	в БД «Российский индекс научного цитирования». Журнал «Вестник Ставропольского государственного университета» перерегистрирован в журнал «Наука. Инновации. Технологии» в связи с переименованием учредителя.
Журнал	в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, с 1 декабря 2015 г.
Адрес Телефон Сайт E-mail	355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1 (8652) 33-07-32 www.ncfu.ru nit_ncfu@mail.ru
ISSN	2308–4758

	«Science. Innovations. Technologies» North Caucasus Federal University
Founder	Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «North Caucasus Federal University»
Editor in chief	V. S. Belozеров, Doctor of Geographical Sciences, professor
Editorial Council	A.A. Levitskaya, chairman, Rector SKFU, PhD. Philology Sciences, Associate Professor; A.A. Likhovid, Vice Chairman, Doctor of Geographical Sciences, Professor; V.S. Belozеров, Chief Editor, Doctor of Geographical Sciences, professor; M.Ch. Zalikhonov, Dr. of Geographical Sciences, professor, academician of the Russian Academy of Sciences (Mountain Geophysical Institute, Nalchik); A.G. Hramtsov, Dr. Technical Sciences, Professor, academician of the Russian Academy of Sciences; Y.Y. Balega, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, corresponding member of the Russian Academy of Sciences (SAO RAS, p. Lower Arhiz); S.V. Ryazantsev, Dr. of Economic Sciences, corresponding member of the Russian Academy of Sciences (ISPR RAS, Moscow); I.M. Agibova, Dr. Pedagogical Sciences, Professor; T.P. Bondar', Dr. Medical Sciences, Professor; V.S. Tikunov, Doctor of Geographical Sciences, professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow).
Editorial Board	M.T. Abshaev, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, professor (Mountain Geophysical Institute, Nalchik); A. A. Likhovid, Dr. of Geographical Sciences, professor; I.V. Begday, Ph.D., Associate Professor; V.S. Belozеров, Dr. of Geographical Sciences, professor, editor in chief; T. P. Bondar', MD, professor; Borodulin V.B., MD, Professor (Saratov State Medical University, Saratov); O. A. Butova, MD, professor; Gerasimenko T.I., Dr. of Geographical Sciences, Professor (Orenburg State University, Orenburg); Gridin V.A., Dr. of geological-mineralogical Sciences, Professor; Gubareva L.I., Sc.D., Professor; Dzhandarova T.I., Sc.D., Associate Professor; Y. I. Dikanskiy, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, professor; Dinevich L.A., Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Tel-Aviv University, Tel-Aviv); K. V. Erin, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, professor; Zhakin A.I., Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Southwest State University, Kursk); A. R. Zakinyan, candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor; Ivanov A.O., Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Yeltsin's Ural Federal University); Kolyada A.A., Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor (Belarusian State University, Minsk); A. D. Lodygin, Dr. of Technical Sciences, associate professor; A. V. Lysenko, Dr. of Geographical Science, associate professor; Molodikova I.N., Ph.D. (Central European University, Budapest); Naats V.I., Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor; Nefedova T.G., Dr. of Geographical Sciences, Leading Researcher, Russian Academy of Sciences (IG RAS, Moscow); Polyan P.M., Dr. of Geographical Sciences, Leading Researcher, Russian Academy of Sciences (IG RAS, Moscow); Razumov V.V., Dr. of Geographical Sciences, Professor; Timchenko L.D., Dr. of Veterinary Sciences, Professor; Tsaturyan L.D., MD, Professor (Stavropol State Med. University, Stavropol); N.I. Chervyakov, Dr. of Technical Sciences, professor; V.A. Shalnev, Dr. of Geographical Sciences, Professor; N.A. Shitova, Dr. of Geographical Sciences, Professor; A.S. Molahosseini, assistant professor, PH.D (Islamic Azad University, Kerman).
Certificate	ПИ № ФС77–52723 dated February 8th 2013.
The Index	The Journal is included in the DB «Russian index of the scientist quoting».
The journal	«Bulletin of the Stavropol state University» renamed in the journal «Science. Innovations. Technologies» due to renaming of the founder.
The journal	is recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles for publishing the dissertation research results
Adress Phone Site E-mail	355009, Stavropol, Pushkin street, 1 8 (8652) 33-07-32 www.ncfu.ru nit_ncfu@mail.ru
ISSN	2308–4758
©	FGAOU VPO «North Caucasus Federal University», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО–МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Вечер О.В., Дискаева Е.И., Хащенко А.А.

Исследование пузырькового кипения воды на
легкоплавких сплавах 7

Еремин И. Е., Подолько Е.А.

Альтернативная модель углеродной связи ал-
маза 17

Жданова Н.В., Авдеев А.В.

Определение концентрации молекул акцепто-
ра в триплетном состоянии при возбуждении
донорно-акцепторных пар периодически пов-
торяющимися импульсами 29

**Наац И.Э., Наац В.И.,
Рыскаленко Р.А.**

Вычислительная модель для дифференци-
ального уравнения с эмпирическими функци-
ями на основе интегрального уравнения Фред-
гольма первого рода 37

Тарасенко Е.О., Гладков А.В.

Решение краевых задач определения дисперсии координат атомов пленки, образующейся на подложке 49

**Червяков Н.И., Ляхов П.А.,
Калита Д.И., Шульженко К.С.**

Влияние ограничения разрядности коэффициентов фильтра на качество вейвлет-обработки изображений в оттенках серого 61

НАУКИ О ЗЕМЛЕ**Бегдай И.В., Бондарь Е.В.,
Перекопская Н.Е.**

Исследование загрязнения родников города Ставрополя методом факторного анализа 77

Скрипчинский А.В., Бурым Ю.В.

Мониторинг эрозионных процессов средствами космической съемки 89

Траутвайн С.А., Друп В.Д.

Характеристика ценопопуляций охраняемых видов растений комплексного памятника природы областного значения «Меловые обнажения на р. Полной» (Ростовская область) 99

Харченко В.М., Домарева А.Е.

Тектоно-физические условия образования структур центрального типа, закономерности распространения залежей углеводородов и очагов землетрясений 117

Щитова Н.А., Белисова К.В.

Современная геодемографическая ситуация в сельских периферийных районах юга европейской России 131

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ
НАУКИ****Бондарева Н.И., Митина С.С.,
Аванесян С.С., Тимченко Л.Д.**

Содержание аскорбиновой кислоты и рутина
в ферментативной жидкости чайного гриба
(*medusomyces gusevii*) при различных услови-
ях культивирования 147

**С.А. Егорова, Н.А. Егоров, О.Н.
Смирнова**

Биомеханические основы дорсопатий у детей
и подростков 159

Кобзева М.В., Джандарова Т.И.

Особенности возрастной динамики кортикос-
тероидов, эстрадиола и тестостерона в крови
у потомков от крыс-матерей с гипопаратирео-
зом 173

ФИЗИКО–МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ, №2, 2016

УДК 536

Вечер О.В. [Vecher O.V.]
Дискаева Е.И. [Diskaeva E.I.]
Хашченко А.А. [Khashchenko A.A.]

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЗЫРЬКОВОГО КИПЕНИЯ ВОДЫ НА ЛЕГКОПЛАВКИХ СПЛАВАХ

**A Study of nucleate boiling water
on fusible alloys surface**

Представлены результаты экспериментального исследования пузырькового кипения воды на поверхности различных расплавов. Показано, что центрами парообразования являются как имеющиеся посторонние включения, так и образования флуктуационной природы. Источником таких образований является пограничный слой между несмешивающимися жидкостями, по своей структуре близкий к раствору воды в расплаве. Экспериментально выявлено, что отрывной диаметр паровых пузырьков, а также скорость кипения практически не зависят от температурного напора, в отличие от плотности активных центров парообразования. Сравнение характеристик кипения для различных расплавов показало, что состав расплава оказывает влияние только на размеры центров парообразования. При этом такие характеристики кипения как плотность активных центров парообразования и скорость кипения мало отличаются для различных расплавов.

Ключевые слова: несмешивающиеся жидкости, кипение на расплаве, центры парообразования, отрывной диаметр, скорость кипения, характеристики процесса кипения.

An experimental results of bubble boiling study of water on the surface of various melts. It is shown that the nucleation centers are available as a foreign matter, and the fluctuating nature of education. The source of such formations is the boundary layer between immiscible liquids, which structure is closer to a solution of water in the melt. Experimentally found that the tear diameter vapor bubbles and the rate of boiling is practically independent of the temperature gradient, in contrast to the density of active boiling centers. Comparison of different characteristics for the boiling on melts surfaces indicated that the melt composition has an effect only on the dimensions of vaporization centers. In addition, such boil process characteristics like the density of active centers of vaporization and boiling speed do not differ for the different melts.

Key words: immiscible liquids, boiling on the melts surface, vaporization centers, bubble diameter, nucleation centers, boil process characteristics.

Введение. В современных условиях широкое применение легкоплавких сплавов связано с производством и применением жидкометаллических теплоносителей в энергетике и машиностроении; литейном производством (производство выплавляемых моделей и стержней, материалы для отливок); системами раннего опове-

щения возгораний (датчики температуры, клапаны пожаротушения и др.); термометрией (рабочее тело для термометров различных типов); вакуумной техникой (уплотнения, паяные швы и др.); микроэлектроникой и медициной (фиксация, протезирование и др.). Это обусловлено значительными преимуществами легкоплавких сплавов по сравнению с чистыми металлами и обычными сплавами, в том числе и в плане применения их в качестве теплоносителей [1].

В группу легкоплавких объединены сплавы, имеющие температуру плавления ниже температуры плавления олова. Основу таких сплавов составляют олово и свинец с добавками кадмия и висмута. Металлы вводят в сплавы в таких количествах, чтобы образовывались легкоплавкие тройные и более сложные эвтектики.

Жидкие сплавы обладают высокими значениями коэффициентов теплопроводности, а, следовательно, способны эффективно отводить тепло от поверхности нагревателя. С другой стороны, из-за высоких температур кипения легкоплавких сплавов передача тепла может осуществляться при атмосферном давлении в широком диапазоне температур. Кроме того, явлением кавитации при течении жидкого сплава можно пренебречь. При этом с достаточной точностью можно считать, что закономерности течения жидких сплавов и простых жидкостей аналогичны.

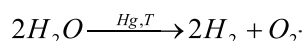
В технике, благодаря перечисленным особенностям жидкометаллических теплоносителей, получили распространение так называемые бинарные установки, в которых используются в качестве рабочих тел два вещества – жидкометаллический теплоноситель и вода. В связи с этим безусловный интерес представляет кипение в многослойной системе, состоящей из жидкометаллического теплоносителя, представленного легкоплавким сплавом, и воды, как наиболее часто применяемого теплоносителя неметаллической природы.

Постановка проблемы. Одна из основных особенностей современных исследований пузырькового кипения на границе раздела двух жидких фаз, как отечественными, так и зарубежными учеными, заключается в вы-

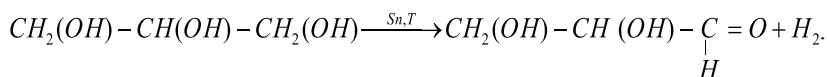
делении для изучения в «чистом виде» отдельных сторон этого сложного явления [2, 3]. В большей степени это относится к изучению плотности теплового потока как величины, непосредственно связанной с практическим использованием таких систем. Вместе с тем, на наш взгляд, большой интерес представляет и сам процесс зарождения и развития паровых пузырьков в многослойной системе.

Центрами парообразования в этом случае могут служить: во-первых, частицы загрязнений, сохранившихся на поверхности расплава, во-вторых, всегда присутствующее в жидкости в растворенном виде некоторое количество газов.

Если процесс кипения происходит в системе металл – вода, то наличие газа в перегретом слое последней может объясняться реакциями разложения на металлической поверхности под действием катализаторов. Так, например, в [4, 5] описано исследование процесса образования паровых пузырьков при кипении воды на поверхности ртути, которое сопровождалось выделением газов вследствие химической реакции, в которой ртуть служила катализатором:



Аналогичные реакции имеют место при кипении глицерина на расплаве олова, когда происходит термическая реакция его восстановления до альдегидов:



В-третьих, в области непосредственного контакта двух несмешивающихся жидкостей образуется некий промежуточный слой [6]. Процесс зарождения паровой фазы может происходить в этом слое, представляющем собой раствор, для которого растворителем является вещество с большей плотностью и более высокой температурой кипения, т.е. расплав, а растворенным – вещество с меньшей плотностью и более

Табл. 1. СОСТАВ И ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ ИССЛЕДУЕМЫХ СПЛАВОВ

Сплав	Состав	Температура плавления
Мелот	висмут 48% свинец 24% олово 28%	64 °С
Вуда	висмут 50% свинец 25% олово 12,5% кадмий 12,5%	68 °С
Розе	висмут 50% свинец 25% олово 25%	94 °С

низкой температурой кипения, т.е. вода. Как показал рентгенографический анализ молекулярной структуры растворов [7], в них образуются квазикристаллические группировки однородных молекул, имеются амикроскопические капли чистых жидкостей. Таким образом, структура раствора является микрогетерогенной. Кроме флуктуаций плотности имеют место и флуктуации концентрации.

Методология и методы исследования. Целью данного исследования являлось изучение процесса пузырькового кипения воды на различных жидкометаллических поверхностях, а также выяснение влияния вещества поверхности нагрева на количественные характеристики процесса.

Для исследования использовалась дистиллированная вода ГОСТ 6709-72. В качестве поверхности нагрева были выбраны легкоплавкие сплавы на основе висмута (табл. 1).

Определение отрывного диаметра паровых пузырьков, скорости кипения и плотности активных центров парообразования проводилось при

различных значениях температурного напора с использованием методики, описанной в [8].

Обсуждение результатов исследования. Эксперименты показали, что при наличии минимального температурного напора в системе расплав – вода начинается дегазация. В расплаве она осуществляется путем образования газовых полостей в кольцевом зазоре между расплавом и стенками сосуда (рис. 1).

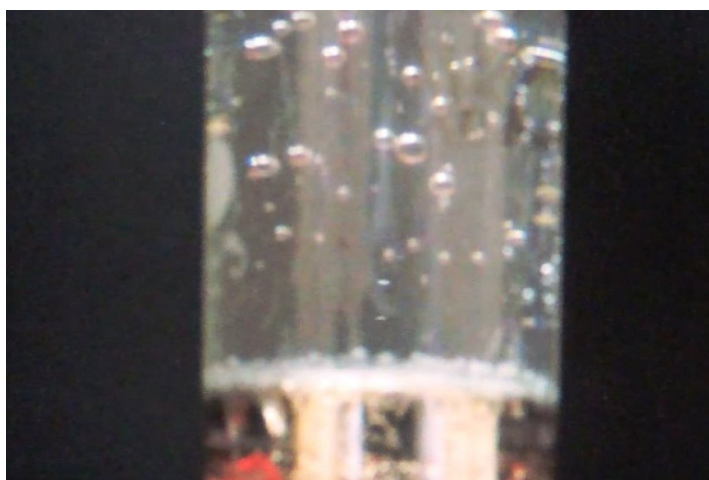


Рис. 1.



Рис. 2.

При увеличении температурного напора вся поверхность расплава покрывается множеством пузырьков (рис. 2).

Далее, с увеличением температуры поверхности расплава его поверхность очищается от паровых пузырей и начинается процесс всплы-

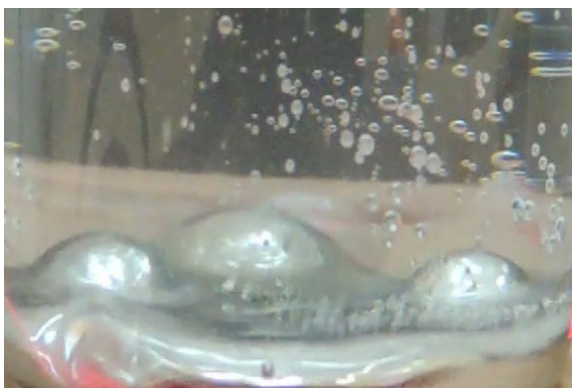


Рис. 3.

вания паровых полостей (рис. 3). Образование этих полостей связано, по-видимому, с наличием в толще расплава пузырьков воздуха.

Наконец, при достаточно высоких температурных напорах начинается процесс пузырькового кипения воды – в различных точках поверхности расплава образуются паровые пузырьки, растут, принимая грибообразную форму, отрываются и всплывают (рис. 4). Поскольку их развитие сопровож-



Рис. 4.

дается постоянными волновыми возмущениями поверхности расплава, то пузырьки за время от зарождения до отрыва перемещаются на расстояния, в несколько раз превышающие их отрывной диаметр.

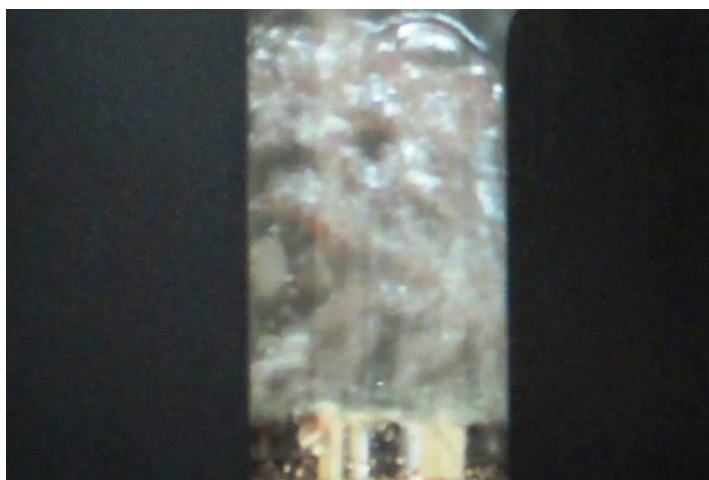


Рис. 5.

С увеличением температурного напора значительно растет частота отрыва пузырьков и затем начинается бурное кипение, сопровождающееся не только интенсивным волновым процессом на поверхности расплава, но и распылением его верхнего слоя в толщу воды (рис. 5).

При охлаждении системы она проходит все описанные выше состояния в обратном порядке, исключая дегазацию. Данный процесс повторялся многократно, как в прямом, так и в обратном направлении, и проходил всегда одинаково.

Результаты экспериментального определения отрывных диаметров паровых пузырьков, скорости кипения и плотности центров парообразования для различных значений температурного напора приведены в таблице 2.

Наблюдаемый характер пузырькового кипения воды на расплавах имеет те же стадии, что и описанные в [5, 9] процессы кипения глицерина и парафина на поверхности ртути и олова. Однако, если при кипении глицерина на расплаве олова для получения режима относительно спокойно-

Табл. 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК ПУЗЫРЬКОВОГО КИПЕНИЯ ВОДЫ
НА ЛЕГКОПЛАВКИХ СПЛАВАХ

Вещество	Среднее значение отрывного диаметра паровых пузырьков, м		Скорость кипения, м/с		Средняя плотность активных центров парообразования, м-2	
Сплав «Мелот»	0,0024	0,0024	0,111	0,110	2380	3750
Сплав Вуда	0,0022	0,0021	0,114	0,115	3190	3980
Сплав Розе	0,0022	0,0021	0,114	0,113	3280	3670

го кипения необходим перегрев порядка 50 °С, то для системы вода-сплав Вуда для этого достаточным является перегрев порядка 10 °С.

Вместе с тем, средние значения таких характеристик кипения, как отрывной диаметр паровых пузырьков, плотность активных центров парообразования и скорость кипения, имеют тот же порядок величин, что и при кипении воды на твердых поверхностях нагрева [5, 10, 11].

Выводы.

Анализ результатов исследования позволил сделать следующие выводы: средние значения отрывного диаметра паровых пузырьков практически не зависят от температурного напора и различаются для разных расплавов. Вместе с тем, для каждой поверхности нагрева и определенного значения температурного напора наблюдался разброс значений отрывных диаметров пузырьков порядка 10–15% от их среднего значения. Данный факт свидетельствует о том, что, во-первых, в промежуточном слое существуют центры кипения различных размеров, и, во-вторых,

на размеры этих центров влияют процессы диффузии и межмолекулярного взаимодействия между расплавом и водой.

Скорость кипения с повышением температурного напора практически не изменяется в исследуемом диапазоне температур. Кроме того, характер поверхности нагрева, по-видимому, не оказывает значительного влияния на данную величину.

Плотность активных центров парообразования в исследуемом диапазоне температур слабо зависит от материала нагревателя, и в основном определяется величиной температурного напора.

Проведенное экспериментальное исследование показало, что для более полного и подробного изучения процесса пузырькового кипения на границе раздела двух жидких фаз необходимо учитывать влияние свойств пограничного слоя между ними. Диффузионные процессы, а также химическое взаимодействие между его молекулами, безусловно оказывают определенное влияние на зарождение и рост паровых пузырьков внутри него и в дальнейшем, может влиять на теплообмен в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яценко С.П., Хаяк В.Г. Композиционные припои на основе легкоплавких сплавов. Екатеринбург: УрО РАН, 1997.
2. Shunsuke O., Haruhiko O., Nobuo O., Yuta F., Hiroyuki K. Boiling Heat Transfer by Nucleate Boiling of Immiscible Liquids // *Interfacial Phenomena and Heat Transfer*. 2013. № 1 (1). P. 63–80.
3. Amimul A. *Evaporation, Condensation and Heat Transfer*. ISBN 978-953-307-583-9. 2011.
4. Марков И.И. О процессе пузыреобразования на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей и теплообмена между ними // *Энергетика и транспорт*. 1992. Т. 38. С. 89-92.

5. Марков И.И. Термодинамика и межфазные явления в механизме действия центров кипения: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Ставрополь, 1994. 36 с.
6. Райдил Э.К. Химия поверхностных явлений. Л.: ОНТИ-Химтеорет., 1936. 112 с.
7. Герасимов Я.И. Курс физической химии. М.: Химия. 1969. Т. 1.
8. Вечер О.В. О процессе генерации пара на границе раздела двух жидких фаз в условиях естественной конвекции: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ставрополь, 2006. 18 с.
9. Gordon K.F., Singh T., Weissman E.Y. Boiling Heat Transfer Between Immiscible Liquids // In: J. Heat or Mass Transfer. 1961. Vol. 3, P. 90-93.
10. Железный В.П., Семенюк Ю.В., Никулин А.Г., Лукьянов Н.Н. Методические особенности экспериментального изучения процессов кипения нанофлюидов в свободном объеме // Вестник МАХ. №3. 2014. С. 4-9.
11. Молчуев Е.В. Физика роста пузырей при кипении дистиллированной воды недогретой до температуры насыщения // Теплофизические основы энергетических технологий: сборник научных трудов IV Всероссийской научно-практической конференции. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. С. 26-31.

**УДК 519.6
519.7****Еремин И. Е. [Eremin I. E.],
Подолько Е. А. [Podolko E. A.]****АЛЬТЕРНАТИВНАЯ МОДЕЛЬ
УГЛЕРОДНОЙ СВЯЗИ АЛМАЗА****Alternative model of carbon connection
of diamond**

Углеродные материалы особенно интересны для практического применения в различных областях науки и техники, в силу своих многочисленных уникальных физико-химических свойств. Популярным объектом исследований в настоящее время является аллотропная модификация углерода – алмаз, который рассматривается в качестве классического модельного кристалла. Одним из наиболее эффективных подходов к исследованию физико-химических свойств алмаза является его изучение с помощью предварительного компьютерного моделирования изучаемых диэлектрических характеристик. Авторы статьи рассматривают традиционную и альтернативную математические модели электронной конфигурации неполярной валентной химической связи алмаза. Приведены результаты моделирования диэлектрических характеристик упругой электронной поляризации рассматриваемого материала на основании предложенной физической трактовки электронной структуры алмаза.

Ключевые слова: углерод, электронная поляризация, комплексная электронная поляризуемость, моделирование.

Carbon materials especially interesting for practical application in the different areas of science and technique, by virtue of the numerous unique physical and chemical properties. The popular object of researches presently is allotropic modification of carbon – diamond that is examined as a classic model crystal. One of the most effective going near research of physical and chemical properties of diamond is his study by means of preliminary computer design of the studied dielectric descriptions. The authors of the article examine the traditional and alternative mathematical models of electronic configuration of non-polar valency chemical connection of diamond. Results over of design of dielectric descriptions of resilient electronic polarization of the examined material are brought on the basis of an offer physical interpretation of electronic structure.

Key words: carbon, electronic polarization, complex electronic polarizability modeling.

Введение

В последние годы в физике конденсированного состояния наибольшую популярность приобретают научные исследования и разработки в области наноматериалов и нанотехнологий.

Актуальность проблемы производства наноматериалов определяется особенностью их физико-механических свойств, позволяющих созда-

вать материалы с качественно и количественно новыми свойствами для использования на практике.

Существующие методики расчетов данных свойств недостаточно результативны, и требуется большое количество времени для их реализации. Повышение их эффективности предполагает разработку абсолютно новых расчетных методик, основанных на принципиально иных методах расчета.

Методика проведения вычислительного эксперимента

При описании исследуемого физического процесса предлагается использовать кибернетическую модель общей электронной поляризации кристалла [1, 2]. При этом исходную динамику упругой деформации электронных оболочек частиц можно представить в виде следующей системы линейных дифференциальных уравнений общего вида:

$$\frac{d^2 \mu_k(t)}{dt^2} + 2\beta_k \frac{d\mu_k(t)}{dt} + \omega_{0k}^2 \mu_k(t) = \frac{q_k e^2}{m_e} E(t), \quad k = \overline{1, K} \quad (1)$$

где $\mu_k(t)$ – функции изменения во времени индуцированных дипольных моментов электронных орбит каждой разновидности;

β_k и ω_{0k} – соответственно коэффициенты затухания и частоты их собственных колебаний;

q_k – число электронов, заселяющих орбиты;

e, m_e – заряд и масса электрона;

k – номера электронных орбиталей;

K – общее число различных электронных орбит;

$E(t)$ – функция напряженности эффективного поля.

На основании выражения (1) комплексная электронная поляризуемость каждой отдельно взятой частицы равна:

$$\alpha(j\omega) = \sum_{i=1}^K \frac{q_i e^2 / m_e}{\omega_{0i}^2 - \omega^2 + j2\beta_i \omega}. \quad (2)$$

В свою очередь, комплексная диэлектрическая проницаемость конденсированного материала, образованного однотипными частицами, описывается кибернетическим уравнением вида:

$$\varepsilon(j\omega) = 1 + \frac{2}{3\varepsilon_0} N \alpha(j\omega), \quad (3)$$

где ε_0 – электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума);

N – объемная концентрация частиц, вычисляемая на основании значений физической плотности образца и его молекулярной массы.

Учитывая структуру выражений (2) и (3), возможно проведение анализа эффективности предлагаемой трактовки электронной конфигурации частиц, определяющей динамические особенности исходного описания вида (1). Данное обстоятельство обусловлено тем, что физически измеряемая мнимая частотная характеристика комплексной диэлектрической проницаемости $\varepsilon''(\omega)$, обозначенная на рисунке 1 как $\varepsilon 2(\omega)$, представляет собой сумму мнимых частей электронной поляризуемости отдельных частиц $\alpha''(\omega)$:

$$\begin{aligned} \varepsilon''(\omega) &= 1 + \frac{2}{3\varepsilon_0} N \alpha''(\omega); \\ \alpha''(\omega) &= \sum_{i=1}^K \frac{q_i e^2}{m_e} \cdot \frac{2\beta_i \omega}{(\omega_{0i}^2 - \omega^2)^2 + 4\beta_i^2 \omega^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

На рисунке 1 представлены спектры отражения трех различных образцов алмаза (№№ 1, 2, 3), на вставках – спектры в областях 6,5 – 8,5 и 21 – 31 эВ [3].

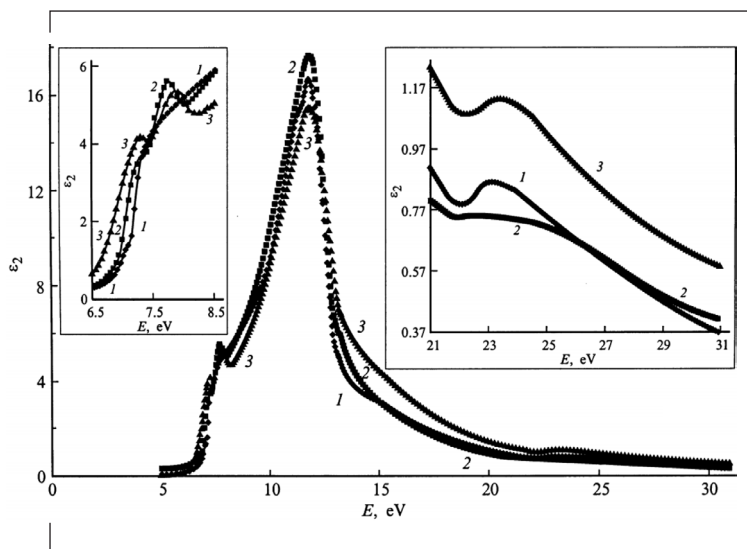


Рис. 1. Электрон-вольтовые спектры мнимой части диэлектрической проницаемости алмаза.

Таким образом, адекватность используемой теоретической модели может быть оценена путем качественного сравнения их поведенческих страт.

Традиционная трактовка ковалентной связи алмаза

Кристалл алмаза можно рассматривать как огромную молекулу, в которой каждый атом углерода окружен четырьмя соседними атомами, расположенными в вершинах правильного тетраэдра. Каждый из них соединен гомеоплярными связями.

Известно, что атомы углерода в кристалле алмаза, входящие в химическую связь с другими атомами, находятся в возбужденном состоянии с конфигурацией $1s^2 2s^1 2p_x 2p_y 2p_z$.

Рассмотрим традиционную модель химической связи вида, $C^{3+} (3e^-)_2 C^{3+}$, в которой содержится шесть электронов, где паре электронов соответствует три электрона на внешней орбитали.

Электронная конфигурация рассматриваемого кристалла представлена на рисунке 2.

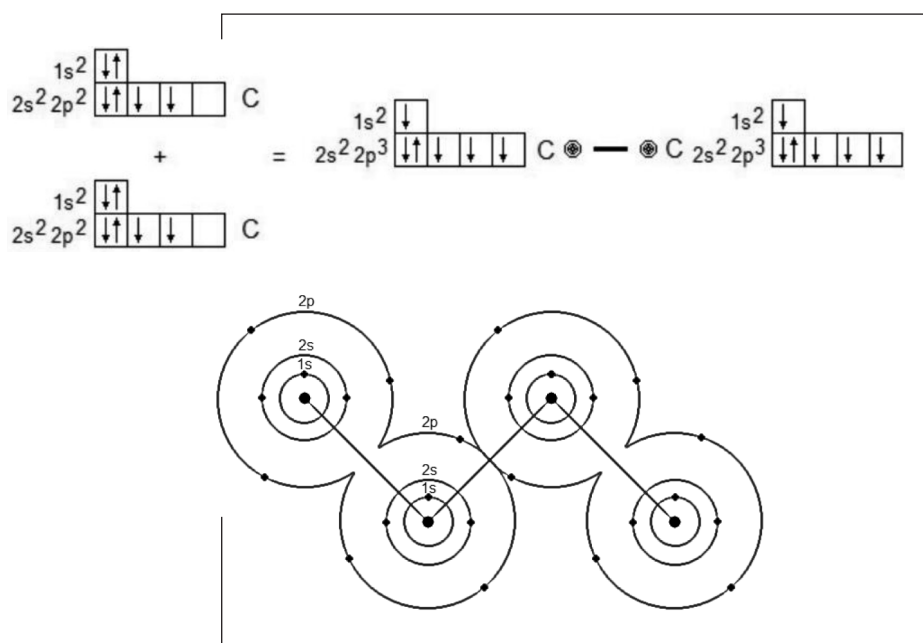


Рис. 2.

Схема традиционной трактовки электронной конфигурации алмаза.

Исходя из рисунка видно, что на внутренней оболочке ($1s$ атомная орбиталь) находится один электрон, а на внешней (оптической) оболочке три электрона, которые испытывают максимальное смещение, и вносят основной вклад в электронную поляризацию. На основании схемы данный процесс можно представить в виде следующей системы линейных дифференциальных уравнений, где первое уравнение системы описывает смещение электрона на внутренней оболочке, а следующие уравнения – на $2s$ и $2p$ атомных орбиталях:

$$\begin{cases} \frac{d^2 \mu_{1s}}{dt^2} + 2\beta_{1s} \frac{d\mu_{1s}}{dt} + \omega_{01s}^2 \mu_{1s} = \frac{e^2}{m_e} E(t) \\ \frac{d^2 \mu_{2s}}{dt^2} + 2\beta_{2s} \frac{d\mu_{2s}}{dt} + \omega_{02s}^2 \mu_{2s} = \frac{2e^2}{m_e} E(t) \\ \frac{d^2 \mu_{2p}}{dt^2} + 2\beta_{2p} \frac{d\mu_{2p}}{dt} + \omega_{02p}^2 \mu_{2p} = \frac{3e^2}{m_e} E(t). \end{cases} \quad (5)$$

Стандартные преобразования представленной системы уравнений позволяют получить мнимые частотные характеристики электронной поляризуемости исследуемого материала вида:

$$\begin{aligned} \alpha_{1s}''(\omega) &= \frac{e^2}{m_e} \cdot \frac{2\beta_{1s}\omega}{(\omega_{01s}^2 - \omega^2)^2 + 4\beta_{1s}^2\omega^2} \\ \alpha_{2s}''(\omega) &= \frac{2e^2}{m_e} \cdot \frac{2\beta_{2s}\omega}{(\omega_{02s}^2 - \omega^2)^2 + 4\beta_{2s}^2\omega^2} \\ \alpha_{2p}''(\omega) &= \frac{3e^2}{m_e} \cdot \frac{2\beta_{2p}\omega}{(\omega_{02s}^2 - \omega^2)^2 + 4\beta_{2p}^2\omega^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

На базе рассматриваемой математической модели был проведен вычислительный эксперимент, направленный на моделирование непрерывного частотного спектра мнимой составляющей комплексной электронной поляризуемости кристалла, в рамках которого численные значения динамических параметров задавались абстрактными значениями, исходя из взаимного соотношения радиусов соответствующих электронных орбит.

Результаты моделирования, проведенного в программной среде MatLAB на базе уравнений (4) и (5), представлены на рисунке 3.

Сравнивая общий вид полос поглощения электронных орбиталей, имеющих место на теоретической кривой, с их физически наблюдаемыми аналогами (рис. 1), необходимо отметить, что:

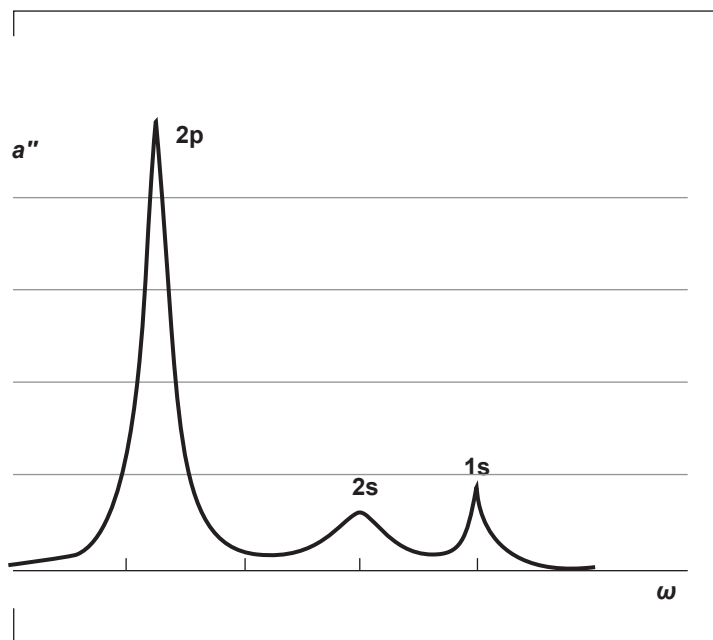


Рис. 3.

Имитационный спектр электронной поляризуемости алмаза, соответствующий модели (5).

- резонансный выброс $1s$ -орбитали, входящей в состав атомного остатка, должен располагаться в рентгеновском диапазоне спектра, поэтому при анализе общей адекватности исследуемой модели учитываться не может, так как контрольные данные охватывают область только ультрафиолетовых частот;
- моделируемый резонансный выброс $2s$ -орбитали может быть соотнесен со слабо выраженной полосой поглощения алмаза, физически наблюдаемой в правой части спектра в районе 23 электрон-вольт;
- используемая традиционная трактовка гибридизированных орбиталей (рис. 2) обуславливает практическую воз-

возможность моделирования единственного ярко выраженного резонансного выброса, характеризующего упругие деформации $2p$ -орбиталей. При этом физический эксперимент указывает на наличие более сложной спектральной картины, а именно – существование еще одной небольшой полосы поглощения, наблюдаемой в районе 7,5 электрон-вольт.

Альтернативная трактовка углеродной связи алмаза

Результаты проведенных ранее прикладных исследований [1, 4] показали, что эффективность математического моделирования оптических и диэлектрических спектров веществ, обладающих полярным ковалентным типом химической связи, могут быть значительно повышены за счет ее чисто ионного толкования.

Таким образом, в рамках видоизмененной трактовки механизма реализации неполярной ковалентной связи, возникающей для каждой пары соседних атомов алмаза, предполагается, что одна их половина переходит в катионное состояние $C4^+$, а другая – в анионное состояние $C4^-$ [5]. Основное преимущество изменений заключается в том, что на их базе становится возможным рассматривать частицы углерода в форме несжимаемых ионных шаров [6], обладающих сложной электронной структурой, изображенной на рисунке 4.

Кроме того, анализируя оптические характеристики кристаллических веществ (например, длинноволновый спектр показателя преломления кристалла кварца [1]), можно заметить наличие нескольких полос поглощения, что, учитывая принцип запрета Паули, хорошо согласуется с электронной структурой внешних оболочек анионов.

Таким образом, на основании физической трактовки углеродной связи алмаза, представленной на рисунке 4, учитывая соответствующие ей пропорции электронных пар, заселяющих электронные орбитали, становится возможным описать данный процесс математически:

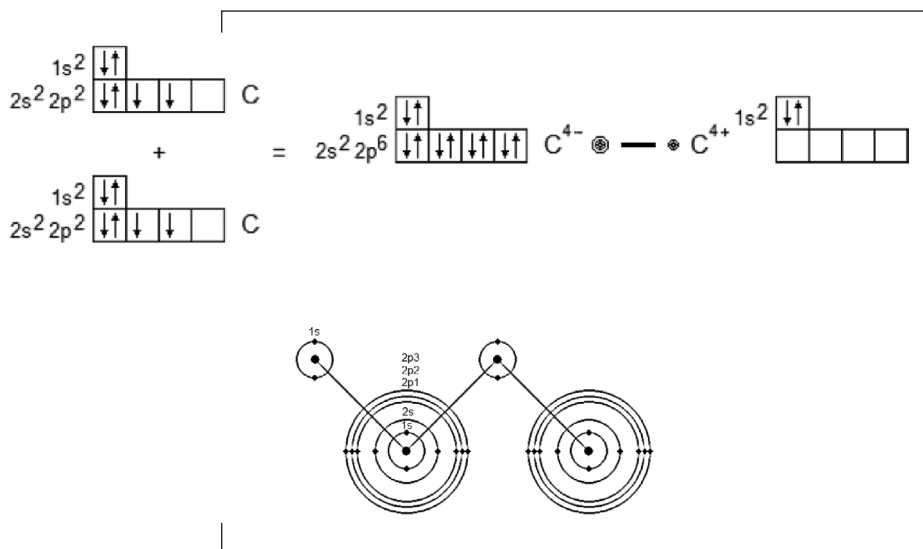


Рис. 4.

Схема ионной трактовки электронной конфигурации алмаза.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 \mu_{1s}}{dt^2} + 2\beta_{1s} \frac{d\mu_{1s}}{dt} + \omega_{01s}^2 \mu_{1s} = \frac{2e^2}{m_e} E(t) \\ \frac{d^2 \mu_{2s}}{dt^2} + 2\beta_{2s} \frac{d\mu_{2s}}{dt} + \omega_{02s}^2 \mu_{2s} = \frac{1}{2} \frac{2e^2}{m_e} E(t) \\ \frac{d^2 \mu_{2p1}}{dt^2} + 2\beta_{2p1} \frac{d\mu_{2p1}}{dt} + \omega_{02p1}^2 \mu_{2p1} = \frac{1}{2} \frac{2e^2}{m_e} E(t) \\ \frac{d^2 \mu_{2p2}}{dt^2} + 2\beta_{2p2} \frac{d\mu_{2p2}}{dt} + \omega_{02p2}^2 \mu_{2p2} = \frac{1}{2} \frac{2e^2}{m_e} E(t) \\ \frac{d^2 \mu_{2p3}}{dt^2} + 2\beta_{2p3} \frac{d\mu_{2p3}}{dt} + \omega_{02p3}^2 \mu_{2p3} = \frac{1}{2} \frac{2e^2}{m_e} E(t). \end{array} \right. \quad (7)$$

На основании выражения (7) мнимая частотная характеристика комплексной электронной поляризуемости примет вид:

$$\begin{aligned}
 \alpha''_{1s}(\omega) &= \frac{2e^2}{m_e} \cdot \frac{2\beta_{1s}\omega}{(\omega_{01s}^2 - \omega^2)^2 + 4\beta_{1s}^2\omega^2} \\
 \alpha''_{2s}(\omega) &= \frac{e^2}{m_e} \cdot \frac{2\beta_{2s}\omega}{(\omega_{02s}^2 - \omega^2)^2 + 4\beta_{2s}^2\omega^2} \\
 \alpha''_{2p1}(\omega) &= \frac{e^2}{m_e} \cdot \frac{2\beta_{2p1}\omega}{(\omega_{02p1}^2 - \omega^2)^2 + 4\beta_{2p1}^2\omega^2} \\
 \alpha''_{2p2}(\omega) &= \frac{e^2}{m_e} \cdot \frac{2\beta_{2p2}\omega}{(\omega_{02p2}^2 - \omega^2)^2 + 4\beta_{2p2}^2\omega^2} \\
 \alpha''_{2p3}(\omega) &= \frac{e^2}{m_e} \cdot \frac{2\beta_{2p3}\omega}{(\omega_{02p3}^2 - \omega^2)^2 + 4\beta_{2p3}^2\omega^2}.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Результаты моделирования на базе уравнений (4) и (7) представлены на рисунке 5.

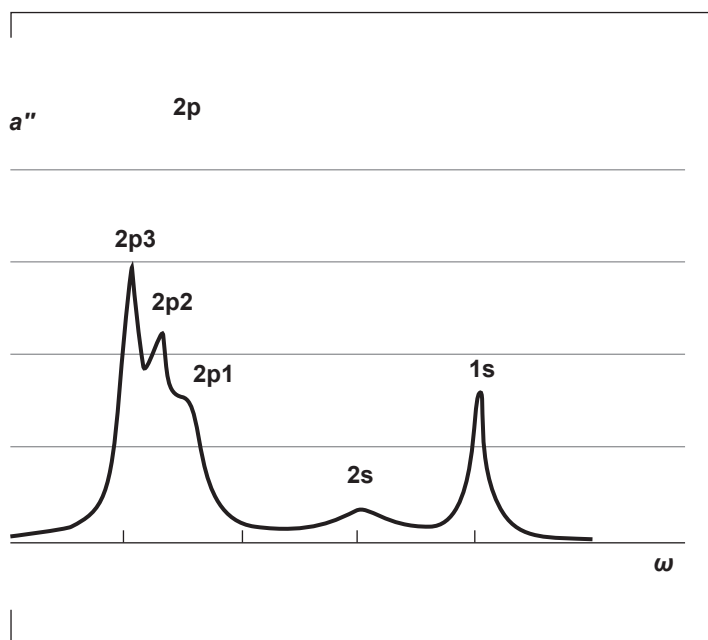


Рис. 5.

Имитационный спектр электронной поляризуемости алмаза, соответствующий модели (7).

Сравнивая общий вид полос поглощения конкретных электронных орбиталей, имеющих место на теоретической кривой с их физически наблюдаемыми аналогами, необходимо отметить, что рассмотренная ионная трактовка образования углеродной связи, с одной стороны, сохраняет ранее указанные достоинства модели гибридизированных орбиталей, касающиеся расположения резонансных выбросов $1s$ - и $2s$ -электронов; с другой стороны, она исправляет и выявленный недостаток традиционной трактовки, так как позволяет моделировать сложную спектральную картину электронной поляризации $2p$ -орбиталей.

Выводы

Описанные теоретические модели упругой электронной поляризации алмаза позволяют провести моделирование поляризационных характеристик диэлектрика, которые оказываются достаточно результативными.

Кроме того, предлагаемая модифицированная модель углеродной связи алмаза позволяет наиболее точно изучить его оптические свойства. Следовательно, ее практическое использование для изучения внутреннего строения кристаллических веществ может оказаться полезным для дальнейшей эволюции теоретических основ физики конденсированного состояния.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ
СПИСОК**

1. Еремин И.Е., Еремина В.В., Костюков Н.С., Моисеенко В.Г. Упругая электронная поляризация конденсированных диэлектриков // Доклады Академии наук. 2010. Т. 432. № 5. С. 612-615.
2. Еремин И.Е. Кибернетическое моделирование поляризации кристаллов в слабых электромагнитных полях // Информатика и системы управления. 2011. № 2(28). С. 117-125.
3. Соболев В.В., Тимонов А.П., Соболев В.Вал. Тонкая структура диэлектрической проницаемости алмаза // Физика и техника полупроводников. 2000. Т. 34, № 8. – С. 940-946.
4. Костюков Н.С., Еремина В.В., Тюрина С.Ю. Построение оптимальной модели процесса упругой электронной поляризации воды // Перспективные материалы. 2006. №6.
5. Еремин И.Е., Остапенко А.А., Назаренко Н.В. Опосредованная визуализация наноструктуры алмаза // Вестник ТОГУ. 2013. №4(31). С. 31-42.
6. Жданов Г.С. Физика твердого тела. М.: МГУ, 1961.

УДК 535.373

**Жданова Н.В. [Zhdanova N.V.],
Авдеев А.В. [Avdeev A.V.]****ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ
МОЛЕКУЛ АКЦЕПТОРА В ТРИПЛЕТНОМ
СОСТОЯНИИ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ
ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫХ ПАР
ПЕРИОДИЧЕСКИ ПОВТОРЯЮЩИМИСЯ
ИМПУЛЬСАМИ****Determination of the acceptor molecules
concentration in the triplet state on excitation
of donor-acceptor pairs by recurrent pulses**

В исследованиях фотофизических процессов важное место занимает изучение процессов заселения и распада возбужденных состояний. Информация о накоплении органических молекул в триплетном состоянии заключена в кинетике разгорания фосфоресценции. В статье исследована возможность определения концентрации молекул акцептора энергии в триплетном состоянии из кинетических экспериментов. Рассмотрено сенсibilизированное возбуждение молекул, обусловленное передачей триплетных возбуждений по обменно-резонансному механизму. Показано, что разгорание сенсibilизированной фосфоресценции акцептора при возбуждении через фосфороскоп можно характеризовать экспонентой. Получены выражения, позволяющие рассчитать концентрацию молекул в триплетном состоянии. Из экспериментально полученной кривой разгорания сенсibilизированной фосфоресценции определено время накопления молекул акцептора в триплетном состоянии. Найденное время разгорания фосфоресценции позволило определить концентрацию молекул акцептора в триплетном состоянии.

Ключевые слова: Сенсibilизированная фосфоресценция, донор, акцептор, триплетное состояние, концентрация, фосфороскоп.

Analysis of population and decay of excited states play an important role in the study of photophysical processes. Information on the accumulation of organic molecules in triplet state is contained in the phosphorescence buildup kinetics. The possibility of determining of the concentration of the energy-acceptor molecules in the triplet state from kinetic experiments has been investigated in the paper. The sensitized excitation of molecules by means of the transfer of triplet excitations by the exchange-resonance mechanism has been considered. It is shown that the buildup of acceptor sensitized phosphorescence can be described by exponential function when excitation created by means of phosphoroscope. Expressions, allowing to calculate the concentration of molecules in the triplet state have been obtained. The time of accumulation of the acceptor molecules in the triplet state was determined from experimental curve of sensitized phosphorescence buildup. The obtained time of phosphorescence buildup allowed to find the concentration of the acceptor molecules in the triplet state.

Key words: sensitized phosphorescence, donor, acceptor, triplet state, concentration, phosphoroscope.

Введение

При изучении различных фотофизических процессов и фотохимических реакций, происходящих с участием сложных органических молекул в триплетном состоянии, возникает необходимость определять их концентрацию. Заселение триплетного уровня молекул может происходить как в результате прямого фотовозбуждения [1], так и передачей триплетных возбуждений по обменно-резонансному механизму от других молекул – доноров энергии [2]. В первом случае, когда бимолекулярными процессами можно пренебречь, накопление молекул в триплетном состоянии при непрерывном возбуждении происходит по экспоненциальному закону с характерным временем τ_H . Распад триплетных состояний, при выполнении указанных условий, также подчиняется экспоненциальному закону. При этом время распада τ_T в отличие от времени накопления τ_H не зависит от мощности возбуждения. В этих условиях стационарная (при $t \rightarrow \infty$) концентрация триплетных молекул $N_T^{\text{ст}}$ может быть вычислена по формуле [3]:

$$N_T^{\text{ст}} = N \left(1 - \frac{\tau_H}{\tau_T} \right), \quad (1)$$

где N – концентрация молекул в растворе.

При сенсibilизированном возбуждении, обусловленном триплет-триплетным переносом энергии, для удобства эксперимента часто необходимо, чтобы время распада триплетных возбуждений донора было намного меньше времени распада триплетных возбуждений молекул акцептора энергии. Это позволяет отделить во времени излучение флуоресценции акцептора от флуоресценции донора, поскольку спектры их излучения перекрываются. Для выделения излучения флуоресценции акцептора обычно используется дисковый флуороскоп. В настоящей работе исследована возможность определения концентрации молекул акцептора энергии в триплетном состоянии при таком способе регистрации сенсibilизированной флуоресценции из кинетических экспериментов.

Методика расчета

Введем следующие обозначения: τ_H – длительность импульса возбуждения; $\tau_{1П}$ – длительность темнового промежутка между прекращением возбуждения и началом регистрации излучения; τ_p – длительность регистрации флуоресценции; $\tau_{2П}$ – длительность темнового промежутка между прекращением регистрации и началом следующего импульса возбуждения. За отрезок времени $\Delta t = \tau_{1П}$ флуоресценция донора полностью затухает. Период повторения такого импульсного возбуждения τ_0 определяется частотой вращения флуороскопа и равен

$$\tau_0 = \tau_H + \tau_{1П} + \tau_p + \tau_{2П}. \quad (2)$$

Обозначим концентрацию молекул акцептора в триплетном состоянии перед началом n -го импульса N_T^n , а в основном синглетном состоянии – N_0^n . Для изменения концентрации ΔN_T за один период (оборот флуороскопа) между началами двух соседних импульсов можно записать

$$\Delta N_T = P_1 N_0^n - P_2 N_T^n. \quad (3)$$

Здесь P_1 – вероятность обнаружить молекулу акцептора в триплетном состоянии перед началом $(n + 1)$ -го импульса, если перед началом n -го импульса она находилась в основном состоянии.

$$P_1 = P_{01} \exp\left(-\frac{\tau_0 - \tau_H}{\tau_T}\right), \quad (4)$$

где P_{01} – вероятность обнаружить молекулу акцептора в триплетном состоянии к концу возбуждающего импульса, если перед началом импульса она находилась в основном состоянии. Величина P_{01} зависит от мощности возбуждения, константы скорости передачи триплетных возбуждений от донора акцептору и длительности импульса τ_H .

В дальнейшем будем считать, что эти три величины одинаковы для всех донорно-акцепторных пар.

P_2 – вероятность обнаружить молекулу акцептора в основном состоянии перед началом $(n + 1)$ -го импульса, если перед началом n -го импульса она находилась в триплетном состоянии.

$$P_2 = 1 - \exp\left(-\frac{\tau_0}{\tau_T}\right). \quad (5)$$

Найдем уравнение кривой, две точки которой, разделенные промежутком времени $\Delta t = \tau_0$ удовлетворяют условию (3), с учетом, что $N_0^n = N - N_T^n$. После замены N_T^n на ${}^*N_T(t)$ можно записать

$$\Delta N_T = P_1 N - (P_1 + P_2) {}^*N_T(t). \quad (6)$$

При достижении стационарного режима кривой $N_T(t)$ ($t \rightarrow \infty$), $\Delta N_T = 0$ и из (6) получаем выражение для «стационарной» концентрации, соответствующей началу импульсов возбуждения

$${}^*N_T^{\text{ст}} = \frac{P_1}{P_1 + P_2} N. \quad (7)$$

С учетом (6) и (7), уравнение для ${}^*N(t)$ можно записать в виде

$${}^*N(t) = {}^*N_T^{\text{ст}} f(t). \quad (8)$$

Учитывая, что в начальный момент времени ${}^*N_T(0) = 0$, а ${}^*N_T(\infty) = {}^*N_T^{\text{ст}}$, имеем $f(0) = 0$ и $f(\infty) = 1$. Окончательно получаем

$${}^*N_T(t) = {}^*N_T^{\text{ст}} [1 - \exp(-kt)]. \quad (9)$$

Константу скорости процесса найдем из условия, что

перед началом первого импульса возбуждения все молекулы акцептора находились в основном состоянии. Поэтому при $t = \tau_0$ ${}^*N(t) = P_1 N$. Следовательно

$$k = -\frac{\ln(1 - P_1 - P_2)}{\tau_0}. \quad (10)$$

«Стационарная» концентрация, соответствующая концу времени τ_p равна

$$N_T^{\text{ст}} = N_T^{\text{ст}} \exp(\tau_{2H} / \tau_T). \quad (11)$$

Функция для непрерывной кривой $f(t)$ остается такой же. Поэтому процесс накопления молекул акцептора в триплетном состоянии можно описать экспонентой

$$N_T(t) = N_T^{\text{ст}} [1 - \exp(-kt)]. \quad (12)$$

проходящей по экспериментальным точкам, соответствующим прекращению регистрации каждого импульса излучения.

Величину

$$\tau_H = \frac{1}{k} = -\frac{\tau_0}{\ln(1 - P_1 - P_2)}. \quad (13)$$

определим как время накопления молекул акцептора в триплетном состоянии.

Точки, соответствующие началу регистрации импульса излучения, так же укладываются на экспоненту с характерным временем накопления (13). Однако для них «стационарная» концентрация будет иной:

$$^{**}N_T^{ct} = ^*N_T^{ct} \exp[(\tau_P + \tau_{2П}) / \tau_T]. \quad (14)$$

Интенсивность флуоресценции пропорциональна концентрации триплетных молекул в отсутствие реабсорбции на триплет-триплетных переходах. Поэтому можно записать

$$I(t) = I^{ct} [1 - \exp(-t / \tau_H)], \quad (15)$$

Экспериментальное изучение зависимости (15) позволяет определить τ_H . Зная τ_H , можно рассчитать величины N_T^{ct} и $^{**}N_T^{ct}$ для точек, соответствующих концу и началу регистрации импульса излучения по соответствующим формулам

$$N_T^{ct} = N \frac{\exp(-\tau_0 / \tau_T) - \exp(-\tau_0 / \tau_H)}{1 - \exp(-\tau_0 / \tau_H)} \exp(\tau_{2П} / \tau_T), \quad (16)$$

$$^{**}N_T^{ct} = N \frac{\exp(-\tau_0 / \tau_T) - \exp(-\tau_0 / \tau_H)}{1 - \exp(-\tau_0 / \tau_H)} \exp[(\tau_P + \tau_{2П}) / \tau_T]. \quad (17)$$

Формула (17) получена подстановкой в (7) значения P_1 из (13) и P_2 из (5) с учетом (14).

При большой частоте вращения ($\tau_0 \ll \tau_T$) формула (17) переходит в (1). То есть такой режим можно считать квазинепрерывным.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальная проверка зависимости (15) проведена для замороженного при 77 К раствора дифенила в толуоле. Донор бензофенон возбуждался ртутной лампой ДРТ-240 с фильтром 365 нм. Период вращения флуороскопа $\tau_0 = 1$ с. Дифенил излучение в данной спектральной области не поглощает. С помощью монохроматора выделялся учас-

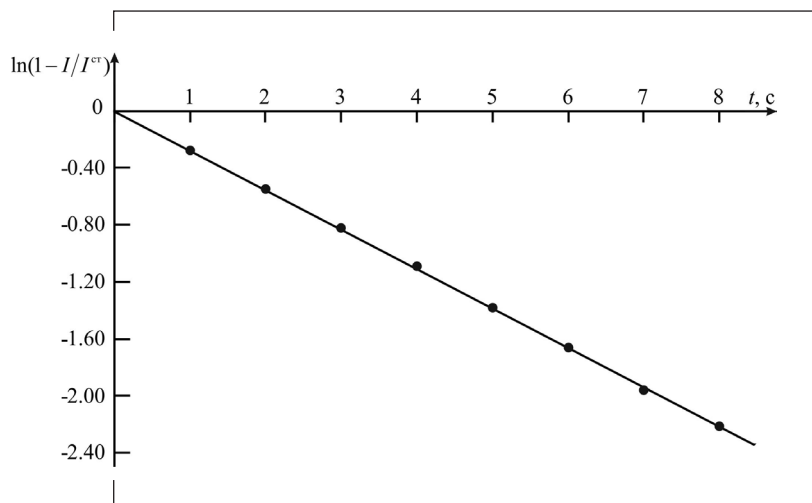


Рис. 1.

Кинетика разгорания сенсibilизированной фосфоресценции дифенила при возбуждении донора (бензофенона) через фосфороскоп.

ток спектра фосфоресценции дифенила вблизи 438 нм. Длительность фосфоресценции бензофенона не превышала 6 мс, что на много меньше τ_{III} . Длительность фосфоресценции дифенила составила 4.4 с. На рисунке представлена кривая разгорания сенсibilизированной фосфоресценции дифенила в полулогарифмическом масштабе, полученная таким образом. Как видно из рисунка, точки соответствующие началу регистрации (τ_p) хорошо укладываются на экспоненту (сплошная линия) с характерным временем $\tau_H = 3.50$ с. Этому времени накопления соответствует «стационарная» концентрация $^{**}N_T^{\text{ст}} = 0.28N$, рассчитанная по формуле (17).

Выводы

Таким образом, разгорание сенсibilизированной флуоресценции акцептора при возбуждении через флуороскоп можно характеризовать экспонентой, на которую укладываются экспериментальные точки, соответствующие началу (концу) регистрации каждого импульса излучения. Характерное время накопления молекул акцептора в триплетном состоянии, определенное из этой экспоненты, позволяет по формуле (17) или (16) рассчитать «стационарную» заселенность их триплетного уровня.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Паркер С. Фотолюминесценция растворов. М.: Мир, 1972.
2. Ермолаев В.Л., Бодунов Е.Н., Свешникова Е.Б. и др. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения. Л.: Наука, 1977.
3. Алфимов М.В., Бубен Н.Я., Приступа А.И. и др. Определение концентрации органических молекул в триплетном состоянии при возбуждении быстрыми электронами // Оптика и спектроскопия. 1966. Т. 20, № 3. С. 424–426.

УДК 517.972: 519.633

**Наац И.Э. [Naats I.E.],
Наац В.И. [Naats V.I.],
Рыскаленко Р.А. [Ryskalenko R.A.]****ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ
С ЭМПИРИЧЕСКИМИ ФУНКЦИЯМИ НА
ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ
ФРЕДГОЛЬМА ПЕРВОГО РОДА****A computational model for a differential equation
with empirical functions based on the integral
equations Fredholm of the first kind**

В работе излагается метод построения приближенного решения дифференциального уравнения второго порядка с исходными данными, полученными в эксперименте (эмпирическими функциями). В подобной постановке задача относится к классу некорректных математических задач и часто встречается, например, в математических моделях физических явлений, использующих результаты измерений натурных экспериментов. Для получения приближенного решения этой задачи требуется построение соответствующих регуляризирующих алгоритмов на основе методов теории функционального анализа и некорректных задач. В настоящей работе выполняется построение приближенного решения ОДУ с заданными краевыми условиями, представленного так называемыми сингулярными интегралами. Это позволяет поставить в соответствие исходному уравнению интегральное уравнение Фредгольма первого рода и найти его численное решение, то есть решение некорректной задачи. При этом используется аппарат приближения функций и их производных соответствующими сингулярными интегралами, а также метод регуляризации сходимости последовательности приближенных решений, который реализуется так называемыми обобщенными обратными операторами. Построенная в итоге вычислительная модель позволяет получать устойчивые решения некорректной задачи.

Ключевые слова: операторное уравнение, сингулярный интеграл, метод регуляризации, обобщенный обратный оператор, расчетно-аналитическая модель.

The work outlines a method of constructing an approximate solution of a differential equation of the second order with input data obtained in the experiment (empirical functions). In such statement the problem belongs to the class of incorrect mathematical problems and often occurs, for example, in mathematical models of physical phenomena using measurement results of field experiments. To obtain the approximate solution of this problem requires construction of appropriate regularization algorithms based on the methods of the theory of functional analysis and ill-posed problems. In the present work is the construction of the approximate solution of ODEs with specified boundary conditions, are the so-called singular integrals. This allows you to put in the original equation Fredholm integral equation of the first kind and to find its numerical solution, i.e. the solution of the incorrect task. This uses a machine approximation of functions and their derivatives corresponding singular integrals and regularization method convergence of the sequence of approximate solutions, which implemented the so-called generalized inverse operators. Built in the end, a computational model allows to obtain a stable solution of ill-posed problems.

Key words: operator equation, singular integral, regularization method, the generalized inverse operator, computational and analytical model.

Постановка задачи.

Представленная работа продолжает исследования авторов по методу интегральных уравнений для численного решения дифференциальных уравнений, построенного на так называемых сингулярных интегралах функций [1–3]. В общем случае речь идет о решении операторных уравнений типа

$$L_b f = S,$$

где L_b – дифференциальный оператор, зависящий от вектора коэффициентов b в ситуации, когда исходные данные $\{b, S\}$ представлены своими σ – приближениями. Во многих практических задачах привлечение приближенных исходных данных приводит к некорректности уравнений и требует разработки способов регуляризации последовательности приближенных решений. Как было показано в работах авторов [1–3], использование сингулярных интегралов функций позволяет построить для исходного уравнения $L_b f = S$ некий приближенный аналог вида

$$Q_\tau f = S_\tau,$$

где Q_τ – интегральный оператор, зависящий от параметра $\tau \in (0, 1)$, допускающий так называемую обобщенную инверсию на множестве приближенных данных $B_\sigma = \{(b_\sigma, S_\sigma)\}$.

В пределах настоящей работы рассматривается вариант операторного уравнения $L_b f = S$, когда привлечение b_σ делает его некорректно поставленной задачей теории дифференциальных уравнений [4]. В частности, речь может идти о решении достаточно простого уравнения вида

$$\frac{d}{dx} \left(p(x) \frac{d}{dx} f(x) \right) + b_0(x) f(x) = S(x), \quad x \in [a, b], \quad (1)$$

в котором краевые условия $f(a)$ и $f(b)$ заданы, а функция $p(x)$ представлена своим σ – приближением $p_\sigma(x) \in C(\Omega)$, т.е. явно не дифференцируемая функция. Поскольку $p_\sigma(x)$ явно не дифференцируемая функция, то уравнение (1) не определено и его решение приближенными численными методами возможно лишь в некотором обобщенном смысле, о чем речь и пойдет ниже.

Построение и обоснование вычислительного метода некорректной задачи (1). Если функция $p(x)$ представлена σ – приближением $p_\sigma(x)$, то имеет место неравенство

$$\|p_0(x) - p_\sigma(x)\|_{L_1(\Omega)} \leq \sigma \|p_\sigma(x)\|_{L_1(\Omega)}, \quad (2)$$

где $p_0(x)$ выступает как некое гипотетически точное значение данной функции и $\sigma > 0$ – некое число [4].

В подобной ситуации предпочтительно считать, как показано в работе авторов [3], что функция $p(x)$ представлена в исходных данных вектором размерности m с приближенными компонентами. Считая, что если функция $p_\sigma(x)$ суммируема на отрезке $[a, b]$, то компоненты указанного вектора можно выбирать в соответствии с формулой

$$\bar{p}_l(x) = \frac{1}{|\Delta_l(x)|} \int_{\Delta_l(x)} p_\sigma(x') dx', \quad (3)$$

где $\Delta_l(x) = [x_l - h, x_l + h]$, $x \in [x_l - h, x_l + h]$ и $x \in [x_l - h, x_l + h]$ – некая система точек на указанном интервале $[a, b]$. Приняв подобное представление исходных данных, касающихся коэффициентов исходного операторного уравнения, обратимся к преобразованию выражения

$$\frac{d}{dx} \left(p_\sigma(x) \frac{d}{dx} f(x) \right)$$

таким образом, чтобы оно было «восприимчивым» к исходным данным

$$\{(\bar{p}_l(x), \Delta_l(x))\}_{l=1}^m.$$

Подобное преобразование можно осуществить, если использовать представление интересующих нас функций некими интегралами (подробно теория соответствующих интегральных представлений и их приложения в прикладном анализе изложены в работах авторов [1–3]). Напомним, что в соответствии с теорией Лебега для сингулярных интегралов функции $f(x)$, определенных на $\Omega = [a, b]$, имеют место предельные соотношения [5, 6]:

$$\int_a^b K_\tau(x, x') f(x') dx' = f_\tau(x) \rightarrow f(x) \text{ при } \tau \rightarrow 0. \quad (4)$$

В подобной ситуации можно говорить о том, что функции $f_\tau(x)$, определяемые параметром τ , сколь угодно мало уклоняются от заданной функции $f(x)$ при $\tau \rightarrow 0$. Соотношение (4) может быть записано и для производной $f'(x)$, если последняя интегрируема, а исходная функция $f(x)$ дифференцируема (почти всюду). Соответственно имеем

$$\int_a^b K_\tau(x, x') f'(x') dx' = (f')_\tau(x) \rightarrow f'(x) \text{ при } \tau \rightarrow 0. \quad (5)$$

Полагая, что ядро интеграла слева есть дифференцируемая функция, и применяя формулу интегрирования по частям, выражение (5) заменим ему эквивалентным, а именно

$$-\int_a^b K'_{\tau, x'}(x, x') f(x') dx' + [K_\tau(x, x') f(x')]_{x'=a}^{x'=b}. \quad (6)$$

Тогда выражение (5) с учетом (6) может быть переписано следующим образом:

$$f'_\tau(x) = -\int_a^b K'_{\tau,x'}(x,x')f(x')dx'] + \psi_\tau(x),$$

где обозначено

$$\psi_\tau(x) = [K_\tau(x,x')f(x')]_{x'=a}^{x'=b}.$$

Аналогично в соответствии с выражением (6) можно считать справедливым следующее приближение

$$(p_\sigma(x)f'(x))'_x \approx \left\{ -\int_a^b K'_{\tau,x'}(x,x')(p_\sigma(x')f'(x'))dx' + \phi_\tau(x) \right\}, \quad (7)$$

где обозначено

$$\phi_\tau(x) = [K_\tau(x,x')p_\sigma(x')f'(x')]_{x'=a}^{x'=b}. \quad (8)$$

Интеграл в правой части (7) может быть преобразован с учетом (5) следующим образом:

$$\begin{aligned} & \left\{ -\int_a^b K'_{\tau,x'}(x,x')p_\sigma(x') \left[-\int_a^b K'_{\tau,x''}(x,x'')f(x'')dx'' + \psi_\tau(x') \right] dx' \right\} = \\ & = \int_a^b f(x'') \left(\int_a^b K'_{\tau,x'}(x,x')p_\sigma(x')K'_{\tau,x''}(x,x'')dx' \right) dx'' - \int_a^b K'_{\tau,x'}(x,x')p_\sigma(x')\psi_\tau(x')dx'. \end{aligned} \quad (9)$$

С учетом выражений (4), (8) и (9) для исходного дифференциального уравнения (1) приближенный интегральный аналог может быть записан в виде следующего интегрального уравнения Фредгольма первого рода

$$\int_a^b Q_\tau(x,x'')f(x'')dx'' = S_\tau(x), \quad (10)$$

где обозначено

$$Q_{\tau}(x, x'') = \int_a^b K'_{\tau, x'}(x, x') p_{\sigma}(x') K'_{\tau, x''}(x, x'') dx' + b_0(x) K_{\tau}(x, x''), \quad (11)$$

$$S_{\tau}(x) = S(x) + \int_a^b K'_{\tau, x'}(x, x') p_{\sigma}(x') \psi_{\tau}(x) dx' - \phi_{\tau}(x). \quad (12)$$

Ясно, что уравнение (10) определено для всякой интегрируемой функции $p(x)$, включая и вариант $p_{\sigma}(x)$. Таким образом, поставленная задача решена. Если имеет место условие $p(x) \in C_1(\Omega)$, то нетрудно показать, что решение $f_{\tau}(x)$ уравнения (10) сходится к точному решению $f_0(x)$ при $\tau \rightarrow 0$. Доказательство осуществляется обратным применением формулы интегрирования по частям. Если в уравнениях (10)–(11)–(12) используется $p_{\sigma}(x) \in C_{\Sigma}(\Omega)$, то при $\sigma > 0$ значение параметра τ интегральной модели (10)–(11)–(12) согласуется с параметром σ ($\tau \geq \tau_{\min}(\sigma)$).

В качестве ядра $K'_{\tau, x'}(x)$ в рассмотренных выше интегральных представлениях в частном случае может быть использовано известное в анализе ядро интеграла Пуассона [7], а именно

$$K_{\tau}(x, x') = \frac{\tau}{\pi} \cdot \frac{1}{(x - x')^2 + \tau^2},$$

для которого имеют место соотношения

$$K'_{\tau, x}(x, x') = -K'_{\tau, x'}(x, x'), \quad K'_{\tau, x'}(x, x') = \frac{2\tau}{\pi} \cdot \frac{x - x'}{[(x - x')^2 + \tau^2]^2}.$$

Значения параметра τ лежат в интервале $(0, 1)$ и в той или иной степени согласуются со значениями параметров h и σ . Нетрудно видеть, что функции $K_{\tau, x}(x, x')$ и $K'_{\tau, x'}(x, x')$ имеют особенности на диагонали $x' = x$ при $\tau \rightarrow 0$. В первом случае эта особенность интегрируема, во втором – нет, и как следствие – для сходимости интегралов в (11) и (12) требуется применение методов регуляризации. Простейшим из них является прием, исключающий из интегрирования μ – окрестность указанной диагонали. Формально это означает введение в расчетные формулы метода новых ядер, а именно

$$K'_{\tau,x'}(x, x', \mu) = \begin{cases} K'_{\tau,x'}(x, x') & \text{при } |x - x'| \geq \mu, \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (13)$$

где $\mu > 0$ – достаточно малое число.

При вычислениях, связанных с нахождением приближенных решений интегрального уравнения (10), выбор параметра μ может быть связан с допустимой точностью расчета переменных x и x' . Ясно, что величина h в (3) должна удовлетворять условию $h \geq \mu$. С учетом (15) выражения (10) – (12) должны быть переписаны следующим образом:

$$\begin{aligned} \int_a^b Q_{\tau,\mu}(x, x'') f(x'') dx'' &= S_{\tau,\mu}(x), \\ Q_{\tau,\mu}(x, x'') &= \int_a^b K'_{\tau,x'}(x, x', \mu) p_\sigma(x') K'_{\tau,x''}(x, x'', \mu) dx' + b_0(x) K_\tau(x, x''), \\ S_{\tau,\mu}(x) &= S(x) + \int_a^b K'_{\tau,x'}(x, x', \mu) p_\sigma(x') \psi_\tau(x') dx' - \phi_\tau(x). \end{aligned}$$

Если коэффициент $p(x)$ исходной модели (1) представлен вектором $\bar{p} = \{\bar{p}_l\}_{l=0}^m$ то расчетные формулы (11) и (12) примут следующий вид

$$Q_{\tau,\mu}(x, x'', \mu) = \sum_{l=1}^m K'_{\tau,x'}(x, x'_l, \mu) \cdot K'_{\tau,x''}(x'_l, x'', \mu) \cdot \bar{p}_l \cdot |\Delta_l| + b_0(x) K_\tau(x, x''), \quad (14)$$

$$S_{\tau,\mu}(x) = S(x) + \sum_{l=1}^m K'_{\tau,x'}(x, x'_l, \mu) \cdot \bar{p}_l \cdot \psi_\tau(x'_l) \cdot |\Delta_l| - \phi_\tau(x). \quad (15)$$

Вычислительный алгоритм для численного решения уравнения (10) с учетом специфики аналитических представлений (14) и (15) подробно описан в работе автора [3]. В связи с этим ниже ограничимся лишь кратким изложением подхода к тому, что выше связывалось с понятием обобщенной инверсии интегральных операторов. Будем полагать, что переменная x пробегает последовательность значений $\{x_k\}_{k=1}^n$. В этом случае уравнение (10) может быть представлено системой соотношений вида

$$\int_a^b Q(x_k, x'') f(x'') dx'' = S(x_k), \quad (16)$$

$$k = 1, \dots, n$$

в совокупности определяющих искомую функцию $f(x)$ в пределах интервала $[a, b]$. Для упрощения записи (16) индексы τ и μ опущены. Согласно теории, изложенной в работе [3], регуляризованное решение системы (16) может быть представлено в виде

$$f_\alpha(x) = f_0(x) + \sum_{k=1}^n \xi_k \cdot Q_k(x),$$

где $f_0(x)$ – некое решение системы (16) для $S_0(x) = (fQ_0)(x)$, $Q_k(x) \equiv Q(x_k, x)$, и коэффициенты разложения ξ_k находятся из решения алгебраической системы уравнений вида

$$\sum_{k=1}^n q_{i,k} \xi_k + \alpha \cdot \xi_k = S_i - S_{0,i},$$

$$q_{i,k} = \int_a^b Q_i(x) Q_k(x) dx,$$

$$S_{0,i} = \int_a^b Q_i(x) f_0(x) dx,$$

$$i = 1, \dots, n.$$

Используемый в этих выражениях символ α называется параметром регуляризации [4]. Выбор величин этого параметра согласуется с величиной σ (обычно $\alpha \approx \eta \sigma^2$, где $\eta \geq 1$). Решением задачи считается функция $f_\alpha(x) \in C(\Omega)$, зависящая от параметра регуляризации $\alpha > 0$. Это решение является ближайшим в метрике $L_2(\Omega)$ к функции $f_0(x)$, играющей роль опорной точки в пространстве возможных решений $F = \{f \in C(\Omega) : (Qf) \in L_2(\Omega)\}$.

Вычислительная модель метода решения

некорректной задачи (1). Вычислительная модель реализуется с помощью алгоритма, включающего в себя следующие этапы.

Этап 1. Построение тестового примера, в котором задаются

- границы интервала a и b ;
- функции $b_0(x), p_0(x)$;
- краевые условия $f_0(a)$ и $f(b)$;
- функция $f_T(x)$ – точное решение;
- вычисляется значение $S(x)$:

$$\frac{d}{dx} \left(p_0(x) \frac{d}{dx} f_T(x) \right) + b_0(x) f_T(x) = S(x), \quad x \in [a, b].$$

Таким образом, все исходные данные определены.

Этап 2. Формирование функции $p_\sigma(x)$ заданной с погрешностью σ :

$$p_\sigma(x) = p_0(x) \cdot (1 + \varepsilon \cdot \theta),$$

где $\varepsilon \in [0, 1]$ определяет процент вносимой погрешности, например, если $\varepsilon = 0.01$, то процент погрешности составляет 1%;

$\theta \in [-1, 1]$ – случайные числа, равномерно распределенные в указанном интервале, генерируются датчиком случайных чисел.

Значение σ определяется на основании выражения (2)

$$\|p_0(x) - p_\sigma(x)\|_{L_1(\Omega)} \leq \sigma \|p_\sigma(x)\|_{L_1(\Omega)};$$

$$\sigma \approx \int_a^b \left| \frac{p_0(x) - p_\sigma(x)}{p_\sigma(x)} \right| dx.$$

Этап 3. Вычислительный алгоритм (основные расчетные формулы метода):

- 1) задаются значения $\tau = 1/n$ и μ , $0 < \tau, \mu < 1$;
- 2) последовательно вычисляются функции:

$$K_{\tau}(x, x') = \frac{\tau}{\pi} \cdot \frac{1}{(x - x')^2 + \tau^2},$$

$$K'_{\tau, x'}(x, x') = \frac{2\tau}{\pi} \frac{x - x'}{[(x - x')^2 + \tau^2]^2}, \quad x, x' \in [a, b]$$

$$K'_{\tau, x'}(x, x', \mu) = \begin{cases} K'_{\tau, x'}(x, x') & \text{при } |x - x'| \geq \mu \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases},$$

$$\psi_{\tau}(x) = [K_{\tau}(x, x')f(x')] \Big|_{x'=a}^{x'=b} = K_{\tau}(x, b)f(b) - K_{\tau}(x, a)f(a),$$

$$\phi_{\tau}(x) = [K_{\tau}(x, x')p_{\sigma}(x')f'(x')] \Big|_{x'=a}^{x'=b} = K_{\tau}(x, b)p_{\sigma}(b)f'(b) - K_{\tau}(x, a)p_{\sigma}(a)f'(a),$$

$$\int_a^b Q_{\tau, \mu}(x, x'')f(x'')dx'' = S_{\tau, \mu}(x)$$

или в операторной форме $Q_{\tau, \mu}f = S_{\tau, \mu}$

$$Q_{\tau, \mu}(x, x'') = \int_a^b K'_{\tau, x'}(x, x', \mu)p_{\sigma}(x')K'_{\tau, x''}(x, x'', \mu)dx' + b_0(x)K_{\tau}(x, x''),$$

$$S_{\tau, \mu}(x) = S(x) + \int_a^b K'_{\tau, x'}(x, x', \mu)p_{\sigma}(x')\psi_{\tau}(x)dx' - \phi_{\tau}(x).$$

- 3) оператору $Q_{\tau, \mu}$ ставим в соответствие регуляризирующий оператор $Q_{\tau, \mu} = (Q_{\tau, \mu}^* Q_{\tau, \mu} + \alpha I)^{-1} Q_{\tau, \mu}^*$, приближенное решение $f_{\tau, \mu} = Q_{\tau, \mu}^{-1} S_{\tau, \mu}$. Подробный алгоритм получения приближенного решения, включающий в себя процедуру дискретизации задачи, описан в работе авторов [1];

4) точность вычислений определяется так:

$$\rho(\alpha, \tau, \mu) = \|f_T(x) - f_{\alpha, \tau, \mu}(x)\|_{L_2[a, b]} = \left(\int_a^b (f_T(x) - f_{\alpha, \tau, \mu}(x))^2 dx \right)^{1/2}.$$

Этап 4. Вычислительный эксперимент должен включать в себя:

- построение детального алгоритма на основе дискретизации вычислительной модели и его программную реализацию;
- исследование в вычислительном эксперименте сходимости приближенного решения $f_{\tau, \alpha, \mu}(x)$ к точному решению $f_T(x)$ в зависимости от выбора значений параметров $\min \rho(\alpha, \tau, \mu) \Rightarrow (\alpha^*, \tau^*, \mu^*)$, а также для функций, имеющих различную степень структурной сложности, определяемую вариацией функции [1, 8];
- исследование устойчивости вычислительного алгоритма в зависимости от величины погрешности в исходных данных $\sigma(\varepsilon)$ по алгоритму, подробно описанному в работах авторов [1, 8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наац В.И. Расчетно-аналитические модели для дифференциальных уравнений с приближенными данными на основе представления решения интегралами / В.И. Наац, И.Э. Наац, Р.А. Рыскаленко // Наука. Инновации. Технологии: Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета. Ставрополь. 2014. №4. С. 60–71.

2. Наац В.И. Расчетно-аналитические модели для уравнений параболического типа с приближенными данными на основе методов прикладного гармонического анализа и вариационного метода взвешенной невязки / В.И. Наац, И.Э. Наац, Р.А. Рыскаленко // Наука. Инновации. Технологии: Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета. Ставрополь. 2015. №3. С. 51–62.
3. Наац В.И. Метод решения некорректной задачи для дифференциального уравнения с приближенно заданными функциями на основе представления решения интегральными уравнениями. / В.И. Наац, И.Э. Наац, Р.А. Рыскаленко // Наука. Инновации. Технологии: Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета. Ставрополь, 2015. №4. С. 23–40.
4. Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. М.: Физматлит. 1979. 288 с.
5. Данфорд Н. Линейные операторы: общая теория / Н. Данфорд, Дж. Т. Шварц. М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. 427 с.
6. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа / К. Ланцош. М.: Физматлит. 1961. 524 с.
7. Лебедев В.И. Функциональный анализ и вычислительная математика / В.И. Лебедев. М.: Физматлит. 1994. 296 с.
8. Наац В.И. Математические модели и численные методы в задачах экологического мониторинга атмосферы: монография / В.И. Наац, И.Э. Наац. М.: Физматлит, 2010. 328 с.

УДК 51-73

Тарасенко Е.О. [Tarasenko E.O.]
Гладков А.В. [Gladkov A.V.]**РЕШЕНИЕ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСИИ
КООРДИНАТ АТОМОВ ПЛЕНКИ,
ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ НА ПОДЛОЖКЕ****Solution of boundary value problems of determining the coordinates of the atoms of the dispersion envelope formed on the substrate**

Статья посвящена математическому моделированию образования тонких пленок на подложках, которое в настоящее время является малоизученным как теоретически, так и практически. При проведении моделирования физического процесса актуально решение прямых и обратных задач, возникающих в процессе роста тонкопленочных структур. В качестве математического описания рассматриваемого процесса предлагается использовать полуэмпирическое уравнение диффузии в частных производных с заданными начальными и граничными условиями. Обратные задачи, возникающие при математическом моделировании роста тонкопленочных структур, имеют немалое практическое и теоретическое значение в современном научном мире. Особое внимание в данной работе уделено решению краевых задач определения дисперсии координат атомов пленки на подстилающей поверхности. Получены аналитические и численные решения указанных задач, основанные на методе простой итерации. Проведен численный эксперимент и оценка найденных решений на адекватность экспериментальным данным.

Ключевые слова: математическое моделирование, тонкая пленка, подложка, подстилающая поверхность, тонкопленочная структура, уравнение диффузии, решение обратных задач, дисперсия.

This paper is devoted to mathematical modeling of the formation of thin films on substrates, which at present is poorly known both theoretically and practically. When modeling the physical process relevant to the solution of direct and inverse problems arising in the growth process of thin-film structures. As a mathematical description of the considered process it is proposed to use semi-empirical diffusion equation in partial derivatives with given initial and boundary conditions. Inverse problems arising in the mathematical modeling of the growth of thin-film structures are of considerable practical and theoretical importance in the modern scientific world. Special attention in this work paid to the solution of boundary value problems determining the variance of the coordinates of the atoms of the film to the underlying surface. The obtained analytical and numerical solutions of these problems based on the method of simple iteration. Numerical experiment and evaluation of solutions adequacy to the experimental data.

Key words: mathematical modeling, thin film, substrate, underlying surface, thin-film structure, the diffusion equation, the solution of inverse problems, the variance.

Введение

В статье представлены математические методы построения решений (приближенных и в явном аналитическом виде) некоторых

краевых задач, описывающих образование (формирование) тонких пленок на подложках. Построены решения обратных задач, поставленных в рамках изучаемой математической модели диффузионного роста тонких пленок на подложках, основанные на методе простой итерации.

Разработан и протестирован программный продукт для определения значений $\sigma_z^2(t)$ – дисперсии координат атомов пленки вдоль оси Oz в момент времени t . Проведена оценка полученных численных решений обратных задач на адекватность экспериментальным данным.

Постановка задачи

По известным средним значениям концентрации $q_2(t, x, y, z)$ атомов пленки на подложке от мгновенного точечного источника при условии их полного отражения от подложки, или по известным средним значениям концентрации $q_3(t, x, y, z)$ атомов пленки на подложке от мгновенного точечного источника при условии полного поглощения атомов пленки подложкой, а также по заданной высоте источника атомов пленки H и известным значениям мощности источника Q атомов пленки, $\sigma_x^2(t)$, $\sigma_y^2(t)$ – дисперсиям координат атомов пленки, соответственно вдоль осей Ox , Oy , определить неизвестные значения $\sigma_z^2(t)$ – дисперсии координат атомов пленки вдоль оси Oz в момент времени t .

Методология

и методы исследования

Методами решения трансцендентных уравнений, например, методом простой итерации [1, 2], построим решение поставленной задачи.

- А) Приближенный способ решения задачи (в случае *полного отражения атомов пленки подложкой*) основан на использовании метода простой итерации. Предполагаем, что известен интервал $[a, b]$ (a и b находим, например, методом подбора), в котором находится требуемый корень σ_z уравнения

$$q_2(t, x, y, z) - \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z t^3} \exp \left\{ - \left(\frac{(x - \bar{U}t)^2}{2\sigma_x^2 t} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2 t} \right) \right\} \times \\ \times \left[\exp \left\{ - \frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2 t} \right\} + \exp \left\{ - \frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2 t} \right\} \right] = 0. \quad (1)$$

В случае анизотропной среды (при условии полного отражения атомов пленки от подложки) равенство (1) перепишем в виде

$$\sigma_z = \frac{Q}{q_2(t, x, y, z) (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y t^3} \exp \left\{ - \left(\frac{(x - \bar{U}t)^2}{2\sigma_x^2 t} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2 t} \right) \right\} \times \\ \times \left[\exp \left\{ - \frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2 t} \right\} + \exp \left\{ - \frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2 t} \right\} \right],$$

Последовательные приближения к искомому корню будем находить по итерационной формуле:

$$\sigma_z^{(n+1)} = \frac{Q}{q_2(t, x, y, z) (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y t^3} \exp \left\{ - \left(\frac{(x - \bar{U}t)^2}{2\sigma_x^2 t} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2 t} \right) \right\} \times \\ \times \left[\exp \left\{ - \frac{(z - H)^2}{2(\sigma_z^{(n)})^2 t} \right\} + \exp \left\{ - \frac{(z + H)^2}{2(\sigma_z^{(n)})^2 t} \right\} \right]. \quad (2)$$

В случае изотропной среды (при условии полного отражения атомов пленки от подложки) полагают $\sigma_z = \sigma_y = \sigma_x$, тогда из (1) получим:

$$\sigma_z = \sqrt[3]{\frac{Q}{q_2(t, x, y, z) (2\pi)^{3/2} t^3}} \sqrt[3]{\exp \left\{ - \left(\frac{(x - \bar{U}t)^2}{2\sigma_z^2 t} + \frac{y^2}{2\sigma_z^2 t} \right) \right\}} \times \\ \times \sqrt[3]{\left[\exp \left\{ - \frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2 t} \right\} + \exp \left\{ - \frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2 t} \right\} \right]}.$$

Последовательные приближения к искомому корню в этом случае будем находить вместо (2) по следующей итерационной формуле:

$$\sigma_z^{(n+1)} = \sqrt[3]{\frac{Q}{q_2(t, x, y, z)(2\pi)^{3/2} t^3}} \sqrt[3]{\exp\left\{-\left(\frac{(x - \bar{U}t)^2}{2(\sigma_z^{(n)})^2 t} + \frac{y^2}{2(\sigma_z^{(n)})^2 t}\right)\right\}} \times$$

$$\times \sqrt[3]{\left[\exp\left\{-\frac{(z - H)^2}{2(\sigma_z^{(n)})^2 t}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z + H)^2}{2(\sigma_z^{(n)})^2 t}\right\}\right]}. \quad (3)$$

В качестве первого приближения $\sigma_z^{(1)}$ к искомому корню (первая итерация) можно принять любое значение σ_z из отрезка изоляции корня $[a, b]$.

Критерий окончания процесса вычислений – выполнение неравенства

$$|\sigma_z^{(n)} - \sigma_z^{(n-1)}| < \varepsilon, \quad (4)$$

где ε – желаемая погрешность.

Б) Приближенный способ решения поставленной задачи (в случае *полного поглощения атомов пленки подложкой*) основан на использовании метода простой итерации. Предполагаем, что известен интервал $[a, b]$ (a и b находим, например, методом подбора), в котором находится требуемый корень σ_z уравнения

$$q_3(t, x, y, z) - \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z t^3} \exp\left\{-\left(\frac{(x - \bar{U}t)^2}{2\sigma_x^2 t} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2 t}\right)\right\} \times$$

$$\times \left[\exp\left\{-\frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2 t}\right\} - \exp\left\{-\frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2 t}\right\}\right] = 0. \quad (5)$$

В случае анизотропной среды (при условии полного поглощения атомов пленки подложкой), воспользовавшись соотношением (5), находим:

$$\sigma_z = \frac{Q}{q_3(t, x, y, z)(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y t^3} \exp \left\{ - \left(\frac{(x - \bar{U}t)^2}{2\sigma_x^2 t} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2 t} \right) \right\} \times \\ \times \left[\exp \left\{ - \frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2 t} \right\} - \exp \left\{ - \frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2 t} \right\} \right].$$

Последовательные приближения к искомому корню будем находить по итерационной формуле

$$\sigma_z^{(n+1)} = \frac{Q}{q_3(t, x, y, z)(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y t^3} \exp \left\{ - \left(\frac{(x - \bar{U}t)^2}{2\sigma_x^2 t} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2 t} \right) \right\} \times \\ \times \left[\exp \left\{ - \frac{(z - H)^2}{2(\sigma_z^{(n)})^2 t} \right\} - \exp \left\{ - \frac{(z + H)^2}{2(\sigma_z^{(n)})^2 t} \right\} \right]. \quad (6)$$

В случае изотропной среды (при условии полного поглощения атомов пленки подложкой) полагают $\sigma_z = \sigma_y = \sigma_x$, тогда из (5) получим

$$\sigma_z = \sqrt[3]{\frac{Q}{q_3(t, x, y, z)(2\pi)^{3/2} t^3}} \sqrt[3]{\exp \left\{ - \left(\frac{(x - \bar{U}t)^2}{2\sigma_z^2 t} + \frac{y^2}{2\sigma_z^2 t} \right) \right\}} \times \\ \times \sqrt[3]{\left[\exp \left\{ - \frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2 t} \right\} - \exp \left\{ - \frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2 t} \right\} \right]}.$$

Последовательные приближения к искомому корню будем находить вместо (6) по следующей итерационной формуле

$$\sigma_z^{(n+1)} = \sqrt[3]{\frac{Q}{q_3(t, x, y, z)(2\pi)^{3/2}t^3}} \sqrt[3]{\exp\left\{-\left(\frac{(x - \bar{U}t)^2}{2(\sigma_z^{(n)})^2 t} + \frac{y^2}{2(\sigma_z^{(n)})^2 t}\right)\right\}} \times$$

$$\times \sqrt[3]{\left[\exp\left\{-\frac{(z - H)^2}{2(\sigma_z^{(n)})^2 t}\right\} - \exp\left\{-\frac{(z + H)^2}{2(\sigma_z^{(n)})^2 t}\right\}\right]}. \quad (7)$$

В качестве первого приближения $\sigma_z^{(1)}$ к искомому корню (первая итерация) можно принять любое значение σ_z из отрезка изоляции корня $[a, b]$.

Критерий окончания процесса вычислений – выполнение неравенства

$$\left| \sigma_z^{(n)} - \sigma_z^{(n-1)} \right| < \varepsilon,$$

где ε – желаемая погрешность.

Обсуждение результатов исследования

Изменения значений средней концентрации q атомов пленки в заданном пространстве от мгновенного точечного источника можно описать (при условии, что фоновая концентрация атомов пленки не учитывается) уравнением диффузии вида [4]

$$\frac{\partial q}{\partial t} + U \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} K_x \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial q}{\partial z} \quad (8)$$

с начальным условием

$$q(0, x, y, z) = Q \delta(x) \delta(y) \delta(z - H), \quad (9)$$

где $Q = \text{const} > 0$, $\delta(x)$ – δ -функция Дирака.

Будем предполагать, что U , K_x , K_y , K_z являются непрерывными функциями аргумента

$$z : U = U(z), K_x = K_x(z), K_y = K_y(z), K_z = K_z(z).$$

Кроме уравнения (9) для описания изменений значений средней концентрации атомов пленки на подложке от мгновенного источника можно использовать функцию из [3]

$$q_1(t, x, y, z) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x(t) \sigma_y(t) \sigma_z(t)} \exp \left\{ - \left[\frac{(x - \bar{U}t)^2}{2\sigma_x^2(t)} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2(t)} + \frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2(t)} \right] \right\}, \quad (10)$$

называемую гауссовой функцией распределения концентрации атомов пленки, где $\sigma_x^2(t)$, $\sigma_y^2(t)$, $\sigma_z^2(t)$ – дисперсии координат атомов пленки соответственно вдоль осей Ox , Oy , Oz в момент времени t , $\bar{U}$ – средняя по высоте скорость переноса атомов вдоль оси Ox ($\sigma_x^2(t)$, $\sigma_y^2(t)$, $\sigma_z^2(t)$ – непрерывные функции аргумента t , $t \geq 0$, $\bar{U} = const$).

Известно из [4], что при $t \rightarrow \infty$

$$\frac{\sigma_x^2(t)}{t} \rightarrow \sigma_x^2, \quad \frac{\sigma_y^2(t)}{t} \rightarrow \sigma_y^2, \quad \frac{\sigma_z^2(t)}{t} \rightarrow \sigma_z^2,$$

где $\sigma_x^2 > 0$, $\sigma_y^2 > 0$, $\sigma_z^2 > 0$ – некоторые постоянные. Поэтому будем считать, что при достаточно больших t справедливы приближенные равенства:

$$\sigma_x^2(t) = \sigma_x^2 \cdot t, \quad \sigma_y^2(t) = \sigma_y^2 \cdot t, \quad \sigma_z^2(t) = \sigma_z^2 \cdot t \quad (11)$$

Концентрация атомов пленки $q_1(t, x, y, z)$, задаваемая выражением (10), при выполнении условий (11) удовлетворяет уравнению

$$\frac{\partial q_1}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial q_1}{\partial x} - \frac{1}{2} \sigma_x^2 \frac{\partial^2 q_1}{\partial x^2} - \frac{1}{2} \sigma_y^2 \frac{\partial^2 q_1}{\partial y^2} - \frac{1}{2} \sigma_z^2 \frac{\partial^2 q_1}{\partial z^2} = 0$$

и начальному условию (9). Перепишем уравнение (8) в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial q}{\partial x} - \frac{1}{2} \sigma_x^2 \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} - \frac{1}{2} \sigma_y^2 \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} - \frac{1}{2} \sigma_z^2 \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} + (U(z) - \bar{U}) \frac{\partial q}{\partial x} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x(z) - \frac{1}{2} \sigma_x^2 \right) \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y(z) - \frac{1}{2} \sigma_y^2 \right) \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z(z) - \frac{1}{2} \sigma_z^2 \right) \frac{\partial q}{\partial z}. \end{aligned} \quad (12)$$

Ясно, что чем меньше

$$(U(z) - \bar{U}), \left(K_x(z) - \frac{1}{2} \sigma_x^2 \right), \left(K_y(z) - \frac{1}{2} \sigma_y^2 \right), \left(K_z(z) - \frac{1}{2} \sigma_z^2 \right)$$

отклоняются от 0, тем меньше q_1 , задаваемая выражением (10), будет отклоняться от точного решения q (если только q непрерывно зависит от коэффициентов уравнения [9]). Для того, чтобы $\bar{U}$, σ_x^2 , σ_y^2 , σ_z^2 наименее уклонялись на интервале $[0, h]$ соответственно от $U(z)$, $K_x(z)$, $K_y(z)$, $K_z(z)$, где h – высота (толщина) пленки, достаточно, чтобы выполнялись условия:

$$\begin{aligned} \int_0^h (U(z) - \bar{U})^2 dz &\rightarrow \min_{\bar{U}}, \\ \int_0^h \left(K_x(z) - \frac{1}{2} \sigma_x^2 \right)^2 dz &\rightarrow \min_{\sigma_x^2}, \\ \int_0^h \left(K_y(z) - \frac{1}{2} \sigma_y^2 \right)^2 dz &\rightarrow \min_{\sigma_y^2}, \\ \int_0^h \left(K_z(z) - \frac{1}{2} \sigma_z^2 \right)^2 dz &\rightarrow \min_{\sigma_z^2}, \end{aligned} \quad (13)$$

$\bar{U}$, σ_x^2 , σ_y^2 , σ_z^2 , удовлетворяющие условиям (13), имеют вид:

$$\begin{aligned} \bar{U} &= \frac{1}{2} \int_0^h U(z) dz, \\ \sigma_x^2 &= \frac{2}{h} \int_0^h K_x(z) dz, \\ \sigma_y^2 &= \frac{2}{h} \int_0^h K_y(z) dz, \\ \sigma_z^2 &= \frac{2}{h} \int_0^h K_z(z) dz. \end{aligned} \quad (14)$$

Таблица 1. КОЛИЧЕСТВО АТОМОВ ВИСМУТА НА АЛЮМИНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ И МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА АТОМОВ ПЛЕНКИ В ТОЧКЕ (2,2,3) В МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ $t \in [0,60]$ С

$t, \text{с}$	$q, 1/\text{см}^3$	$Q(t), 1/(\text{см}^3 \times \text{с})$
0	0	0
5	$0,186978 \times 10^4$	0,788888
10	$0,850842 \times 10^6$	0,901052
15	$0,252913 \times 10^7$	0,925270
20	$0,453681 \times 10^8$	0,933428
25	$0,622814 \times 10^9$	0,948164
30	$0,753651 \times 10^{10}$	0,950087
35	$0,158437 \times 10^{11}$	0,959165
40	$0,579420 \times 10^{12}$	0,962743
45	$0,768428 \times 10^{13}$	0,975482
50	$0,778513 \times 10^{14}$	0,980274
55	$0,548329 \times 10^{15}$	0,986513
60	$0,845235 \times 10^{16}$	0,990021

Следовательно, функцию $q_1(t, x, y, z)$, задаваемую выражением (10), где $\sigma_x(t)$, $\sigma_y(t)$, $\sigma_z(t)$, определяются из соотношений (11), (14), можно принять за приближенное решение задачи (8), (9).

Пример. Экспериментальные данные, взятые из отчетов ООО НПФ «Микротехнология» [5] и содержащие информацию о росте пленки висмута на алюминиевой подложке и мощности источника атомов пленки в точке (2,2,3) в моменты времени $t \in [0,60]$ с приведены в таблице 1.

Табл. 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ВЫЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ σ_z В МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ $t \in [0,60]$ С

$t, \text{с}$	σ_z , экспериментальная	σ_z , вычисленная
0	2,658234846	2,731651481
5	2,658234846	2,651906245
10	2,658234846	2,661282457
15	2,658234846	2,655416482
20	2,658234846	2,659323547
25	2,658234846	2,660548722
30	2,658234846	2,662432145
35	2,658234846	2,659124231
40	2,658234846	2,655512649
45	2,658234846	2,661292135
50	2,658234846	2,672181462
55	2,658234846	2,645452579
60	2,658234846	2,693487454

Средняя скорость вектора горизонтального переноса $\vec{u}(t) = 0,5$ м/с, высота источника атомов пленки $H = 0,3$ см, среда изотропна, атомы пленки полностью поглощаются подложкой (образуется пленки висмута на алюминиевой подложке). Вычислить значения дисперсии координат атомов пленки σ_z вдоль оси Oz в указанные в таблице 1 моменты времени.

Расчетные определенные согласно (6) (полученные с помощью программы ОЗ_ММ_Г) и экспериментальные значения σ_z приведены в таблице 2.

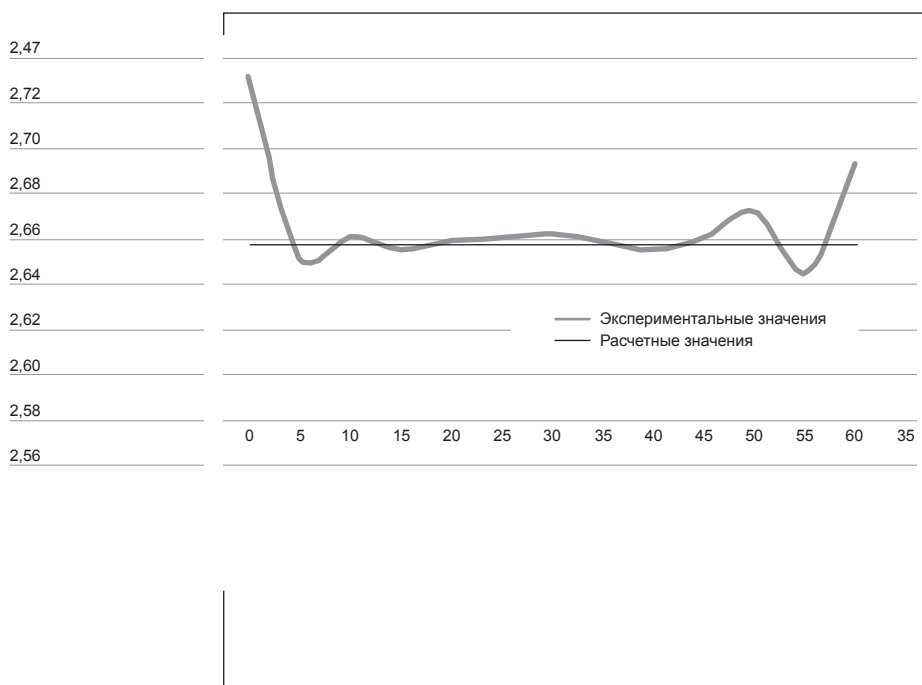


Рис. 1. Экспериментальные (прямая) и вычисленные (кривая) значения σ_z в моменты времени $t \in [0, 60]$ с.

Графическая реализация экспериментальных и вычисленных значений σ_z представлена на рисунке 1.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующий вывод: вычисленные значения σ_z в моменты времени $t \in [0, 60]$ с отклоняются от экспериментальных больше всего на концах расчетного интервала, но не более чем на 3 %.

Выводы

Таким образом, в статье проведено математическое моделирование решения краевых задач, возникающих в задачах роста тонких

пленок на подложках. Представлено аналитическое и численное решение задачи определения дисперсии координат атомов пленки. На примере (образование пленки висмута на алюминиевой подложке) продемонстрирована адекватность полученных результатов расчетов экспериментальным данным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бахвалов Н.С. Численные методы. М.: Наука, 1973. 614 с.
2. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. Т. 1. М.: Физматгиз, 1962. 472 с.
3. Тарасенко Е.О., Гладков А.В. Восстановление высоты расположения источника в математической модели роста тонких пленок на подложках // Инфокоммуникационные технологии. Т. 13. № 1. 2015. С. 7–12.
4. Семенчин Е.А. Аналитические решения краевых задач в математической модели атмосферной диффузии; под редакцией И.Э. Наац. Ставрополь: Издательство Ставропольского Краевого института усовершенствования учителей, 1993. 141 с.
5. <http://microtechnologia.ru>. Официальный сайт ООО НПФ «Микротехнология».

УДК 004.315

**Червяков Н.И. [Chervyakov N.I],
Ляхов П.А. [Lyakhov P.A.],
Калита Д.И. [Kalita D.I.],
Шульженко К.С. [Shulzhenko K.S.]**

ВЛИЯНИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ РАЗРЯДНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФИЛЬТРА НА КАЧЕСТВО ВЕЙВЛЕТ-ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ОТТЕНКАХ СЕРОГО

**Effect of filter digit capacity limitation on the
grayscale image wavelet-processing quality**

В статье исследован вопрос о влиянии снижения разрядности коэффициентов фильтра при вейвлет-обработке изображений в оттенках серого. Показано, что снижение разрядности коэффициентов вейвлетного фильтра ведет к снижению качества получаемого изображения при обработке. Сделан вывод о том, что пригодное на практике изображение можно получить при использовании 12 и более бит представления разрядности коэффициентов, а визуально неотличимое при использовании 28 и более бит разрядности коэффициентов фильтра. Полученный результат может быть использован при построении специализированных систем цифровой обработки изображений с низким энергопотреблением и высокой скоростью работы. Перспективным направлением является применение системы остаточных классов при вейвлет обработке изображений в оттенках серого с разрядностью данных коэффициентов фильтра от 12 и более бит.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, вейвлет-преобразование, разрядность коэффициентов фильтра, цифровой фильтр.

In this paper we investigated the problem of the bit data decrease effect for the problems of grayscale image processing. There is shown that the digit capacity decrease of the wavelet filter coefficients reduces the quality of the wavelet processed image. We conclude that suitable image in practice can be obtained by using 12-bit representation of filter coefficients, and visually indistinguishable image can be obtained by using 28-bit representation of filter coefficients. This result can be used for specialized digital image processing systems construction with low power consumption and high speed performance.

Key words: digital signal processing, wavelet transform, digit capacity, digital filter.

Введение

Увеличение интереса к использованию вычислительной техники влечет за собой необходимость в обработке различного рода сигналов: видео, изображений, речи и т. д. В связи с этим, идет активный поиск новых качественных и надежных средств цифровой обработка сигнала.

лов (ЦОС) и, как следствие, цифровой обработки изображений (ЦОИ) [1]. ЦОИ охватывает различные области науки и техники, в которых информация представляется в виде изображения, например, медицина, средства спутниковой и навигационной связи, системы видеонаблюдения, средства технической диагностики и т. д.

Одними из наиболее распространенных методов обработки изображений являются преобразование Фурье и вейвлет-преобразование. Преобразование Фурье заключается в разложении частоты сигнала в виде суперпозиции гармонических компонент (синусоид) [2]. В свою очередь, обработка сигналов в частотной области упрощает вычислительную сложность в анализе фильтрации. Однако при проведении Фурье-преобразования используются гармонические функции, которые хорошо локализованы в частотной области, но не локализованы во временной [3]. Это является существенным недостатком преобразования Фурье, которое можно преодолеть, используя вейвлет-преобразование, предоставляющее как частотную, так и временную информацию об обрабатываемом сигнале [4]. Исследование по проблемам применения вейвлет-преобразования в ЦОС отражено в работах [5-7].

Ключевыми параметрами приложений, использующих ЦОИ, являются скорость работы и величина энергопотребления [8]. Особенно важным это является для мобильных энергозависимых устройств и устройств спутниковой связи. Одним из методов улучшения этих параметров является снижения разрядности коэффициентов фильтра в представляемых данных [9]. Целью данной статьи является исследование вопроса о влиянии снижения разрядности коэффициентов фильтра на качество обработки в задачах вейвлет-преобразования изображений в оттенках серого.

Основы вейвлет обработки изображений

В основе вейвлет-преобразования лежит использование двух непрерывных и интегрируемых по всей оси функций вейвлет-функции $\psi(t)$ и масштабирующей или скейлинг-функции $\varphi(t)$, таких как в [10]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0, \quad \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) dt = 1. \quad (1)$$

Вейвлет-функция также должна обладать свойством сдвига во времени и масштабируемости:

$$\psi(t, a, b) = \psi(a, b, t) = a^{-\frac{1}{2}} \psi_0\left(\frac{t-b}{a}\right). \quad (2)$$

Прямое непрерывное вейвлет-преобразование сигнала $s(t)$ задается вычислением вейвлет-коэффициентов по формуле:

$$C(a, b) = \langle s(t), \psi(a, b, t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) a^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (3)$$

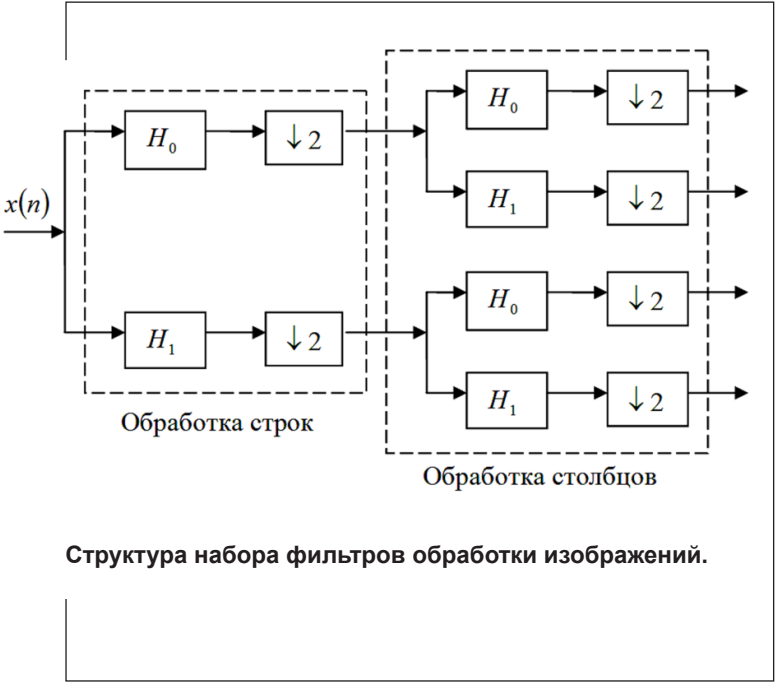
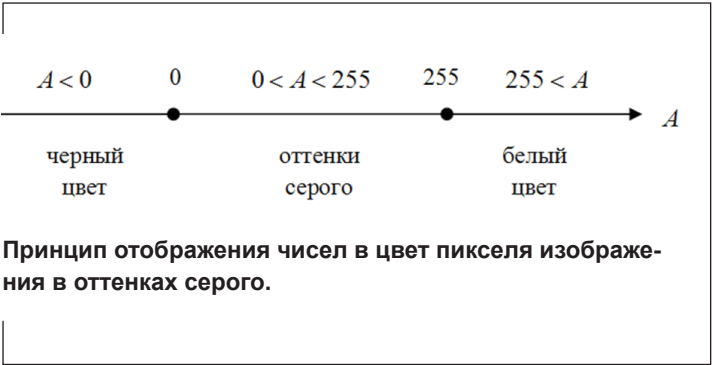
Обратное непрерывное вейвлет-преобразование осуществляется по формуле восстановления во временной области [11]:

$$f = C_{\psi}^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dad b}{a^2} \langle f, \psi^{a,b} \rangle \psi^{a,b}. \quad (4)$$

В связи со значительным неудобством вычисления интегралов на практике величины a и b обычно задаются дискретно [12]. В этом случае реализуется дискретное вейвлет-преобразование. В численном и функциональном анализе дискретные вейвлет-преобразования (ДВП) относятся к вейвлет-преобразованиям, в которых вейвлеты представлены дискретными сигналами (выборками) [13] в следующем виде:

$$S(t) = \sum_{i=1}^{N-1} S(i\Delta t) \delta(t - i\Delta t), \quad (5)$$

В дальнейшем будем рассматривать изображения в оттенках серого. При цифровой обработке изображений изображение обычно представляется в виде прямоугольного массива целых чисел (пиксе-



лей). При этом яркость или темнота уровней серого цвета определяется степенями 2. Таким образом, чем больше число, представляющее код пикселя, тем ярче изображение в этой точке. Величина пикселей изображения кодируется 8-битными числами, находящимися в диапазоне $[0,255]$, при этом 0 представляет черный цвет, 255 белый [14]. На рисунке 1 схема-

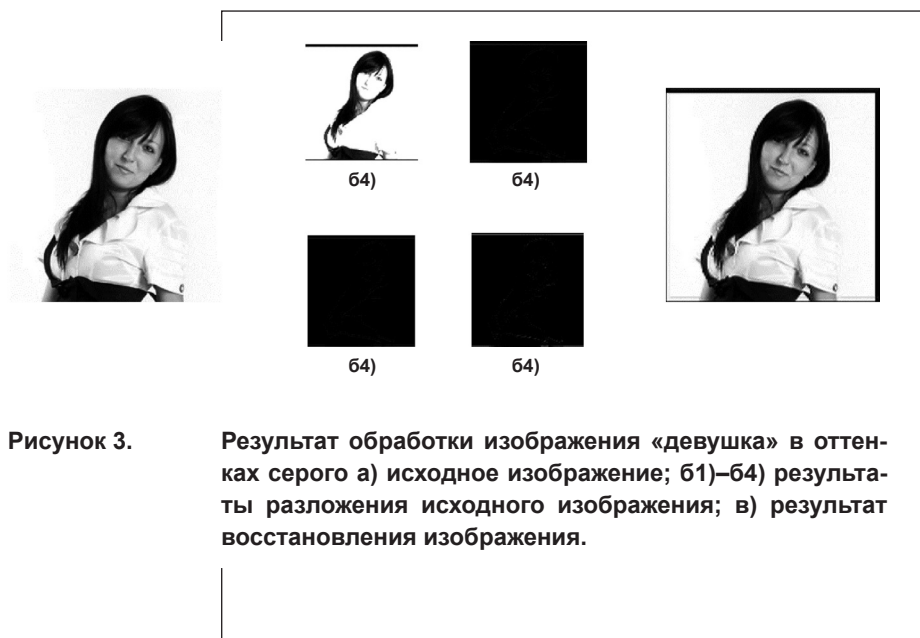


Рисунок 3.

Результат обработки изображения «девушка» в оттенках серого а) исходное изображение; б1)–б4) результаты разложения исходного изображения; в) результат восстановления изображения.

тически представлена зависимость цветности пикселя, представленного в оттенках серого, от величины кодового числа.

Для обработки изображений будем использовать вейвлетные фильтры. В этом случае для обработки изображения требуется двукратное применение фильтров, так как изображение представляется в виде двумерного массива данных. Таким образом, обработка изображения происходит в два этапа. Первый этап состоит в обработке строк изображения, второй в обработке его столбцов. Обратный этап восстановления изображения также происходит в два этапа и реализуется аналогичным образом [15, 16]. На рисунке 2 схематично представлены этапы обработки изображений.

Покажем работу фильтра Добеши-4 на примере. В качестве исходного изображения используем изображение «девушка», после обработки его вейвлет фильтрами получили 4 изображения, одно из которых является уменьшенной копией оригинала. На этапе восстановления получаем изображение, совпадающее с изображением, не подвергшемся фильтрации.

Исходные, использующие коэффициенты фильтра, являются числами двойной точности длиной 64 бита. Разложение и восстановление изображения с использованием фильтра Db-4 проводилось в программной среде MATLAB®.

Влияние изменения разрядности коэффициентов фильтра на снижение энергопотребления и скорость работы устройства

Одним из наиболее используемых и часто применяемых на практике при цифровой обработке данных является 8 битное представление информации. При 8 битном представлении данных со знаком, под величину числа отводится 6 бит, а знак числа определяется 2 старшими битами (0 – положительное, 01 и 10 – недопустимые комбинации, используемые для обнаружения ошибок, 1 – отрицательное).

Приведем пример записи числа 47 в 8-битном представлении, используя прямой, обратный и дополнительный коды записи информации. При переводе числа из десятичной в двоичную систему счисления, мы получим следующее представление данного числа, что будет соответствовать прямому коду представления:

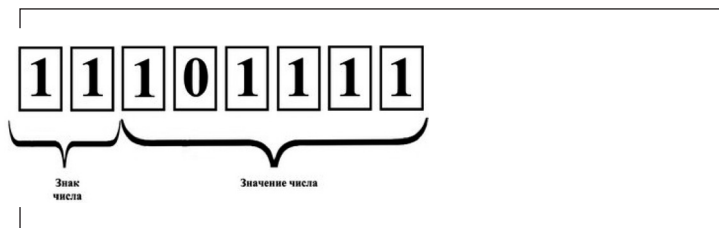


Рисунок 4. **Схематичное представление числа 47 в записи прямого кода.**

Соответствующий данному числу обратный код записи будет выглядеть следующим образом:

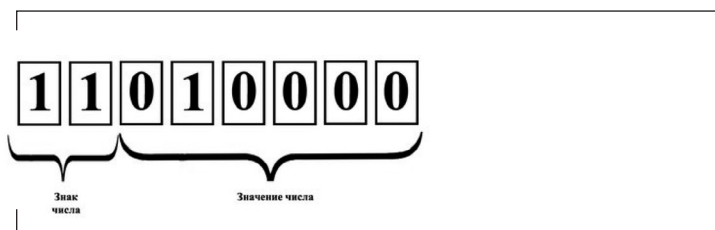


Рисунок 5. Схематичное представление числа 47 в записи обратного кода.

Дополнительный код представления числа образован путем прибавления к младшему биту в записи обратного кода 1, таким образом получаем:

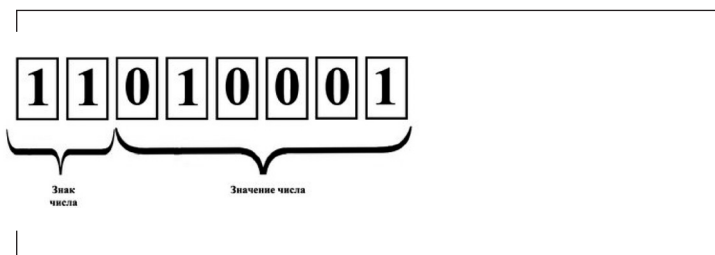


Рисунок 6. Схематичное представление числа 47 в записи дополнительного кода.

На практике применяются обратный и дополнительный коды, что связано с сокращением числа выполняемых операций и с количеством затраченного энергопотребления. В случае применения обратного кода имеется массив данных большей размерности и при этом большее количество операций. В дополнительном коде имеем меньший массив данных и меньшее число операций за счет неиспользования циклического переноса из старшего в младший разряд, что соответственно приводит к снижению затраченного энергопотребления.

Наиболее существенными характеристиками цифрового устройства при построении цифровых фильтров являются энергопотребление и быстродействие [17]. Динамическое потребление мощности микросхемой определяется по формуле:

$$W = n \cdot C \cdot V^2 \cdot f \quad (6)$$

где n — число переключаемых узлов;
 C — емкость;
 V — разность уровней напряжения;
 f — частота.

В формуле (1) число переключаемых узлов зависит, в том числе и от разрядности чисел, используемых во всех операциях.

Таким образом, из формулы (6) можно сделать вывод о прямо пропорциональном влиянии количества разрядности данных на результирующую, потребляемой мощности приложением ЦОИ.

На быстродействие интегральной схемы оказывают влияние несколько факторов, которые входят в формулы (7) и (8) [18]:

$$t_{read/write} = \frac{N_{elements} \cdot N_{bytes/elements}}{a_{read/write} \cdot Throughput_{ideal}}, \quad (7)$$

где $N_{elements}$ — количество передаваемых элементов,
 $N_{bytes/elements}$ — размер элемента данных,
 $Throughput_{ideal}$ — идеальная пропускная способность при чтении/записи,
 $a_{read/write}$ — коэффициенты соотношения реальной и идеальной пропускной способности.

$$t_{comp} = \frac{N_{elements} \cdot N_{operations/element}}{f_{clock} \cdot Throughput_{process}}, \quad (8)$$

$$t_{comp} = \frac{N_{elements} \cdot N_{operations / element}}{f_{clock} \cdot Throughput_{process}}$$

где $N_{elements}$ — количество обрабатываемых элементов,
 $N_{operations/elements}$ — количество операций над элементом данных, необходимое для достижения конечного результата,
 f_{clock} — тактовая частота,
 $Throughput_{process}$ — количество операций за такт.

В формулах (7) и (8) значение $N_{operations/elements}$ указывает на размер входных данных для формулы (7) и обрабатываемых данных для формулы (8). Одним из путей увеличения быстродействия устройства и снижения энергопотребления является уменьшение разрядности обрабатываемых коэффициентов фильтра. Далее будет показано, как влияет снижение разрядности на качество вейвлет-обработки изображения в оттенках серого.

Моделирование обработки изображения с пониженной разрядностью коэффициентов фильтра

Для моделирования обработки изображения использовались три изображения: «девушка», «дом», «тюльпаны». Для коэффициентов фильтра использовалась разрядность от 4 до 32 бит.

Из рисунков 7-9 видно, что с повышением разрядности коэффициентов фильтра увеличивается качество фильтруемого изображения.

Для количественной оценки качества полученных результативных изображений используем числовые характеристики PSNR и SSIM.

1. PSNR, или пиковое отношение сигнал-шум, между двумя изображениями (оригиналом и полученным изображением). Вычисляется данная характеристика по формуле:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{R^2}{MSE} \right), \quad (9)$$

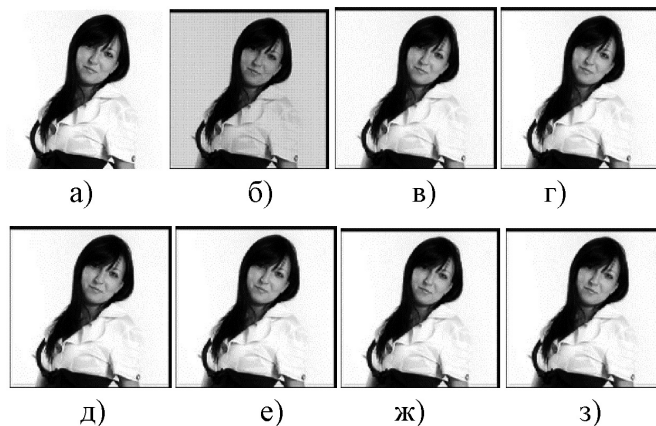


Рисунок 7.

Результаты моделирования изображения «девушка» с пониженной разрядностью коэффициентов фильтра.

а) исходное изображение; б) 8 бит; в) 12 бит; г) 16 бит; д) 20 бит; е) 24 бит; ж) 28 бит з) 32 бит

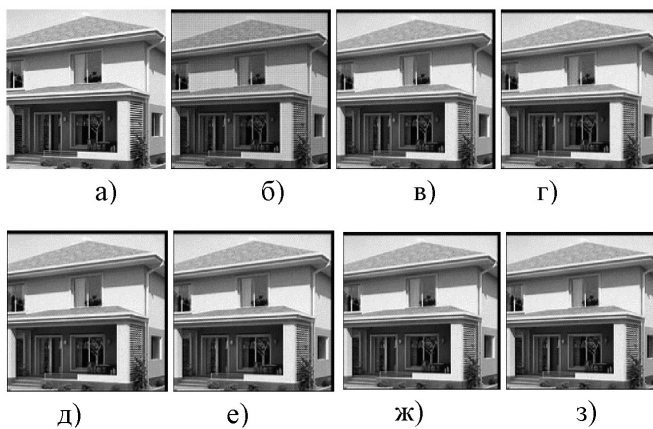


Рисунок 8.

Результаты моделирования изображения «дом» с пониженной разрядностью коэффициентов фильтра.

а) исходное изображение; б) 8 бит; в) 12 бит; г) 16 бит; д) 20 бит; е) 24 бит; ж) 28 бит з) 32 бит

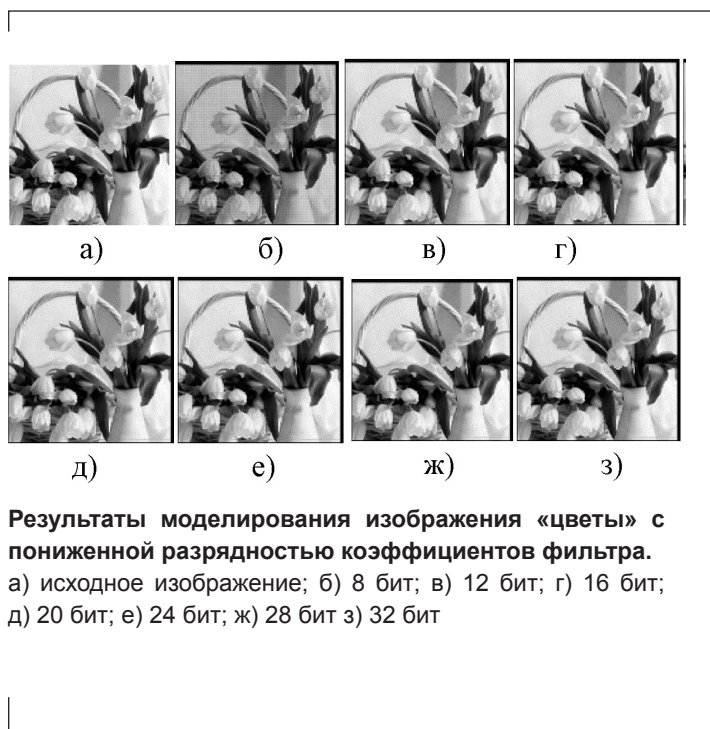


Рисунок 9.

Результаты моделирования изображения «цветы» с пониженной разрядностью коэффициентов фильтра.

а) исходное изображение; б) 8 бит; в) 12 бит; г) 16 бит; д) 20 бит; е) 24 бит; ж) 28 бит з) 32 бит

где

$$MSE = \frac{\sum_{M,N} [I_1(m,n) - I_2(m,n)]^2}{M \cdot N} -$$

среднеквадратическая ошибка сравнения качества восстановленного изображения; R – максимальное колебание входного сигнала изображения. Так как величина $PSNR$ имеет логарифмическую природу, единицей ее измерения является децибел (Дб). Чем больше величина $PSNR$, тем лучше качество восстановленного изображения для тождественно равных изображений $PSNR = \infty$. При исследовании алгоритмов сжатия и очистки от шума изображений в оттенках серого практически пригодной считается величина $PSNR$, изменяющаяся в пределах от 20 Дб до 50 Дб [19, 20]. Для рассматриваемых нами случаев фильтрации изображений с разной разрядностью коэффициентов фильтра вычислялась ве-

личина $PSNR$ между изображением, полученным при использовании традиционной двоичной системы счисления и изображением, полученным с использованием соответствующей разрядности коэффициентов: 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32.

2. SSIM, или индекс структурного сходства между двумя изображениями, определяется на основе полного сопоставления исходного и полученного изображений [21]. Данная характеристика вычисляется по формуле:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (10)$$

где μ_x – среднее x , μ_y – среднее y , σ_x^2 – дисперсия x , σ_y^2 – дисперсия y , σ_{xy} – ковариация x и y , $c_1 = (k_1L)^2$, $c_2 = (k_2L)^2$ – две переменных, L – динамический диапазон пикселей, $k_1 = 0,001$ и $k_2 = 0,03$ константы. Величина SSIM находится в пределах между 0 и 1 и равна 1 для тождественно равных изображений. Для рассматриваемых нами случаев фильтрации изображений с различной разрядностью коэффициентов фильтра величина $SSIM$ вычислялась между изображением, полученным при использовании традиционной двоичной системы счисления и изображением, с соответствующей разрядностью коэффициентов фильтра.

В таблице 1 представлены результаты оценки качества обработанных изображений с использованием различной разрядности коэффициентов фильтра.

Из таблицы 1 видно, что уменьшение разрядности коэффициентов фильтра ведет к снижению качества обработанных изображений в оттенках серого. Таким образом, чем больше разрядность представляе-

Табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАБОТКИ
ИЗОБРАЖЕНИЙ С РАЗЛИЧНОЙ РАЗРЯДНОСТЬЮ
КОЭФФИЦИЕНТОВ ФИЛЬТРА

Разрядность	Характеристика	Изображение		
		девушка	дом	цветы
8	PSNR, Дб	18,15	20,69	19,73
	SSIM	0,5398	0,7940	0,7117
12	PSNR, Дб	42,13	44,51	43,63
	SSIM	0,9903	0,9973	0,9961
16	PSNR, Дб	60,29	58,95	58,55
	SSIM	0,9995	0,9997	0,9995
20	PSNR, Дб	71,86	69,81	69,49
	SSIM	1,0000	1,0000	1,0000
24	PSNR, Дб	83,07	83,49	82,18
	SSIM	1,0000	1,0000	1,0000
28	PSNR, Дб ∞	∞	96,49	96,49
	SSIM	1	1,0000	1,0000
32	PSNR, Дб	∞	∞	∞
	SSIM	1	1	1

мых коэффициентов фильтра (в нашем случае изображения), тем лучше результат обработки изображения. Анализируя полученные результаты моделирования можно сделать вывод о том, что использование 12 битной разрядности коэффициентов фильтра дает приемлемое качество изображения, однако визуально неотличимое от оригинала. Для абсолютно точных расчетов, необходимо использовать 28 и более бит разрядности коэффициентов фильтра.

Рисунок 10 показывает, что при увеличении разрядности коэффициентов фильтра показатель PSNR также увеличивается, что говорит об улучшении качества полученного при обработке изображения.

Из рисунка 11 видно, что при разрядности, равной от 12 бит, SSIM становится приблизительно равным единице, что свидетельствует о получении результирующего изображения близкого по качеству к исходному.

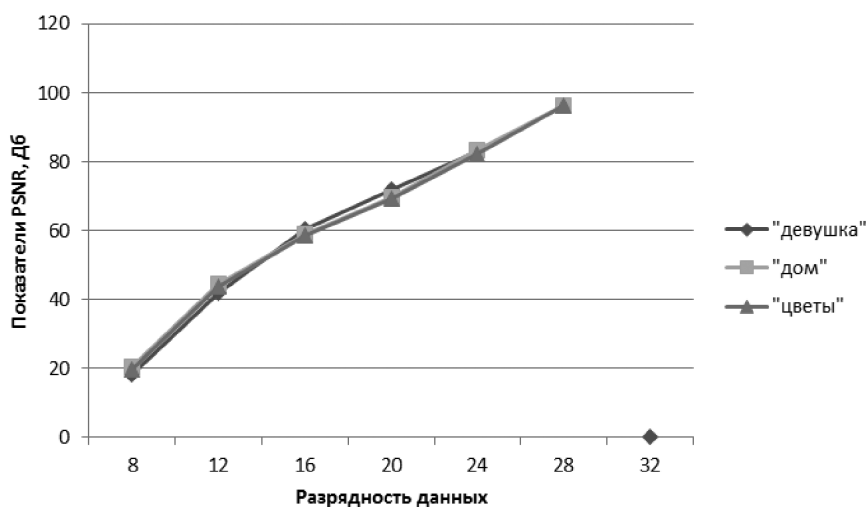


Рисунок 10. Результаты PSNR изображений с уменьшением разрядности коэффициентов фильтра.

Заключение

В статье исследовано влияние снижения разрядности обрабатываемых коэффициентов фильтра для цифровой обработки изображений в оттенках серого с использованием вейвлет-фильтров. Полученные в работе результаты свидетельствуют о том, что снижение разрядности коэффициентов фильтра до 12 бит позволяет получать пригодные на практике изображения в оттенках серого ($PSNR > 40$ Дб). Сравнение числовых характеристик PSNR и SSIM показывает, что качество результирующего изображения становится практически неотличимым от требуемого при разрядности обрабатываемых коэффициентов от 28 бит.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании устройств вейвлет обработки изображений, обладающих высокой скоростью и низким энергопотреблением. Интересным направлением

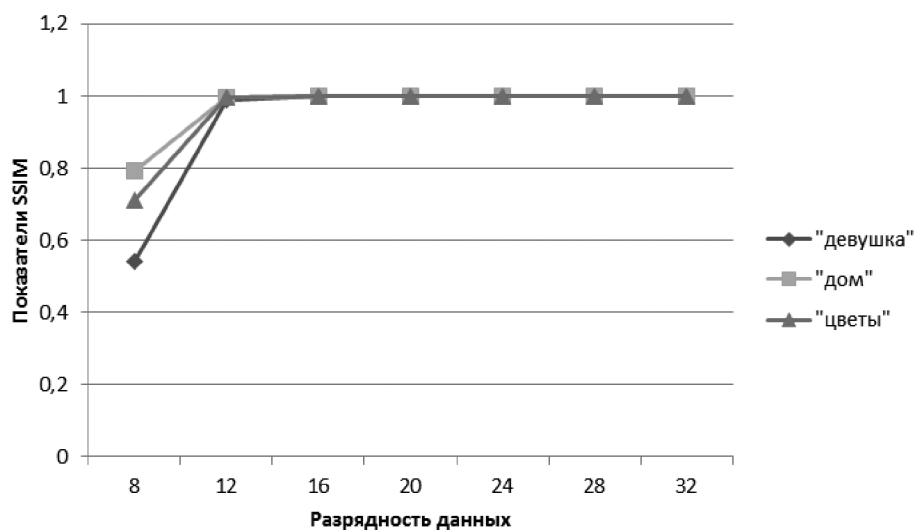


Рис. 11. Результаты SSIM изображений с уменьшением разрядности коэффициентов фильтра.

дальнейших исследований является моделирование вейвлет обработки с пониженной разрядностью коэффициентов на программируемых логических интегральных схемах.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-5980.2016.9.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2003. 604 с.
2. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления свёрток. М.: Радио и связь, 1985. 248 с.

3. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 464 с.
4. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории. М.: Техносфера, 2006. 272 с.
5. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.: ВУС, 1999. 204 с.
6. Переберин А.В. О систематизации вейвлет-преобразований // Вычислительные методы и программирование. 2001. Т. 2. С. 15-40.
7. Фрейзер М. Введение в вэйвлеты в свете линейной алгебры / М. Фрейзер; пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 487 с.
8. Juxia M. Based on the fourier transform and the wavelet transformation of the digital image processing // Computer Science and Information Processing (CSIP), 2012. P. 1232-2134.
9. Hernandez, N.R.; Quirarte, J.L.R. Bits planes technique for digital image processing // Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control, 2008. P. 186-191.
10. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование. // Успехи физических наук. 2001. № 5. С. 465-501.
11. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab. М.: ДМК Пресс, 2005. 304 с.
12. Дьяконов В.П. Вэйвлеты. От теории к практике. М.: СОЛОН-Р, 2002. 446 с.
13. Новиков И.Я. Теория всплесков / И. Я. Новиков, В. Ю. Протасов, М. А. Скопина. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 616 с.
14. Shin F. I. Image processing and pattern recognition: fundamentals and techniques / Wiley-IEEE Press, 2010. 552 p.
15. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. М.: Мир, 2005. 671 с.
16. Goswami J.C., Chan A.K. Fundamentals of Wavelets. Theory, Algorithms, and Applications. Wiley, 2000. 306 p.
17. Mitra S. Digital Signal Processing: A Completed-Based Approach / 3 edition. UCSB: Mc Graw Hill, 2006. 960 p.
18. Тарасов И. Оценка потребляемой мощности и выбор питания ПЛИС Xilinx. Компоненты и технологии. №2, 2009 г. С. 62-64.
19. Holland B. RAT: RC Amenability Test for Rapid Performance Prediction /URL: <http://www.cse.sc.edu>
20. Huynh-Thu Q., Ghanbari M. Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment // Electronics Letters. 2008. 44, No. 13. Pp 800–801.
21. Wang Z. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity // IEEE Transactions image processing. 2004. 13, No. 4. Pp. 600–61.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ, №2, 2016

УДК556.3:
519.87(470.63)

Бегдай И.В. [Begday I. V.]
Бондарь Е.В. [Bondar E. V.]
Перекопская Н.Е. [Perekopskaya N. E.]

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РОДНИКОВ ГОРОДА СТАВРОПОЛЯ МЕТОДОМ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

**The research of the pollution of springs in the city
of Stavropol by the method of factor analysis**

Проведены исследования загрязнения вод шести родников г. Ставрополя по 13 видам загрязнения методом факторного анализа. Анализ проб проводился на базе НУЛ «Экоаналитическая лаборатория исследования окружающей среды» ЦКП СКФУ; с использованием следующих приборов: атомно-абсорбционного спектрометра с атомизацией в пламени ICE 3300 (Thermo Scientific, США), кондуктометра «Эксперт-002», спектрофотометра «Genesys» мод. 10s (Thermo Scientific, США), рН-метра рН-150МИ. Составлены корреляционная матрица монарных (корреляция факторов между собой) и бинарных отношений (корреляция между различными факторами). Рассмотрены бинарные отношения с коэффициентами корреляции в пределах $0,3 \leq r < 0,5$ (слабые), $0,5 \leq r < 0,7$ (средние), $0,7 \leq r < 0,9$ (сильные) и $r \geq 0,95$ (сверхсильные). Выделены 20 сверхсильных бинарных отношений и расположены по убыванию значения коэффициента корреляции. Обращает на себя внимание взаимовлияние следующих показателей: сульфаты ↔ хлориды, взаимовлияние электропроводности и общей минерализации, железа ↔ цинк, что необходимо учитывать при разработке программ экологического мониторинга водных объектов. В случае увеличения частоты наблюдений, факторный анализ поможет проводить мониторинг качества родниковых вод с учетом сезонных изменений гидрохимических показателей.

Ключевые слова: факторный анализ, бинарное отношение, монарное отношение, родники, Ставрополь, корреляционная матрица.

The researches of pollution of six springs in Stavropol were made according to thirteen kinds of contamination by factor analysis. Analysis of samples was carried out on the basis of Scientific-Educational Laboratory «Ecoanalytical Laboratory of Environmental Research» CCU NCFU; using the following instruments: atomic absorption spectrometer with flame atomization at ICE 3300 (ThermoScientific, USA), conductivity meter «Expert-002», spectrophotometer «the Genesys' model 10s (ThermoScientific, USA), pH meter pH 150MI. Correlation matrix of monory relations (correlation of factors between each other) and binary relations (correlation between different factors) were compiled. Binary relations with correlation coefficients in the range $0,3 \leq r < 0,5$ (weak), $0,5 \leq r < 0,7$ (average), $0,7 \leq r < 0,9$ (strong) and $r \geq 0,95$ (superstrong) were considered. 20 superstrong binary relations were allocated and arranged in descending order of the correlation coefficient. Interaction of the following indicators draws attention: sulfate ↔ chlorides, interaction of conductivity and total mineralization, iron ↔ zinc, which should be considered in the development of environmental monitoring programs of water objects. In case of increasing frequency of observations, factor analysis will help to monitor the quality of spring water taking into account seasonal changes of hydrochemical indicators.

Key words: factor analysis, binary relation, monory relation, springs, Stavropol, correlation matrix.

Введение

На сегодняшний день основным источником питьевой воды во многих населённых пунктах России является водопроводная вода из поверхностных водозаборов, которая по своим санитарно-химическим показателям не всегда соответствует нормативным требованиям. При этом в большинстве регионов России, в том числе в Ставропольском крае, для обеззараживания воды используется хлорирование с использованием в основном жидкого хлора, а также хлорсодержащих реагентов, при котором в воде образуется ряд опасных хлорорганических соединений, что увеличивает риск возникновения онкологических заболеваний у населения. Ввиду этого, население старается использовать родниковую воду, уровень качества которой, как правило, неизвестен.

Постановка проблемы

В работах Мазуркина П.М., Тарасовой Е.Н. [1, 2] при экологическом мониторинге родников Куженерского района Республики Марий Эл оценивается не только санитарно-техническое состояние площади водосбора, но и токсикологические и физико-химические показатели родниковой воды, но не применительно к роднику в целом, а только к его отдельным водотокам. Мазуркин П. М., Евдокимова О. Ю. применили факторный анализ для изучения загрязнения речной воды [3].

Методология и методы исследования

Питание большинства родников ныне происходит за счет вод, наиболее загрязненных из-за урбанизации территорий, что сказывается на их экологическом состоянии. В частности, по физико-химическим характеристикам воды родников можно судить о загрязнении питающих их грунтовых вод, а также о степени антропогенной нагрузки на территорию. Поэтому определение показателей качества родниковых вод, выявление причин наличия различных поллютантов в этих водах, оценка риска здоровья населения от употребления родниковой воды и разработка рекомендаций по его снижению – актуальны.

Факторный анализ – это методика комплексного и системного изучения и измерения воздействия факторов на величину результативного показателя. Факторы в результате анализа получают количественную и качественную оценку. Каждый показатель может в свою очередь выступать в роли и факторного, и результативного.

Гидрохимический анализ выявляет состав загрязнения и помогает принять меры по его уменьшению. Факторный анализ позволяет установить взаимосвязи и соотношения между показателями загрязнения [2].

Цель исследования – изучить взаимосвязи между гидрохимическими показателями загрязнения родниковых вод с использованием методики факторного анализа.

Материалами исследования послужили пробы вод, отобранных в следующих родниках: источник Серафима Саровского, Травертиновый, Корята, Чаша, Михайловский, Холодный на 13 видов загрязнений (табл. 1). При отборе проб использовали регламент ГОСТ Р 51592- 2000 «Вода. Общие требования к отбору проб».

Отбор проб производился в период с 8.12.2013 г. по 26.01.2014 г. Всего было приготовлено 36 проб. Гидрохимический анализ проб проводился на базе НУЛ «Экоаналитическая лаборатория исследования окружающей среды» ЦКП СКФУ с использованием следующих приборов: атомно-абсорбционного спектрометра с атомизацией в пламени ICE 3300 (Thermo Scientific, США), кондуктометра «Эксперт-002», спектрофотометра « Genesys» мод. 10s (Thermo Scientific, США), pH-метра pH-150МИ.

Лабораторные исследования осуществлялись по следующим показателям: минерализация, электропроводность, температура, водородный показатель, общая жесткость, фториды, хлориды, нитраты, сульфаты, а также содержание тяжелых металлов (хрома, железа, свинца, меди, кадмия, никеля, ртути, цинка) во всех пробах в пределах нормы.

Для проведения исследований с использованием факторного анализа наиболее распространенными являются:

метод главных компонент, корреляционный анализ и метод максимального правдоподобия. Нами применялся метод корреляционного ана-

Табл. 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РОДНИКОВ

№	Название источника	Электропроводность λ , См/см	Общая минерализация TDS, г/дм ³	Температура t, °C	Водородный показатель, pH	Общая жесткость pH, мг-экв/л
1	Серафима Саровского	555,75	378	11,4	7,455	11,55
2	Травертиновый	496	371,5	7,9	7,41	11,05
3	Корыта	743,75	516	10,85	7,495	20,045
4	Чаша	444,8	322	8,95	7,83	19,115
5	Михайловский	878,95	654,5	8,35	7,475	13,275
6	Холодный	534,5	377,5	9,95	7,52	20,6

лиза [3, 4]. Предлагаемый нами метод анализа позволяет не только устанавливать причинно-следственные связи, но и давать им количественную характеристику, т. е. обеспечивать измерение влияния факторов (влияющие параметры системы) на результаты (зависимые параметры системы). Это делает факторный анализ точным методом, а выводы – обоснованными, в особенности на основе осмысления апостериорной информации, появляющейся дополнительно к имеющейся до проведения моделирования априорной информации.

Фториды F, мг/л	Хлориды Cl, мг/л	Нитраты NO ₃ , мг/л	Сульфаты SO ₄ , мг/л	Железо, Feмг/л	Свинец, Pbмг/л	Никель, Niмг/л	Цинк, Znмг/л
4,665	46,405	85,975	101,37	0,3652	0,0640	0,0704	0,0264
1,305	10,96	28,825	15,38	0,2156	0,1160	0,0727	0,0130
3,605	59,37	52,68	108,4	0,1569	0,1336	0,0679	0,0003
1,735	8,665	52,315	6,02	0,1422	0,1028	0,0689	0,0086
2,75	162,27	91,891	113,22	0,2543	0,1028	0,0708	0,0139
4,35	34,075	49,245	59,505	0,2130	0,1002	0,0681	0,0094

Обсуждение результатов исследования

С помощью программной среды CURVEEXPERT-1.3 были получены модели факторного анализа, на основе которых составлена корреляционная матрица монарных отношений гидрохимических показателей, представленных в таблице 2.

Все 13 факторов имеют по вектору направленности «лучше → хуже» ориентацию: чем меньше, чем лучше. Поэтому закон рангового распределения будет экспоненциального роста [1].

В рейтинге факторов по добротности измерений (по убыванию значений коэффициента корреляции) на первом месте – температура, на втором – хлориды, последнее место занимает водородный показатель.

Всего 13 факторов, тогда $13^2 = 169$ уравнений, из которых 13 ранговых распределений (монарных отношений) (табл. 3) и 156 бинарных отношений.

Проанализируем 156 моделей: бинарные соотношения с коэффициентом корреляции в пределах $0,3 \leq r < 0,5$ (слабые), $0,5 \leq r < 0,7$ (средние) и $0,7 \leq r < 0,9$ (сильные) не выявили влияющих и зависимых переменных. Математические зависимости с коэффициентом корреляции $0,9 \leq r < 0,95$ (сильнейшие) имеют влияющую переменную – водородный показатель pH [2].

Рассмотрим бинарные отношения с коэффициентом корреляции $r \geq 0,95$ (сверхсильные) (табл. 4). Влияющие переменные: температура, общая жесткость, железо. Зависимые показатели: нитраты, никель, цинк.

Из 156 бинарных отношений осталось 20 сверхсильных бинарных связей с коэффициентом корреляции $r \geq 0,95$. Выделим их и расположим по убыванию коэффициента корреляции (табл. 4, 5).

Как видно из таблицы 4, наибольшее влияние с коэффициентом корреляции 0,9991 оказывают фториды на хлориды.

По количеству влияний на другие факторы как показатели: хлориды – 5; фториды – 4; сульфаты – 3; электропроводность – 2; общая минерализация – 2; остальные 4 загрязнителя по одному.

По количеству зависимых факторов у показателей: электропроводность – 4; хлориды – 4; общая минерализация – 3; температура – 2; общая жесткость – 2; остальные 5 показателей по одному.

В качестве примера рассмотрим сверхсильную зависимость с коэффициентом корреляции 0,9947 влияние сульфатов на хлориды (рис. 1). Концентрация хлоридов резко увеличивается при значении сульфатов 103,4 – 108 мг/л. Минимальное значение хлоридов в родниках составляет 8,665 мг/л, а при увеличении концентрации сульфатов до 113,5 мг/л концентрация хлоридов достигает 165,3 мг/л. Возможно наличие источника хлоридов около Михайловского родника.

Таблица 2.

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ МАТРИЦА И РЕЙТИНГ
ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Влияющие факторы x	Зависимые факторы (показатели) y												
	λ	TDS	t	pH	d	F	Cl	NO ₃	SO ₄	Fe	Pb	Ni	Zn
Электропров. λ, См/см	0,9668												
Общ.минер. TDS, г/дм ³		0,9330											
Температура t, °С			0,9946										
Водородный показ., рН				0,8210									
Общ.жестк. d, мг-экв/л					0,9405								
Фториды F, мг/л						0,9655							
Хлориды Cl, мг/л							0,9790						
Нитраты NO ₃ , мг/л								0,9515					
Сульфаты SO ₄ , мг/л									0,8861				
Железо Fe, мг/л										0,9657			
Свинец Pb, мг/л											0,9401		
Никель Ni, мг/л												0,9735	
Цинк Zn, мг/л													0,9477

Природные воды представляют в основном растворы смесей сильных электролитов (ионы Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻), которыми и обуславливается электропроводность. Данная закономерность подтверждается также и на графиках взаимовлияния электропроводности и общей ми-

Табл. 3. КОРРЕЛЯЦИОННАЯ МАТРИЦА БИНАРНЫХ ОТНОШЕНИЙ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Влияющие факторы x	Зависимые факторы (показатели) y						
	λ	TDS	t	pH	d	F	
Электропров. λ, См/см		0,9906	0,7891	0,8940	0,4032	0,7794	
Общ.минер. TDS, г/дм³	0,9954		0,6358	0,7408	0,4090	0,5686	
Температура t, °C	0,0068	0,1417		0,7938	0,9431	0,8478	
Водородный показ.,pH	0,5778	0,4492	0,0986		0,5209	0,7149	
Общ.жестк. d,мг-экв/л	0,6954	0,7176	0,4139	0,5761		0,5790	
Фториды F, мг/л	0,9636	0,9908	0,8608	0,5928	0,2672		
Хлориды Cl, мг/л	0,9955	0,9920	0,9715	0,5776	0,3559	0,9942	
Нитраты NO ₃ , мг/л	0,7934	0,8536	0,4033	0,6257	0,9897	0,6390	
Сульфаты O ₄ , мг/л	0,9883	0,4865	0,5804	0,9882	0,2874	0,8485	
Железо Fe,г/л	0,1018	0,0712	0,7642	0,7857	0,7390	0,5722	
Свинец Pb, г/л	0,2569	0,2799	0,9573	0,0157	0,4465	0,8551	
Никель Ni, г/л	0,0462	0,0404	0,5994	0,4540	0,9588	0,5368	
Цинк Zn, мг/л	0,3774	0,2768	0,9346	0,9409	0,9454	0,6716	

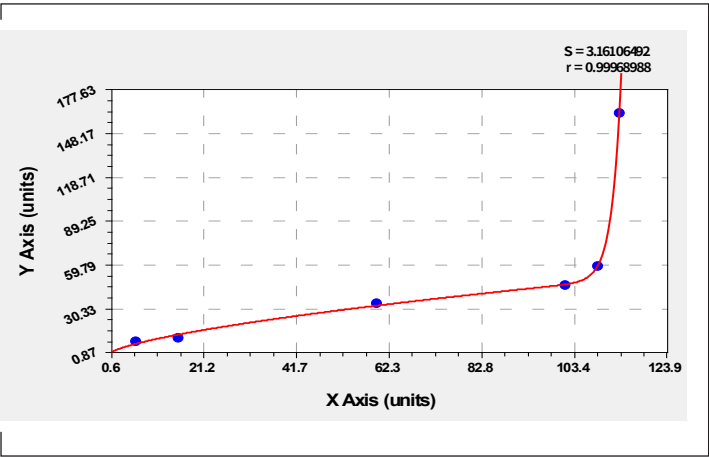


Рис. 1 Влияние сульфатов (абсцисса) на хлориды (ордината).

	Cl	NO ₃	SO ₄	Fe	Pb	Ni	Zn
	0,9650	0,6561	0,9372	0,3514	0,2570	0,0470	0,1667
	0,9720	0,6464	0,8447	0,0716	0,2804	0,0716	0,1825
	0,1185	0,5259	0,5511	0,8706	0,3400	0,5809	0,1429
	0,4307	0,2619	0,7036	0,5489	0,0157	0,4544	0,2915
	0,7153	0,7334	0,5126	0,7001	0,4312	0,9259	0,7561
	0,9991	0,6590	0,8915	0,8718	0,9784	0,5210	0,6611
		0,9485	0,9928	0,3952	0,0129	0,1602	0,0959
	0,7834		0,7363	0,7835	0,5861	0,0257	0,5283
	0,9947	0,8287		0,5091	0,1389	0,2121	0,1349
	0,2693	0,6890	0,4821		0,8704	0,4211	0,9263
	0,3602	0,7323	0,1312	0,8734		0,1843	0,9152
	0,0593	0,0172	0,2121	0,3949	0,1843		0,3040
	0,0809	0,5936	0,6952	0,9689	0,9144	0,6404	

нерализации исследуемых родников (рис. 2): чем больше в них концентрация растворенных минеральных солей, тем выше электропроводность, и наоборот.

Рассмотрим также сильнейшее бинарное отношение с коэффициентом корреляции 0,9263 влияние железа на цинк (рис. 3): с возрастанием концентрации железа, увеличивается концентрация цинка. При значении железа 0,365 мг/л, концентрация цинка составляет 0,0264 мг/л. Это может свидетельствовать о том, что около родника Серафима Саровского находится источник цинка.

Таблица 4. КОРРЕЛЯЦИОННАЯ МАТРИЦА БИНАРНЫХ ОТНОШЕНИЙ
ПРИ АДЕКВАТНОСТИ R ≥ 0,95

Влияющие факторы, x	Зависимые факторы (показатели), y									
	λ	TDS	t	pH	d	F	Cl	SO ₄	Fe	Pb
Электропров. λ, См/см		0,9906						0,9650		
Общ.минер. TDS, г/дм ³		0,9954						0,9720		
Фториды F, мг/л		0,9636	0,9908					0,9991		0,9784
Хлориды Cl, мг/л		0,9955	0,9920	0,9715		0,9942		0,9928		
Нитраты NO ₃ , мг/л					0,9897					
Сульфаты SO ₄ , мг/л		0,9883		0,9882			0,9947			
Свинец Pb, мг/л			0,9573							
Никель Ni, мг/л					0,9588					
Цинк Zn, мг/л									0,9689	

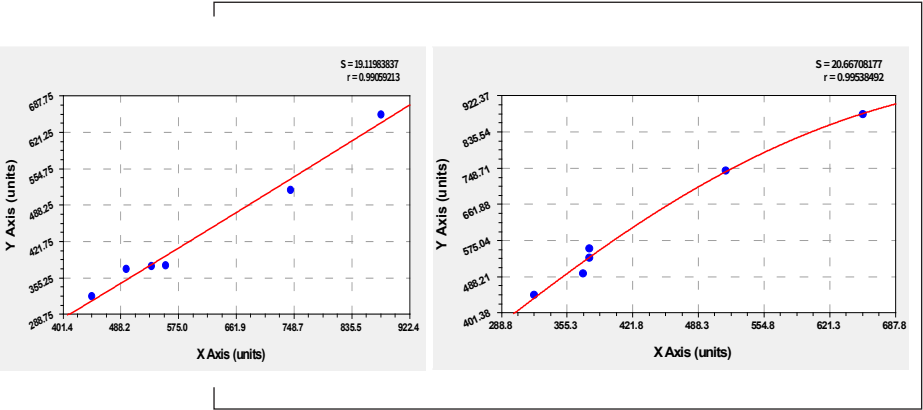


Рис. 2. Влияние электропроводности на общую минерализацию (рисунок слева) и наоборот (рисунок справа).

Табл. 5.

РЕЙТИНГ СВЕРХСИЛЬНЫХ БИНАРНЫХ ОТНОШЕНИЙ
ПРИ АДЕКВАТНОСТИ R ≥ 0,95

Место	Уравнение	Коеф. корр.
1	$CI = 4,17830 \exp(0,50373 F) + + 3,54262 \cdot 10^{-6} F 157,87758 \exp(-51,70101 F)$	0,9991
2	$\lambda = 4.562761 \exp(0,00403 \lambda) + 2.21599 \cdot 10^{-45} \lambda 31,61459 \exp(-0,35688 \lambda)$	0,9955
3	$\lambda = -0, 25346 \exp(0,00499 \lambda) + 1.55925 \lambda 0,96966 \exp(0,00093 \lambda)$	0,9954
4	$CI = 7.61980 \cdot 10^{-23} \exp(0,49149 CI) + 2.11977 CI 0,66952$	0,9947
5	$F = 1.44935 \exp(0,00394 F) + 1.57290 \cdot 10^{-9} F 7.84696 \exp(-0,18883 F)$	0,9942
6	$SO_4 = -2.04819 \exp(-0,00880 SO_4) + 0, 28269 SO 41.71353 \exp(-0,01679 SO_4)$	0,9928
7	$TDS = 339,01760 \exp(0,00252 TDS) + 2.91480 \cdot 10^{-43} TDS 29,29776 \exp(-0,28466 TDS)$	0,9920
8	$TDS = 336,15501 \exp(0,02363 TDS) + 0,27007 TDS 65,17874 \exp(-21,43141 TDS)$	0,9908
9	$TDS = 0,54287 TDS 1.04306$	0,9906
10	$d = 2.88397 \exp(0.05133 d) - 2.05874 \cdot 10^{-7} d 4.67417$	0,9897
11	$\lambda = 467,61016 \exp(0,00143 \lambda) + 2.06542 \cdot 10^{-6} \lambda 0,07239 \exp(0,14733 \lambda)$	0,9883
12	$pH = 7.87938 \exp(-0,00048 pH) - 3.01051 \cdot 10^{-5} pH 4.38010 \exp(-0,15941 pH)$	0,9882
13	$F = 2.16640 \exp(-0,45993 F) + 1.75372 \cdot 10^{-4} F 21,41135 \exp(-5.87711 F)$	0,9784
14	$CI = 4.45856 \cdot 10^{-8} CI 3.39269$	0,9720
15	$t = 8.43320 \exp(-6.73489 \cdot 10^{-5} t) + 1.34193 \cdot 10^{-14} t 0,11416 \exp(-0,23219 t)$	0,9715
16	$Fe = 0,20830 \exp(-1102,16213 Fe) + 21,19556 Fe 0,98408 \exp(-1.835300 Fe)$	0,9689
17	$CI = 6.06867 \cdot 10^{-10} CI 3.87489$	0,9650
18	$\lambda = 3.03580 \cdot 109 \exp(-12,4569 \lambda) + 527,74852 \lambda 4.88023 \exp(-1.62686 \lambda)$	0,9636
19	$d = 2347.8656 \exp(-11.464672 d) - 0.8366898 d 0.8366898$	0,9588
20	$t = 3.44574 \exp(28,38072 t) - 2.13650 \cdot 105 t 3.63507$	0,9573

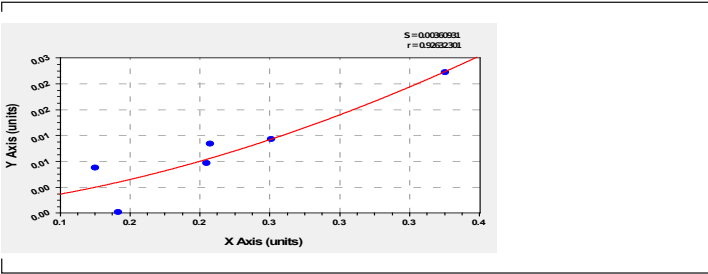


Рис. 3.

Влияние железа (абсцисса) на цинк (ордината).

Выводы

Впервые применен факториальный анализ для фундаментальных гидрохимических исследования родников г. Ставрополя. Гидрохимический состав родниковой воды отражает наличие даже незначительных загрязнений окружающей среды, а методика факторного анализа позволят создать модели взаимного влияния факторов в виде показателей загрязнения воды и выявить наиболее значимые факторные связи. Среди установленных 20 сверхсильных бинарных связей, возникающих при взаимодействии гидрохимических показателей, обращает на себя внимание взаимовлияние следующих показателей: сульфаты ↔ хлориды, взаимовлияние электропроводности и общей минерализации, железо ↔ цинк, что необходимо учитывать при разработке программ экологического мониторинга водных объектов.

В дальнейшем, в случае увеличения частоты наблюдений, факторный анализ поможет проводить мониторинг качества родниковых вод с учетом сезонных изменений гидрохимических показателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мазуркин П.М., Тарасова Е.Н. Закономерности показателей качества воды родников. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012, 131 с.
2. Мазуркин П.М., Тарасова Е.И., Факторный анализ загрязнения родников / Экология и рациональное природопользование, №2, 2013, с. 65-72.
3. Мазуркин П. М., Евдокимова О. Ю. Факторный анализ загрязнения речной воды – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. 55 с.
4. Пат. 2523050 Российская Федерация, МПК G 01 F7 / 00 (2006.01). Способ измерения и анализа динамики объемного расхода водотока родника / Мазуркин П.М., Тарасова Е.И.; заявитель и патентообладатель Поволжский гос. технолог.ун-т. – №2012154785/28; заявл. 17.12.2012; опубл. 20.07.2014. Бюл. №20.
5. Перекопская Н.Е., Бондарь Е.В. Гидрохимическая характеристика родниковых вод города Ставрополя / Научно-исследовательские публикации: природа, экология и народное хозяйство, № 2(22), 2015, с. 53–58.

УДК 528.88

**Скрипчинский А.В. [Skrpichinsky A.V.]
Бурым Ю.В. [Buryum Y.V.]**

МОНИТОРИНГ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СРЕДСТВАМИ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Monitoring erosion satellite imagery means

В статье рассматривается проблема причинно-следственных связей проявления эрозионных процессов и факторов хозяйственной деятельности. На основе анализа космических снимков полученных с космических аппаратов Spot 6/7 и Landsat 8 проведен пространственно-временной анализ и выявлены причины обусловившие проявление эрозии на земельном участке. В основе исследования лежат методы визуального дешифрирования космической информации и геоинформационные технологии. Образование эрозионных форм рельефа связано с ливневым характером осадков, выпавшими за незначительный временной промежуток. Основными причинно-следственными связями явились особенности использования земельных участков и характер рельефа. Данные разновременной космической съемки позволили выявить специфику использования исследуемой территории, а анализ рельефа — установить причину формирования эрозионного процесса на основе созданной цифровой модели рельефа. Работа выполнена с использованием ScanEx Image Processor и ArcGIS.

Ключевые слова: Эрозионные процессы, космический мониторинг, дистанционное зондирование Земли

This article discusses the problem of causality manifestations of erosion processes and factors of economic activity. Based on an analysis of satellite images obtained from satellites Landsat 6/7 and Spot 8 held spatio-temporal analysis and identified the reasons for the manifestation of the erosion on the land. The study is based on visual interpretation methods of space-based information and geoinformation technologies. Erosional landforms formation of rain is related to the nature of precipitation for the little amount of time. The main cause- effect relationships were particularly land use and nature of the terrain. These Nonequal satellite imagery revealed the specifics of the use of the study area , and relief analysis allowed us to establish the cause of formation of the erosion process on the basis of the created digital terrain model. The study was performed using ScanEx Image Processor software and ArcGis.

Key words: erosion , space monitoring, remote sensing of the Earth.

Введение

Оценка состояния земельных ресурсов Ставропольского края является наиболее важной задачей, поскольку большая доля земель в крае являются землями сельскохозяйственного назначения. Именно сельскохозяйственное производство негативно влияет на состояние земель и их плодородие. Этот вид деятельности привел к распространению на тер-

ритории Ставропольского края водной и ветровой эрозии, переувлажнению и заболачиванию, подтоплению, вторичному засолению почв и другим негативным явлениям.

Постановка проблемы

Выпадение обильных осадков ливневого характера приводит к развитию водной эрозии. В результате происходит смыл верхнего плодородного слоя почвы, что снижает уровень ее плодородия. Развитие водной эрозии способствует несоблюдению противоэрозионных мероприятий, распашка кормовых угодий и ряд других.

Для выявления эрозионных процессов активно используются как географические информационные системы, так и данные дистанционного зондирования Земли. Данные дистанционного зондирования Земли предоставляют с одной стороны, как объективную оперативную информацию, а с другой – позволяют восстановить состояние местности в прошлом. Таким образом, разновременные снимки позволяют выявлять изменения происходящие на местности и прогнозировать развитие процессов и явлений. В монографии [4] рассматривается сложившаяся ситуация в крае с потерей плодородия почвами вследствие развития эрозионных процессов на примере эродированных черноземов. Детальный анализ развития дефляции на Ставрополье. Автором приводится географический анализ дефляционных процессов, а также противодефляционную устойчивость почвенного покрова [6].

Вопросам изучения состояния земель Ставропольского края на основе геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли посвящено ряд трудов. А.В. Кирвякова при изучении эрозии почв Ставропольского края использовала материалы космической съемки со спутников Landsat-7 и Ресурс-Ф. Итогом работы явились тематические карты интенсивности линейной эрозии и потенциально эрозионно-опасных почв [3]. И.Ю. Каторгин в своей работе на основе геоинформационных технологий выявил количественные характеристики деградационных процессов в агроландшафтах Ставропольского края [2].

Методология и методы исследования

В рамках проводимого исследования решался вопрос о выявлении причин проявления водной эрозии на земельном участке. Исходными материалами для исследования послужили архивные разновременные космические снимки со спутников Spot6/7, от 14.01.2015 г., 30.08.2015 г. и 31.08.2015 г. и данных Landsat 8. Космический снимок от 14.01.2015 г. был получен из архива компании ООО ИТЦ «СканЭкс», остальные были приняты на наземную станцию приема УниСкан-36 на базе СКФУ. Космический снимок Landsat 8, от 09.10.2015 года был получен с портала Геологической службы США. Исследование проводилось по заказу Федеральной службы Россельхознадзор по Ставропольскому краю.

Исследуемые земельные участки находятся в пределах Буденновского района Ставропольского края. Важным фактором, повлиявшим на проявление водной эрозии, является факт выпадения осадкой ливневого характера в период 18-20 августа 2015 года. На указанный период выпало 59 мм осадков [1], что превышает среднемесячную норму осадков в августе месяце по метеостанции Буденновск более чем в 2 раза [5]. Наиболее близкие к указанным датам явились космические снимки, полученные со спутников Spot6/7 от 30 и 31 августа 2015 г. Для выявления особенностей использования земельных участков был исследован космический снимок со спутника Spot 7 от 14.01.2015 г. Все космические снимки были подвергнуты ортокоррекции с улучшением пространственного разрешения цветных изображений с использованием панхроматических данных более высокого разрешения (pan-sharpened) с использованием программного обеспечения ScanEx SPOT-6/7 Tools.

Пространственное разрешение космических снимков составляет 1,5 м, в связи с чем, основным методом дешифрирования был выбран визуальный. При визуальном дешифрировании использовалось растяжение гистограммы, для достижения качественных показателей изображения. Все работы по дешифрированию и выявлению качественных и количественных характеристик объектов производились в ScanEx Image Processor.

В качестве дополнительных источников информации были использованы данные информационного ресурса «Публичной кадастровой карты», портала услуг, Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии. Для выявления характеристик особенностей рельефа изучаемых земельных участков использовались данные полученные из открытого источника пространственных данных SAS.Планета – топографическая карта масштаба 1:25000. Цифровая модель рельефа была построена на основании изолиний рельефа и отметок высот, полученных с топографической карты. Создание цифровой модели и ее драпировка космическими снимками проводилась в ArcGIS.

Обсуждение результатов исследования

Первичный анализ космического снимка от 14.01.2015 г. позволил выявить особенности микрорельефа исследуемой территории, за счет покрытия ее снегом. В пределах земельного участка около лесополосы отчетливо отображаются временные водотоки. Временные водотоки отчетливо дешифрируются на основе следующих дешифровочных признаков: тон изображения, цвет и форма.

Они имеют ширину 5-7 м в наиболее широких частях. Формирование долин временных водотоков результат эрозионной деятельности воды. Водоток, обозначенный на рисунке цифрой 1, имеет длину более 700 м и незначительное ответвление в центральную сторону поля. Водоток, выделенный цифрой 2 (рис. 1) имеет длину более 200 м и простирается вдоль лесополосы. Временные водотоки меньшего размера, вызванные водной эрозией, отмечены также в южной оконечности земельного участка. Обращает на себя внимание формирующаяся бровка тока воды в верхней части земельного участка. Ее направление свидетельствует о преимущественном направлении течения поверхностных вод с соседних земельных участков (рис. 1).

Простой дешифровочный признак – структура, свидетельствует о направлении пахоты на земельном участке. Земельный участок распахивался вдоль склона.

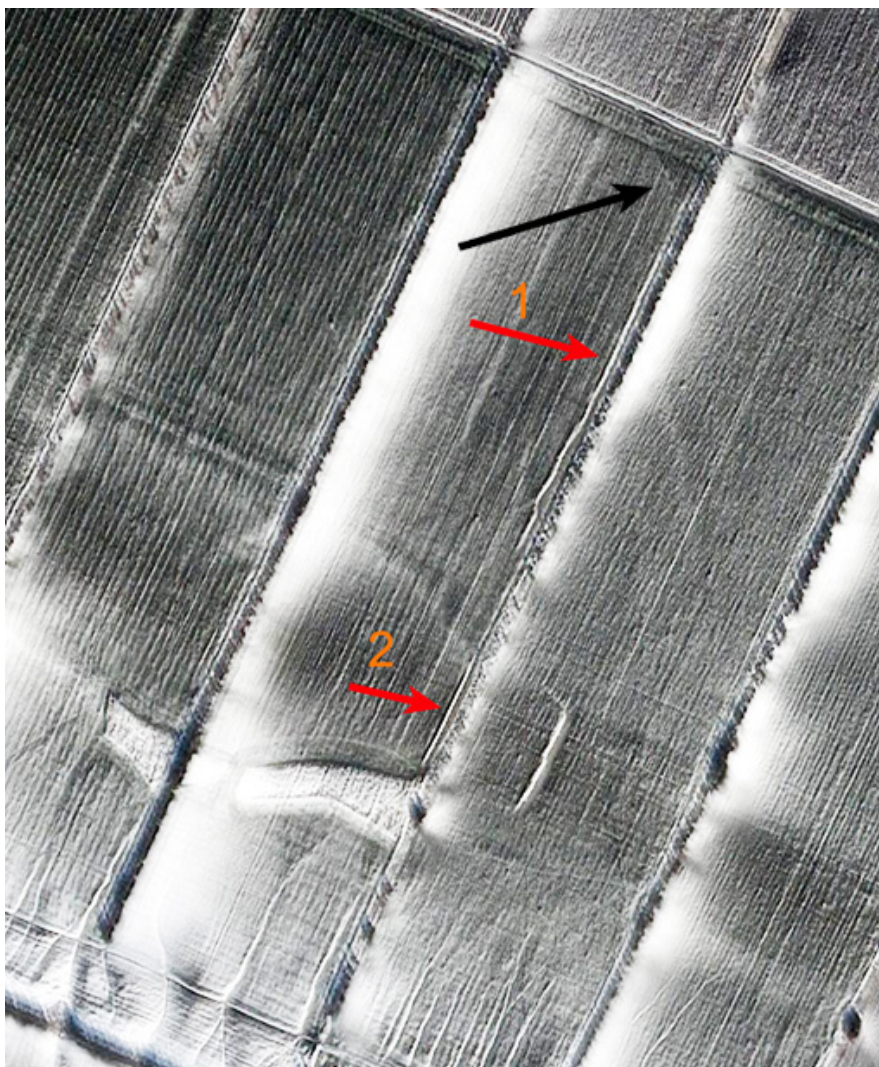


Рис. 1.

Фрагмент космического снимка от 14.01.2015 г. Красными стрелками показаны временные водотоки. Черной стрелкой показана формирующаяся бровка водотока с соседнего земельного участка.

Анализ космического снимка от 30.08.2015 г. свидетельствует о направлении водного потока, который оставил на открытом грунте явственные следы. Основываясь на прямых и косвенных дешифровочных признаках, таких как цвет, фототон, уровень яркости и цвет выделяются смытые почвы, отображающиеся на снимке светлыми оттенками (рис. 2).

Характер микроформ рельефа, образованных водным потоком, свидетельствует о том, что он направлялся через несколько земельных участков на земельный участок с формами проявления эрозии. Так, направление потока воды прослеживается отчетливо. Поток воды проходил вдоль лесополосы по долине временного водотока, который был сформирован ранее (до 2015 г.). О силе водного потока можно судить по образовавшейся бровке в северо-восточном углу земельного участка (рис. 2). Предполагаемый ток воды по исследованным земельным участкам показан на космическом снимке от 30.08.2015 г. Отчетливо видно, что образованные скопления воды на земельном участке расположенном рядом от исследуемого находились вне основного тока воды (рис. 3).

Созданная цифровая модель рельефа на территорию исследованных земельных участков и драпированная космическим снимком от 30.08.2015 г. позволяет оценить характер рельефа. Для выявления неоднородностей рельефа вертикальный масштаб был увеличен в 10 раз (рис. 4). Проявление эрозионных форм на земельном участке обусловлено особенностями рельефа и потоками воды.

Анализ космического снимка от 31.08.2015 г. позволяет отчетливо выделить направление движения водного потока, что подтверждает выявленные ранее причины проявления эрозии почв.

Последствия эрозии на исследованных нами земельных участках отчетливо заметны на космическом снимке Landsat 8 от 09.10.2015 г. Для выявления открытых участков почв использовались комбинации каналов 432 и 562 (рис. 5). Характер тока воды проявляется даже спустя время после обработки почвы. На снимке выделяется полоса поверхностного стока воды, проходящая через несколько земельных участков.

**Рис. 2.**

Фрагмент космического снимка, дата съемки 30.08.2015 г.
1 – смытая почва, 2 – область проявления эрозии почв, 3 – путь потока воды, 4 – намытая бровка, 5 – область скопления воды.



Рис. 3.

Фрагмент космического снимка от 30.08.2015 г.
Линией обозначен предполагаемый ток воды.
1 – область скопления воды.

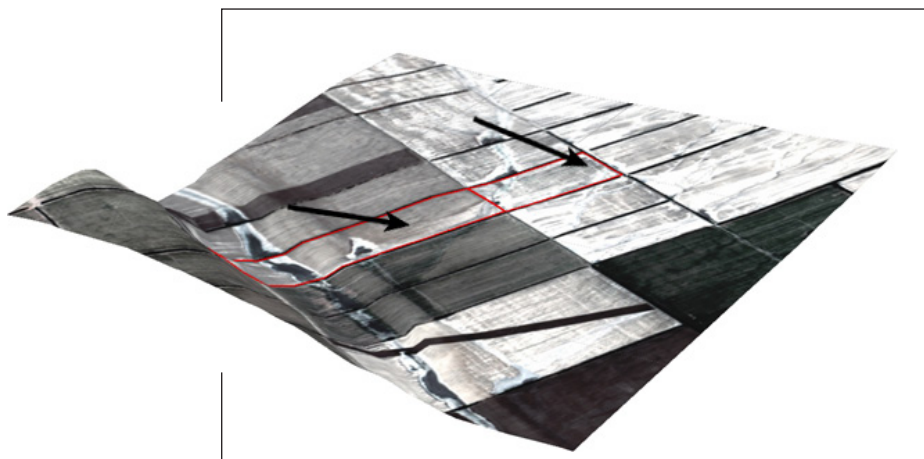


Рис. 4.

Цифровая модель рельефа, драпированная космическим снимком от 30.08.2015 г. Вид на исследуемые земельные участки с востока. Вертикальный масштаб 1:10. Исследуемые земельные участки обозначены стрелками.

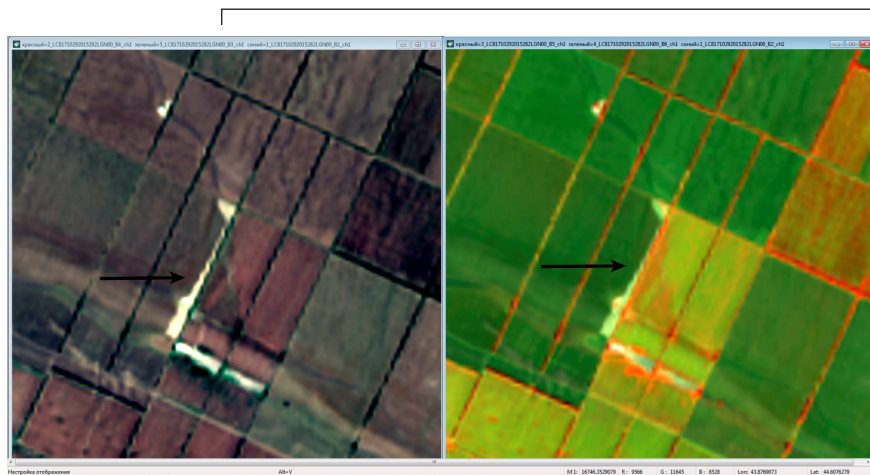


Рис. 5.

Космический снимок Landsat 8 от 09.10.2015 г. на территорию исследуемых земельных участков в разных комбинациях каналов. Оголенная почва выделяется светлыми оттенками. Увлажненная почва выделяется оттенками красного и оранжевого. Стрелкой показан исследуемый земельный участок.

Выводы

Таким образом, можно заключить, что водный поток на земельном участке направлялся по сформированной ранее долине временного водотока. За счет размера эрозионной формы рельефа поток воды мог приобрести значительную скорость и привести к образованию элементов водной эрозии.

Космические снимки выступают средством объективного контроля, поскольку позволяют не только выявлять изменения территории на актуальную дату, но и восстанавливать динамические характеристики явлений и процессов на основе пространственно-временного анализа. Мониторинговые исследования эрозионных процессов на основе данных дистанционного зондирования Земли позволяют выявить все их особенности и установить истинные причины их проявления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архив погоды в Буденновске. URL: http://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%91%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B5. (дата обращения: 11.03.2016).
2. Каторгин И.Ю. Анализ и оценка агроландшафтов Ставропольского края с использованием геоинформационных технологий: дис. ... канд. геогр. наук. Ставрополь, 2004.
3. Кирвякова А. В. Эрозия почв юго-западной части Ставропольской и возвышенности и прилегающих территорий Прикубанской равнины (по материалам дистанционного зондирования Земли): автореф. дис. ... канд. геогр. наук., Ставрополь, 2008.
4. Куприченков М.Т., Симбирев Н.Ф., Цыганков А.С. Петрова А.С. Мониторинг плодородия земельных ресурсов Ставропольского края. Под общей редакцией д. с-х н. М. Т. Куприченкова. Ставрополь: ГУП «Ставропольская краевая типография». 2002.
5. Погода в Буденновске в августе. URL: <http://russia.pogoda360.ru/688265/august/>. (дата обращения: 11.03.2016).
6. Рябов Е.И. Ветровая эрозия почв (дефляция) и меры ее предотвращения. Ставрополь: Кн. изд-во, 1996.

УДК 502.75+58.006

**Траутвайн С.А. [Trautvain S.A.]
Друп В.Д. [Drup V.D.]****ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ
ОХРАНЯЕМЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ
КОМПЛЕКСНОГО ПАМЯТНИКА
ПРИРОДЫ ОБЛАСТНОГО ЗНАЧЕНИЯ
«МЕЛОВЫЕ ОБНАЖЕНИЯ НА
Р. ПОЛНОЙ» (РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)****Characteristics of populations of protected plant
species of the complex nature monument of re-
gional significance «Cretaceous outcrops on the
river Complete» (Rostov region)**

Исследован в полевых условиях растительный покров комплексного памятника природы регионального значения «Меловые обнажения на р. Полной». Флора территории, представленная облигатными и факультативными кальцефитами, насчитывает порядка 210 видов, относящихся к 135 родам и 42 семействам. Занимая всего 0,0007% площади Ростовской области, данный памятник природы обеспечивает существование 12,06% от всего таксономического разнообразия сосудистых растений региона. Изучаемый природно-территориальный комплекс представляет собой четвертичную денудационную склоновую ландшафтную местность с долинно-балочным расчленением, сочетающую 3 основных урочища с достаточно простой структурой: участки каменистых обнажений и мелов; участки целинной разнотравно-злаковой степи; участки древесно-кустарниковой растительности, приуроченные к овражно-балочным элементам рельефа. Зарегистрировано 27 видов сосудистых растений, занесенные в Красную книгу Ростовской области, 14 из них занесены в Красную книгу России. Состояние флористических комплексов территории памятника природы, их роль в сохранении ландшафтного и биологического разнообразия региона оценивается как высокое.

Ключевые слова: памятник природы, флора, облигатные и факультативные кальцефиты, природно-территориальный комплекс, Красная книга.

Investigated in field conditions, vegetation complex natural monument of regional significance «Cretaceous outcrops on the river Full.» The flora of the territory, presents obligate and facultative Cretaceous plants, and has about 210 species belonging to 135 genera and 42 families. Occupying only 0,0007% of the area of the Rostov region, the monument of nature provides the existence of 12,06% of the total taxonomic diversity of vascular plants of the region. Study of natural-territorial complex is a Quaternary denudation sloping landscaped area with a the dismemberment of the valleys and beams, combining 3 main tracts with a rather simple structure: areas of rocky outcrops and chalk; areas of virgin herb-grass steppes; areas of trees and shrubs, timed to gully relief elements. Registered 27 species of vascular plants listed in the Red book of the Rostov region, 14 of them listed in the Red book of Russia. The status of floristic complexes of the territory of the monument of nature, their role in preserving landscape and biological diversity of the region is assessed as high.

Key words: natural monument, flora, obligate and facultative plants of calcareous soils, natural-territorial complex, Red book.

Введение

Комплексный памятник природы областного значения «Меловые обнажения на р. Полной» создан Постановлением администрации Ростовской области от 19.10.2006 г. № 418 «О памятниках природы Ростовской области» в целях сохранения уникальных и ценных природных комплексов. Большинство охраняемых здесь видов растений являются крайне редкими или исчезающими с катастрофической быстротой. Поэтому необходимо регулярное проведение исследований по сбору, систематизации и анализу информации о состоянии флористических комплексов и охраняемых видов растений данной территории.

Постановка проблемы

Исследуемый памятник природы расположен в Миллеровском районе Ростовской области и состоит из 2 участков: 1-й участок – западнее сл. Волошино, между дорогами на х. Новорусский и сл. Нижнекамышинка. Западная граница проходит по верхней оконечности склона. 2-й участок – западнее сл. Рогалик, он занимает 200-метровую полосу южнее автодороги на х. Маринченский, от сл. Рогалик до моста через р. Полная. Площадь памятника природы – 75,0 га (рис. 1) [11].

Территория характеризуется как уникальное местообитание редких и исчезающих облигатных и факультативных кальцефилов, характеризующихся высоким уровнем эндемизма и реликтовости. Особенности флоры всей территории меловых обнажений бассейна р. Полной (на площади около 42,5 тыс. га) и ее эколого-биологический анализ отражены в работах Слугиновой И.С. [5, 6]. Исследования проводились ею в 2000–2007 гг. В настоящее время наибольший природоохранный интерес представляет исследование состояния ценопопуляций редких и уязвимых видов данной территории. При этом наибольшей репрезентативностью обладает территория памятника природы как структурная единица природно-заповедного фонда Ростовской области.

Цель исследования: на основании полевых маршрутных исследований проанализировать состояние охраняемых видов флоры памятника



Рис. 1. Карто-схема расположения 1 и 2-го участков памятника природы «Меловые обнажения на р. Полной».

природы «Меловые обнажения на р. Полной», рассчитать коэффициент нарушенности растительности природных ландшафтов.

Методология и методы исследования

Полевые маршрутные флористические исследования территории памятника природы «Меловые обнажения на р. Полной» проводились в 2014–2015 гг. в период наиболее активной и массовой вегета-

ции, цветения и плодоношения растений – с середины апреля до сентября. Анализ состояния редких и исчезающих видов, занесенных в Красную книгу Ростовской области включал: установление и описание мест произрастания, их площади, состояние и численность популяций, рекомендуемые меры для сохранения (восстановления) численности и ареалов видов. Географические координаты обнаруженных местообитаний редких растений определялись при помощи GPS-приёмника и уточнялись в поисково-информационном картографическом сервисе «Спутник (Google)» (SAS. Планета 140505.8037).

Обсуждение результатов исследования

Памятник природы занимает часть территории Доно-Донецкой возвышенной равнины. Это волнистая слабонаклонная денудационная равнина, расчлененная глубокими долинами левобережных притоков Северского Донца и овражно-балочной сетью. Меловые холмы отличаются большим содержанием кальция, щебнистостью и твёрдостью. Коренные слои мела имеют здесь своеобразную форму обнажённых «лбов», между которыми выделяются молодые формы рельефа: ложбины стока, промоины, овраги. Грунт на мелу отличается пониженной температурой (по сравнению с примыкающей степью) и повышенной засушливостью [2].

Река Полная является крупнейшим притоком реки Деркул, которая протекает в основном по территории Луганской области Украины и впадает в Северный Донец. Полная – типично степная река, питающаяся снеговыми и родниковыми водами [10].

Район исследования расположен в северо-западной провинции зоны недостаточного увлажнения. Здесь выпадает порядка 430 мм осадков в год, преимущественно – в течение вегетационного периода. Среднегодовая температура + 7,0 °С [2, 9].

Данный памятник природы представляет собой уникальное местообитание облигатных и факультативных кальцефилов, из которых порядка 27 занесены в Красные книги Российской Федерации и Ростовской об-

ласти. Генофонд флоры характеризуется высоким уровнем эндемизма и реликтовости.

Памятник природы имеет природоохранное, научное и просветительское значение. На его территориях запрещены любые виды хозяйственной и иной деятельности, препятствующие сохранению, восстановлению и воспроизводству природных комплексов и их компонентов [3, 9].

Общее состояние памятника природы оценивается как хорошее. Территории подвергаются умеренной рекреационной нагрузке. Это подтверждает расчет коэффициента нарушенности растительности природных ландшафтов по формуле:

$$K_{\text{нр}} = \frac{S_{\text{пб}}}{S_{\text{л}}} K_{\text{сн}}$$

где $K_{\text{нр}}$ – нарушенность растительности,
 $S_{\text{пб}}$ – площадь сохранившихся природных биоэкосистем,
 $S_{\text{л}}$ – площадь ландшафта,
 $K_{\text{сн}}$ – коэффициент стадии нарушенности растительности [8].

В результате натурного обследования территории мы установили площадь сохранившихся ненарушенных природных биоэкосистем – около 25 га. Площадь ландшафта (обследуемой территории) = 75 га. Значение $K_{\text{сн}}$ соответствовало степени дигрессии растительности естественных биоценозов по 4-бальной шкале:

- 0 – ненарушенные (полная сохранность видового разнообразия),
- 1 – первая стадия дигрессии,
- 2 – вторая стадия дигрессии,
- 3 – критическая стадия,
- 4 – необратимые процессы [8].

Таким образом, $K_{\text{сн}}$ исследуемой территории равен 1.

Итого: $K_{\text{нр}} = 0,33$ – слабо нарушенный ландшафт.

В ботаническом отношении территория памятника природы расположена в зоне ковыльных степей, в подзоне разнотравно-ковыльной степи [2].

Основные черты растительного покрова здесь следующие:

- а) преобладание петрофитов и видов степного фитоценопита;
- б) ксерофильный характер флоры;
- в) господство гемикриптофитов и хамефитов [6].

Согласно «Методике оценки природоохранной эффективности особо охраняемых природных территорий и их региональных систем», разработанной WWF России (2012), природоохранная ценность ООПТ – это показатель, отражающий ценность ООПТ для сохранения природного разнообразия, складывающийся из показателей ее репрезентативности, характеризующей разнообразие природных комплексов и объектов, вкупе с полнотой их представленности на данной ООПТ и степенью редкости в масштабах региона, страны и мира, и контраста с не охраняемым окружением [7].

Для научного обоснования природоохранной ценности памятника природы регионального значения «Меловые обнажения на р. Полной» необходим анализ таксономического разнообразия растений, встречающихся на его территории, в соотношении этих показателей, выявленных для всей территории Ростовской области. Материалы такого анализа для сосудистых растений приведены ниже в таблице 1.

Уникальность флористического состава территории подтверждает тот факт, что занимая всего 0,0007% площади Ростовской области, он обеспечивает существование 12,0% от всего таксономического разнообразия сосудистых растений данного региона.

Изучаемый природно-территориальный комплекс представляет собой четвертичную денудационную склоновую ландшафтную местность с долинно-балочным расчленением. В меловых отложениях пре-

Таблица 1. АНАЛИЗ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ РАСТЕНИЙ
ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ

№ п/п	Таксоны	Количество по ПП	Количество по Ростовской области	% участия
РАСТЕНИЯ				
1	Семейство	42	140	30,0
2	Род	135	697	19,37
3	Вид	210	1750	12,0

обладают мергели, мел, пески и песчаники [2, 5, 6]. Основные типы урочищ следующие:

- участки каменистых обнажений и мелов;
- участки целинной разнотравно-злаковой степи;
- участки древесно-кустарниковой растительности, приуроченные к овражно-балочным элементам рельефа.

Выделенные нами на территории памятника урочища имеют достаточно простую структуру, т.е. на каждом вышеуказанном элементе рельефа сформировалось по 1 фации.

На исследуемой территории были выявлены местообитания 27 редких и исчезающих видов, занесенных в Красную книгу Ростовской области (КК РО). Эти местообитания имеют высокую природоохранную ценность на локальном уровне и характеризуются хорошими условиями среды, полностью удовлетворяющим всем потребностям данных видов.

Stipa borysthénica –

Ковыль днепровский – Статус 2 – сокращающийся в численности вид [1, 9]. Растет на каменистых склонах (N48°55'20,59'',

Е40°02'03,75"). Гелиофит, ксерофит, мезоолиготроф, факультативный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,001 га. Общая численность около 10 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Встречаются единичные экземпляры. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-2 особи на 1 м².

***Stipa pulcherrima C. Koch* –**

Ковыль красивейший – Статус 2 – сокращающийся в численности вид [1, 9]. Растет на участках разнотравно-типчаково-ковыльной степи (N48°55'16,39", E39°54'19,43"; N48°55'17,00", E39°54'21,13"; N48°55'17,34", E40°01'59,10"; N48°55'15,61", E40°02'26,76"). Гелиофит, ксерофит, мезотроф, факультативный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,5 га. Общая численность около 150 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 5-8 особей на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 3 – редкий вид [1].

***Stipa ucrainica P. Smirn.* –**

Ковыль украинский – Статус 2 — уязвимый причерноморский (понтический) эндемик [1, 9]. Растет на участках разнотравно-типчаково-ковыльной степи (N48°55'17,03", E40°02'21,27"; N48°55'13,58", E40°01'55,86"; N48°55'10,09", E39°54'04,44"). Гелиофит, ксерофит, мезотроф, факультативный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,5 га. Общая численность около 130 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит практически непрерывный характер на степных участках. Средняя плотность популяции в местах скопления около 7-9 особей на 1 м².

***Festuca cretacea T. Pop. et Proskor.* –**

Овсяница меловая – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растет на участках с древесно-кустарниковой растительностью и на лугово-

степных склонах (Волошино) (N48°54'59,24'', E39°53'50,65''). Ксерофит, олиготроф, гелиофит. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,01 га. Общая численность около 15 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит изолированный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 3-5 особей на 1 м² [1].

***Eremurus spectabilis Bieb.* –**

Эремурус замечательный – Статус 2 – сокращающийся в численности вид [1, 9]. Растет на участках типчаково-ковыльной степи, на склонах среди кустарников (N48°55'05,27'', E39°54'02,45''; N48°55'16,77'', E40°02'18,37''). Ксеромезофит, олигомезотроф, гелиофит. Суммарная площадь – около 0,1 га. Общая численность около 20 особей. Максимум численности приходится на ювенильную часть популяции. Распределение носит изолированный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 2-5 особей на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 2 – сокращающийся в численности вид [1].

Iris pumila L. (I. taurica Lodd.) –

Касатик низкий – Статус 2 – сокращающийся в численности вид [1,9]. Растет на степных участках, на травянистых склонах (N48°55'17,25'', E40°02'25,48''; N48°55'17,83'', E40°02'19,10''; N48°55'14,15'', E40°01'56,46''; N48°55'15,76'', E39°54'17,35''; N48°54'55,61'', E39°53'27,76''). По отношению к факторам среды обитания характеризуется как гелиофит, мезоксерофит, мезотроф. Суммарная площадь – около 6 га. Общая численность около 50 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контагиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 6-10 особей на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 3 – редкий вид [1].

Silene cretacea Fisch. ex Spreng. –

Смолевка меловая – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растет по крутым меловым склонам и на каменистых обнажениях верхних меловых площадок (Волошино) (N48°54'55,92", E39°53'40,58"; N48°55'00,87", E39°53'53,87"). Гелиофит, ксеромезофит, олиготроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,25 га. Общая численность около 30 особей. Максимум численности приходится на генеративную часть популяции. Распределение носит изолированный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-2 особи на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 3 – редкий вид [1].

Paeonia tenuifolia L. –

Пион тонколистный – Статус 2 – сокращающийся в численности вид [1, 9]. Растет на известково-щебнистых почвах на степных участках (N48°54'53,48", E39°53'36,57"; N48°55'15,06", E40°02'18,06"). Гелиофит, ксеромезофит, мезотроф. Факультативный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,02 га. Общая численность около 15 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-2 особи на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 2 – сокращающийся в численности вид [1].

Pulsatilla pratensis (L.) Mill. –

Прострел луговой – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растет травянистых степных склонах (N48°55'18,11", E40°02'08,25"; N48°55'09,21", N48°55'09,21"). Ранневесенний эфемероид. Гелиофит, мезофит, мезотроф. Суммарная площадь – около 1,5 га. Общая численность около 25 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-3 особи на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 3 – редкий вид [1].

Lepidium meyeri Claus –

Клоповник Мейера – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растёт на меловых субстратах, предпочитая верхние площадки и склоны южной и юго-восточной экспозиции (N48°54'56,27'', E39°53'42,53''; N48°55'20,07'', E40°01'35,82''; N48°55'18,65'', E40°01'45,16''). Гелиофит, ксерофит, олиготроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,03 га. Общая численность около 30 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит неясно выраженный контагиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 3-5 особей на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 2 – сокращающийся в численности вид [1].

Erucastrum cretaceum Kotov –

Рогачка меловая – Статус 3 – редкий вид [1,9]. Растёт на меловых обнажениях, предпочитая верхние меловые площадки и слабо задернованные щебнистые склоны (N48°55'01,84'', E39°53'57,07''). Гелиофит, ксеромезофит, олиготроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,02 га. Общая численность около 15 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит неясно выраженный контагиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-2 особи на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 3 – редкий вид.

Diploaxis cretacea Kotov –

Двурядник меловой – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растёт на меловых обнажениях (N48°54'56,56'', E39°53'42,82''; N48°55'14,46'', E39°54'09,47''; N48°55'14,42'', E40°01'48,52''; N48°55'17,82'', E40°02'34,64''). Гелиофит, ксеромезофит, олиготроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,04 га. Общая численность около 20 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контагиоз-

ный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-2 особи на 1 м².

***Matthiola fragrans Bunge* –**

Левкой душистый – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растёт на меловых обнажениях, в каменистых меловых степях по склонам южной экспозиции (N48°54'55,90", E39°53'40,68"; N48°54'56,67", E39°53'47,06"). Гелиофит, ксерофит, олиготроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,15 га. Общая численность около 40 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 2-3 особи на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 3 – редкий вид [1].

***Genista tanaitica* –**

Дрок донской – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растёт на меловых обнажениях, на вершинах холмов и склонах южной или юго-восточной экспозиции (Волошино) (N48°54'57,34", E39°53'35,05"; N48°54'55,62", E39°53'38,05"). Гелиофит, ксерофит, олиготроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,1 га. Общая численность около 25 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-2 особи на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 3 – редкий вид [1].

***Hedysarum grandiflorum Pall.* –**

Копеечник крупноцветковый – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растёт на меловых обнажениях (N48°55'00,60", E39°53'55,74"; N48°54'56,69", E39°53'47,67"; N48°55'17,11", E40°01'52,51"; N48°55'17,34", E40°02'28,73"). Гелиофит, ксерофит, олиготроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 1 га. Общая численность около 90 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегета-

тивную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-4 особи на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 3 – редкий вид [1].

***Linum ucrainicum Czern.* –**

Лён украинский – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растёт на меловых обнажениях, известняковых осыпях (N48°54'57,65'', E39°53'48,84''; N48°55'21,51'', E40°01'27,85''; N48°55'16,16'', E40°01'51,11''; N48°55'17,08'', E40°02'41,18''). Гелиофит, ксерофит, мезотроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 1,5 га. Общая численность около 100 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 3-6 особей на 1 м².

***Onosma tanaitica Klok.* –**

Оносма донская – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растёт на эродированных меловых и известняковых склонах, на участках разнотравно-типчаково-ковыльных степи (N48°55'15,89'', E40°02'36,50''; N48°55'17,26'', E40°02'16,61''; N48°55'18,91'', E40°02'01,18''; N48°55'16,77'', E39°54'13,84''; N48°54'54,57'', E39°53'34,71''). Гелиофит, ксерофит, мезотроф. Факультативный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,4 га. Общая численность около 50 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-5 особей на 1 м².

***Polygala cretacea* –**

Истод меловой – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растёт на меловых обнажениях, на участках разнотравно-типчаково-ковыльных степи (N48°55'14,34'', E40°01'55,31''; N48°55'17,94'', E40°02'09,99''; N48°55'17,26'', E40°02'12,58''; N48°54'57,07'', E39°53'50,21'';

N48°55'09,30'', E39°54'06,66''). Гелиофит, ксеромезофит, мезоэвтроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 1,8 га. Общая численность около 130 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 5-10 особей на 1 м².

Hyssopus cretaceus Dubjan. –

Иссоп меловой – Статус 3 – редкий вид [1,9]. Растёт на меловых склонах с рыхлым субстратом (N48°55'17,01'', E39°54'14,46''; N48°55'17,37'', E40°02'34,51''). Гелиофит, ксерофит, мезотроф. Факультативный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,3 га. Общая численность около 50 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-2 особи на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 3 – редкий вид [1].

Thymus calcareus Klok. et Shost. –

Чабрец известколюбивый – Статус 2 – сокращающийся в численности вид [1, 9]. Растёт на меловых склонах с рыхлым субстратом (N48°55'17,04'', E40°02'30,64''; N48°55'18,43'', E40°02'03,60''; N48°55'00,20'', E39°53'52,69''; N48°54'57,91'', E39°53'37,01''). Гелиофит, ксерофит, олиготроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 2,5 га. Общая численность около 70 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-3 особи на 1 м².

Linaria cretacea Fisch. ex Spreng. –

Льянка меловая – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растёт на слабозадерненных меловых склонах (N48°55'01,92'', E39°53'57,79'';

N48°55'16,64", E39°54'13,63"; N48°55'17,24", E40°01'55,16"; N48°55'18,57", E40°02'15,30"). Гелиофит, ксерофит, олиготроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,01 га. Общая численность около 150 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную часть популяции. Распределение носит контагиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 5-10 особей на 1 м².

Scrophularia cretacea Fisch. ex Spreng. –

Норичник меловой – Статус 3 – редкий вид [1,9]. Растёт на меловых обнажениях (N48°55'17,01", E39°54'14,46"; N48°55'17,37", E40°02'34,51"). Гелиофит, ксерофит, олиготроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,25 га. Общая численность около 40 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контагиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-3 особи на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 3 – редкий вид [1].

Artemisia hololeuca Bieb. ex Bess. –

Полынь белойолочная – Статус 1 – вид, находящийся под угрозой исчезновения [1, 9]. Растёт на крутых взлобьях меловых обнажений (Волошино) (N48°55'13,88", E39°54'08,87"). Гелиофит, ксерофит, олиготроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,02 га. Общая численность около 10 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контагиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-3 особи на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 2 – сокращающийся в численности вид [1].

Artemisia salsoloides Willd –

Полынь солянковидная – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растёт на меловых обнажениях (N48°54'56,32", E39°53'43,03"; N48°55'17,89", E40°02'30,43"). Гелиофит, ксерофит, олиготроф. Облигат-

ный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,02 га. Общая численность около 15 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-3 особи на 1 м². Занесен в Красную книгу РФ – статус 3 – редкий вид [1].

Centaurea ruthenica Lam. –

Василек русский – Статус 2 – сокращающийся в численности вид [1,9]. Растёт на зарастающих каменистых склонах, среди кустарников (N48°55'17,92'', E40°02'13,90''; N48°55'18,79'', E39°54'15,57''). Гелиофит, ксеромезофит, мезотроф. Факультативный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,01 га. Общая численность около 15 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-3 особи на 1 м².

Erysimum cretaceum (Rupr.) Schmalh. –

Желтушник меловой – Статус 3 – редкий вид [1,9]. Растёт на меловые обрывах, осыпях и сухих эродированных склонах (N48°54'56,56'', E39°53'43,94''; N48°55'17,72'', E40°02'18,28''). Гелиофит, ксерофит, олиготроф. Облигатный кальцефил. Суммарная площадь – около 0,1 га. Общая численность около 40 особей. Максимум численности приходится на взрослую вегетативную и генеративную часть популяции. Распределение носит контактиозный характер. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-6 особей на 1 м².

Anemone sylvestris L. –

Ветреница лесная – Статус 3 – редкий вид [1, 9]. Растет на лугово-степных склонах (Волошино) (N48°55'23,85'', E39°54'27,99''). По отношению к факторам среды обитания характеризуется как мезофит, мезотроф, сциофит. Суммарная площадь – около 0,01 га. Общая численность около 15 особей. Максимум численности приходится на ге-

неративную часть популяции. Распределение носит случайный характер – встречаются единичные особи. Средняя плотность популяции в местах скопления около 1-4 особи на 1 м².

Лимитирующими факторами для вышеуказанных видов являются: нарушение местообитаний видов в связи с хозяйственной и рекреационной нагрузкой (добыча мела, вытаптывание при интенсивном выпасе скота, ландшафтные пожары), а также стеноотпность видов и их низкая конкурентоспособность в фитоценозах. Для их сохранения необходимы мониторинг состояния популяций, запрет сбора в естественных местообитаниях, соблюдение природоохранного режима на территориях памятника природы, а также просветительская работа среди населения. Кроме того, рекомендуется повысить природоохранный статус памятника природы до заказника областного значения.

Выводы

Таким образом, в полевых условиях были исследованы растительный покров памятника природы «Меловые обнажения на р. Полной». Фактически установлено обитание 210 видов сосудистых растений, относящихся к 135 родам и 42 семействам. Занимая всего 0,0007% площади Ростовской области, памятник природы обеспечивает существование 12,0% от всего таксономического разнообразия сосудистых растений данного региона. Зарегистрировано 27 видов сосудистых растений, занесенные в Красную книгу Ростовской области, 14 из них занесены в Красную книгу России. Их местообитания имеют высокую природоохранную ценность на локальном уровне и характеризуются достаточно хорошими условиями среды: $K_{np} = 0,33$ – слабо нарушенный ландшафт. В целом состояние флористических комплексов территории памятника природы и их роль в сохранении ландшафтного и биологического разнообразия региона оценивается как высокое. Территории подвергаются умеренной рекреационной нагрузке.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ
СПИСОК**

1. Красная книга Ростовской области / Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области: Издание 2-е. Ростов-на-Дону: Минприроды Ростовской области, 2014. Т. 2. Растения и грибы. 344 с.
2. Смагина Т. А., Кутилин В. С. Ландшафты Ростовской области // Природные условия и естественные ресурсы Ростовской области: Южный округ. Ростовская обл. Ростов н/Д., 2002. С. 388–412.
3. Траутвайн С. А., Харина Е. И. Фиторазнообразие памятника природы регионального значения «Балки Липовая и Рассыпная» (Ростовская область) // Современные проблемы науки и образования. 2014. №5. URL: www.science-education.ru/119-15215 (Дата обращения: 29.02.16 г.).
4. Флора Нижнего Дона (определитель). Часть 1,2 / Г. М. Зозулин, В.В. Федяева. Ростов н/Д.: Издательство Ростовского университета, 1984, 1985. 280 с., 240 с.
5. Слугинова И.С. Жизненные формы облигатных и факультативных меловиков долины реки Полной (Ростовская область). Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. 2010. № 5. С. 135-136.
6. Слугинова, И.С. Особенности флоры меловых обнажений бассейна р. Полной (Ростовская обл.) / И.С. Слугинова // Электронный журнал Исследовано в России, 068. С. 904–915, 2009. <http://earthpapers.net/ekologo-biologicheskij-analiz-flory-melovyh-obnazheniy-basseyna-r-polnoy-rostovskaya-oblast-i-voprosy-ee-ohrany> (Дата обращения: 29.02.16 г.).
7. Стишов М.С. Методика оценки природоохранной эффективности особо охраняемых природных территорий и их региональных систем. М.: WWF России, 2012. – 284 с.
8. Шальнев В.А. Ландшафты Северного Кавказа: эволюция и современность. Ставрополь: СГУ, 2004. 264 с.
9. <http://www.doncomeco.ru/> Сайт Министерства природных ресурсов и экологии Ростовской области (Дата обращения: 29.02.16 г.).
10. <http://voda.mnr.gov.ru/> Государственный водный реестр (Дата обращения: 29.02.16 г.).
11. <http://www.geotem.ru/> Уникальные геологические объекты России (Дата обращения: 29.02.16 г.).

УДК 551.243

Харченко В. М. [Harchenko V. M],
Домарева А. Е. [Domareva A. E.]

**ТЕКТОНО-ФИЗИЧЕСКИЕ
УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
СТРУКТУР ЦЕНТРАЛЬНОГО ТИПА,
ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ
И ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

**Tectono-physical conditions
for the formation of structures of Central type,
the patterns of distribution of hydrocarbon
deposits and foci of earthquakes**

В работе излагаются геодинамические условия образования СЦТ, которые основываются на законе скалывающих напряжений [3] и закономерностях распространения тектонических напряжений, изложенных в известной работе М. В. Гзовского (1975 г.) [2]. Основой для построения геолого-тектонической модели СЦТ, которые выделяются в форме «разбитой тарелки» является известная модель очага землетрясения, где выделяются зоны сжатия и растяжения, ориентированные перпендикулярно друг другу. При интерпретации СЦТ в соответствии с этой моделью выделяют также зоны сжатия и растяжения, участки их интерференции, а также узловые точки, места пересечения лимбаментов и концентрических разломов различного ранга, которые интерпретируются, как зоны субвертикальной деструкции. Последние являются перспективными как на выявление новых очагов землетрясений, так и особо перспективных объектов на наличие нефти и газа.

Ключевые слова: тектонические напряжения, структуры центрального типа, геодинамические центры, узловые точки, очаги землетрясений, закон скалывающих напряжений.

The paper presents a geodynamic conditions of formation of SCT, which is based on law of shear stress [3] and the regularities of distribution of tectonic stresses, outlined in the famous work by M. V. Gzovsky (1975) [2]. The basis for construction of geological-tectonic models of district heating network, which are allocated in the form of «broken plates» is a well-known model of the earthquake source, where the allocated zone of compression and extension, oriented perpendicular to each other. For interpretation of district heating network in accordance with this model vydelyayut also zones of compression and extension, portions of interference and nodal points, the intersection points lineaments and concentric faults of various ranks, which are interpreted as zones of subvertical destruction. The latter are prospective for the discovery of new foci of earthquakes, and a particularly promising objects for the presence of oil and gas.

Key words: tectonic stresses, the structure of the Central type, geodynamic centres, nodal points, the foci of earthquakes, the law of shear stresses.

Введение

Структуры центрального типа (далее – СЦТ) или кольцевые структуры являются фундаментальной основой Земли и планет земной группы. Представляют собой образования на земной и других поверхностях кольцевой или реже овальной формы в плане с выраженной центральной симметрией. Они образовались в различное время в результате импульсной разрядки тектонических и постоянно действующих тектонических напряжений в условиях пульсирующего режима Земли.

Постановка проблемы

Тектонические напряжения, согласно теории М. В. Гзовского 1975 г. [2] и закона скалывающих напряжений [3], имеют два основных направления сейсмо-тектонического воздействия: нормальные – вертикального распространения и максимальные касательные тектонические напряжения, имеющие распространения под углом 45° по отношению к нормальным независимо от различия физико-механических свойств пород. Нормальные тектонические напряжения в результате их разрядки порождают как правило трещины отрыва, максимальные касательные напряжения – трещины скалывания. В целом, при разрядке тектонических напряжений образуются СЦТ с радиальными и кольцевыми системами разрывов и тектонической трещиноватостью наглядно представляющие структуру «разбитой тарелки», чаще перевернутой. Волны тектонических напряжений в виде сейсмических волн (продольных и поперечных) имеют такие особенности распространения (отражения и преломления) как и световые волны при распространении в слоистой среде (Шафрановский И.И. и др. 1975 г.) [12].

От основного источника тектонических напряжений очага волны напряжений распространяются в двух направлениях и при прохождении неоднородной слоистой среды, постепенно диссипируют и распадаются на границах сред, образуя ряд других источников напряжений, но уже меньшего порядка (рис.1).

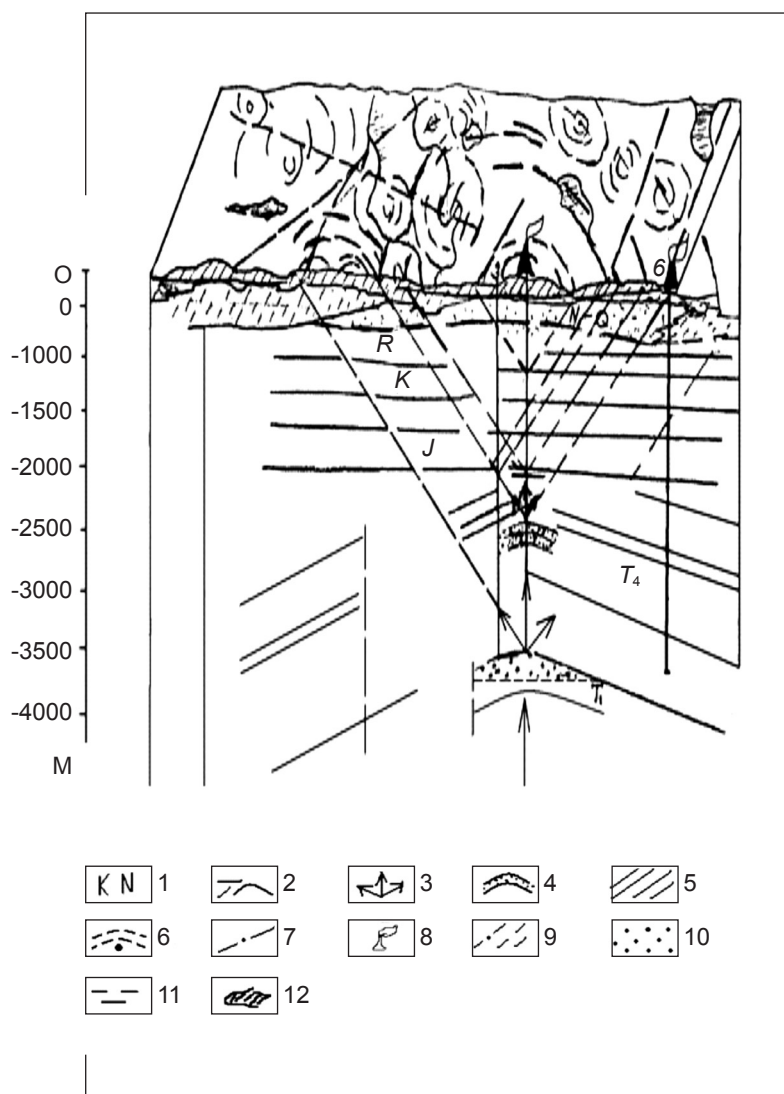


Рис. 1.

Факт соответствия радиусов структур центрального типа (СЦТ) глубинам до отражающих сейсмических горизонтов и их перегибов в центральной части (на примере Касаткинской площади в Калмыкии):

1 – возраст пород, 2 – геолого-сейсмические горизонты, 3 – распределение нормальных и максимальных касательных напряжений, 4 – песчаники газонасыщенные, 5 – суглинки покровные, 6 – дуги-концентры, 7 – тектонические нарушения, линиаменты, 8 – скважины, 9 – супеси, 10 – пески, 11 – глины, 12 – саги.

Таким образом, при действии на той или иной глубине источника напряжений (импульсного или постоянно действующего характера, на земной поверхности будут отражаться как центры этих напряжений, так и слоистая среда в виде дуговых, реже кольцевых форм) кольцевые разломы различных радиусов. Радиусы кольцевых разломов или дуг – концентров (структурных линий) соответствуют глубинам геолого-геофизических неоднородностей, которые определяются простым геометрическим способом согласно правилу распространения нормальных и максимальных касательных напряжений (под углом 45° (Н. В. Гзовский, 1975 г.) [2, 4].

Методология исследования поставленной проблемы

По существу кольцевые формы или дуги – концентры различных радиусов отражают слоистую среду земной коры и даже мантии и ядра, а точки или участки их изгибов – очаги напряжений землетрясений различного ранга. Основным источником тектонических напряжений является архимедова сила, возникающая в условиях разности плотностей магмы, в начале на границе мантии и ядра, при дифференциации вещества по плотности в результате центробежных сил при вращении Земли вокруг своей оси, Солнца и центра Галактики (С. В. Белов, 2003 г., А.Ф.) [1] Кроме того, архимедова сила в земной коре возникает в условиях распространения аномально легких горных пород (соли) и залежи УВ.

В принципе для любого объема горных пород с известным контуром залежи УВ и ее толщины возможен расчет давления на свободную часть залежи (место максимального изгиба слоев). Последний, как правило, в земной коре может представлять локальный очаг землетрясения или участок разрядки нормального и максимального касательного тектонических напряжений.

Архимедова сила всплывания, согласно закону скалывающих напряжений, действует вертикально вверх (нормальные напряжения) и под углом 45° по отношению к нормальным (максимальные касательные напряжения). В результате дифференциации вещества на границе ядра и мантии более легкое вещество – магма создает с одной стороны вышеуказанные

напряжения, а с другой стороны движется не вертикально вверх, а по спиралевидной траектории (согласно известному принципу турбулентности $T = (V * \alpha) / \eta$, где V – скорость движения вещества (флюида), α – расстояние до смены сред или препятствия, η – вязкость вещества (флюида)) с направлением общего вектора движения согласно осям симметрии куба [10], вписанного в земной сфероид.

В последнее время достаточно убедительно доказывается симметрия куба в строении Земли и атмосфере. В частности зарождение циклов и антициклонов распространение горячих точек и другие аномальные особенности Земли четко вписываются или согласуются с осями симметрии куба [10].

При специальных геохимических и геофизических исследованиях в пределах известных площадей с выявленными достоверно СЦТ отмечается закономерная приуроченность геохимических аномалий и участков развития экзогенных геологических процессов к центральным и периферическим частям СЦТ, что соответствует полям распространения тектонических напряжений: нормальных и максимальных касательных. При сейсмических исследованиях выявляются максимальные изгибы слоев в центральных частях СЦТ (пример Касаткинского месторождения в Калмыкии), Нурин-Хагской СЦТ, Северо-ставропольской СЦТ, Сенгелеевской и др. Надежным природным индикатором современных тектонических напряжений и вертикальных тектонических движений в земной коре является гидросеть.

В местах развития преимущественно денудационного типа рельефа (территория Северного Кавказа, Ставропольский край в частности) СЦТ выявляются по характерным рисункам гидросети: центробежному и комплексному – центробежно-центростремительному. Рисунки гидросети в плане позволяют выделить СЦТ и тектонические блоки различного ранга от первых до сотен и тысяч км. в поперечнике. По представлению автора центры СЦТ приурочиваются как к центрам тектонических блоков, так и к их пограничным частям; тектоническим нарушениям и флексугообразным перегибам. Тектонические блоки и СЦТ более высокого ранга (50-100 и более км) испытывают как вертикальные движения, так и го-

ризонтовые вращательные движения, сдвиги вокруг вполне определенных центров и достоверно выделенных по дугообразным изгибам русел и долинам рек. Это подтверждается данными геодезических исследований: по картам градиентов вертикальных и горизонтальных движений.

В плане нефтегазоносности и сейсмичности особый интерес представляют центральные и периферические части СЦТ, точки пересечения различных линеаментов или тектонических разломов различного ранга и дуг – концентроров или кольцевых разломов СЦТ. Для определения локальных и региональных очагов землетрясений особый интерес представляют центры СЦТ и их периферические части по которым возможны измерения и оценка регионального очага будущего землетрясения. (Певнев А.К., 2003) [6].

Как известно из последних представлений об очагах землетрясений, большое значение имеют деформационные предвестники землетрясений, которые возможно диагностировать точными геодезическими наблюдениями (участки изгиба упругих слоев как на определенной глубине, так и на земной поверхности) [6]. По представлениям автора, современная гидросеть: постоянные и временные водотоки, наиболее четко реагируют на тектонические напряжения и движения как в земной коре, так и в атмосфере и даже в мантии. Так водоразделы первого порядка (самых крупных рек регионов например р. Кубани и Терека), вероятно, связаны с современным подъемом астеносферного слоя.

Самым важным для интерпретации геолого-геофизического разреза является то, что радиусы СЦТ в целом и отдельных дуг – концентроров соответствуют глубинам до границ геолого-геофизических разделов (на сейсмических профилях, они соответствуют, как правило, отражающим горизонтам) [5, 2, 9, 11]. Это соответствие просто объясняется законом скалывающих напряжений (и исследованиями М.В. Гзовского о распространении максимальных касательных напряжений под углом 45° по отношению к нормальным. По данным М.В. Гзовского (1975 г.) [2], трещиноватость различных горных пород распределяется согласно нормальным напряжениям практически вертикально (трещины отрыва) и наклонны-

ми с некоторым отклонением от максимальных касательных напряжений $45+\alpha$, за исключением глинистых пород, в которых трещиноватость распространяется параллельно направлению полей напряжения (под углом 45°). (рис. 2) Согласно распределению полей напряжений и в какой-то мере трещиноватости в пределах СЦТ имеют распространение геохимические поля в форме аномальных зон, которые приурочиваются к узловым участкам (пересечение полей напряжений или зон трещиноватостей) и как правило, приурочиваются к центральной и периферической частям СЦТ, на примере Нурин – Хагской СЦТ, (рис. 3).

Рассматривая СЦТ как флюидодинамические подвижные системы в магнитном поле можно предполагать образование также электромагнитных полей, проявление электрических процессов (разрядов) в недрах Земли, на границах блоков и СЦТ, аналогичных грозовым явлениям в атмосфере и на границе атмосферы и земной поверхности. Сопряженные СЦТ, соответственно с восходящей и нисходящей спиралевидной циркуляцией вещества, по представлениям автора являются естественными генераторами электромагнитного поля, где образуются заряды, сопоставимые с зарядами в атмосфере.

Обсуждение результатов исследования

Теоретические представления об универсальном механизме образования СЦТ были подтверждены геофизическими и геохимическими исследованиями. Так в начале 80-х годов была построена геолого-тектоническая модель Нурин-Хагской СЦТ, как наиболее представительной и однозначно выделяемой на космических снимках среднего и малого масштабов (рис. 4).

Модель была построена на теоретических представлениях о геодинамических условиях образования СЦТ, в основе которых положен закон скалывающих напряжений и представлениях М. В. Гзовского. В результате простых геометрических построений, при условии $P=N$ были выделены геолого-геофизические неоднородности на следующих глубинах: 2,2; 3,6-4,0; 12-13; 14-16; 18-20 км от центра СЦТ.

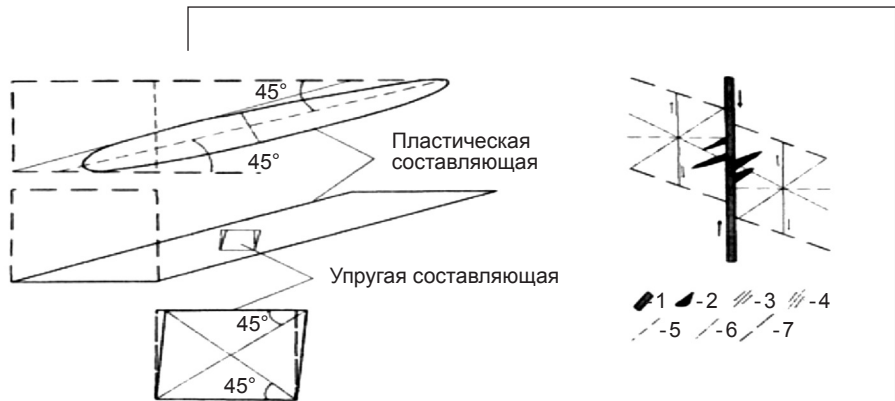


Рис. Соотношения между эллипсоидами упругой и пластической составляющих общей деформации при простом сдвигании

Рис. Схема расположения осей напряжений и трещин в момент их возникновения при деформации сдвига. Угол скалывания 45°



Рис. 2. Характер распределения полей тектонических напряжений и трещиноватости горных пород по М.В. Гзовскому (1975) [79, с. 147-148].

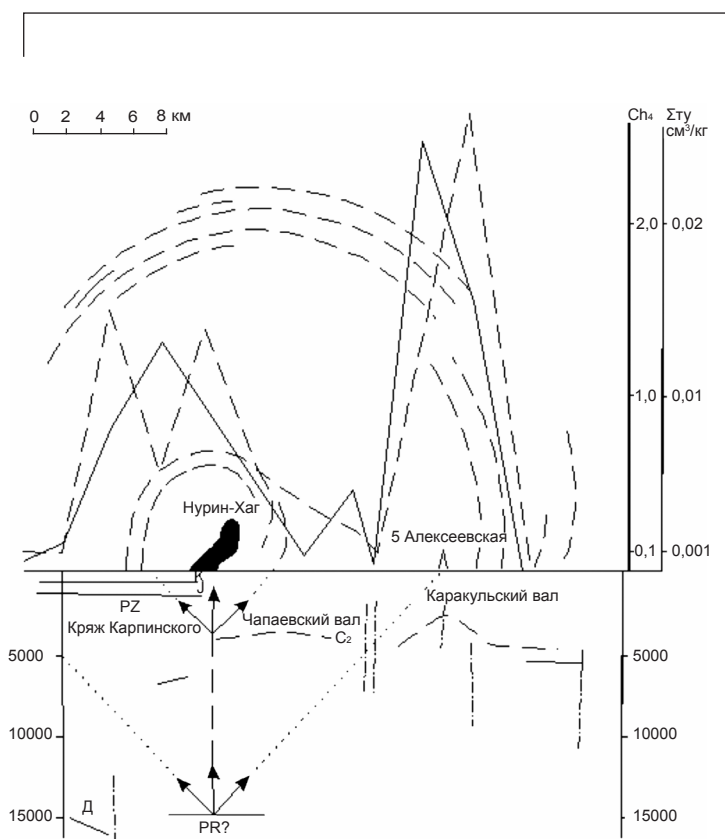


Рис. 3.

Схема приуроченности геохимических аномалий по метану и тяжелым углеводородам к космофотоаномалии и зонам тектонической трещиноватости на Нурин-Хагской площади. (Автор В.М. Харченко по материалам треста "Калмнефтегазразведка"):

- 1 – Контуры структур центрального типа;
- 2 – Распространение нормальных и максимальных касательных;
- 3 – Значение содержания углеводородов;
- 4 – Основные отражающие горизонты;
- 5 – Тектонические нарушения;
- 6 – Скважина с газопроявлением.

В начальный период исследования при сопоставлении результатов дешифрирования КФС с геофизическими материалами было отмечено практическое совпадение центральной части космифотоаномалии с аномалией магнитного поля. Сделан был вывод, что в целом КФС и ее центральная часть в первую очередь обусловлены вероятно горстообразным выступом кристаллического фундамента, который дополнительно подтверждается данными.

Сделан был вывод, что в целом КФА и ее центральная часть в первую очередь обусловлены вероятно горстообразным выступом кристаллического фундамента, который дополнительно подтверждается данными магнитометрии и магниторазведки. Магнитная аномалия скорей всего связана с составом докембрийского фундамента (по аналогии с Украинским и Воронежским щитами, где широко развиты железистые кварциты докембрийского возраста. По инициативе автора на данной площади в середине 80-х годов двадцатого века проведены геохимические и сейсмические исследования, в результате которых были выявлены геохимические аномалии) и по содержанию метана и суммы тяжелых УВ (в центральной части и по периферии СЦТ). В результате сейсмических исследований была выявлена локальная двуглавая структура, выделяемая по горизонту I ПС на глубинах 3,6–3,65 км.

Полученные результаты сейсмических исследований однозначно подтвердили строение верхней части геолого-тектонической модели, построенной ранее число теоретически. Нурин-Хагская космифотоаномалия представлена автором как перспективная структура на предмет поисков залежей нефти и газа на глубинах 3,6–4,0 км подтвержденная как прямыми геохимическими, так и считающимися наиболее надежными сейсмическими методами. Кроме того газоносность этой площади подтверждается данными бурения скважины №5 Алексеевской, приуроченной к узловой точке на периферии СЦТ, а также нефтегазоносность Касаткинской площади, которая тоже приурочена к северной периферии Нурин-Хагской СЦТ, где выделяются также меньшая по размеру дочерняя СЦТ, радиус ее составляет около 3 км (рис. 4).

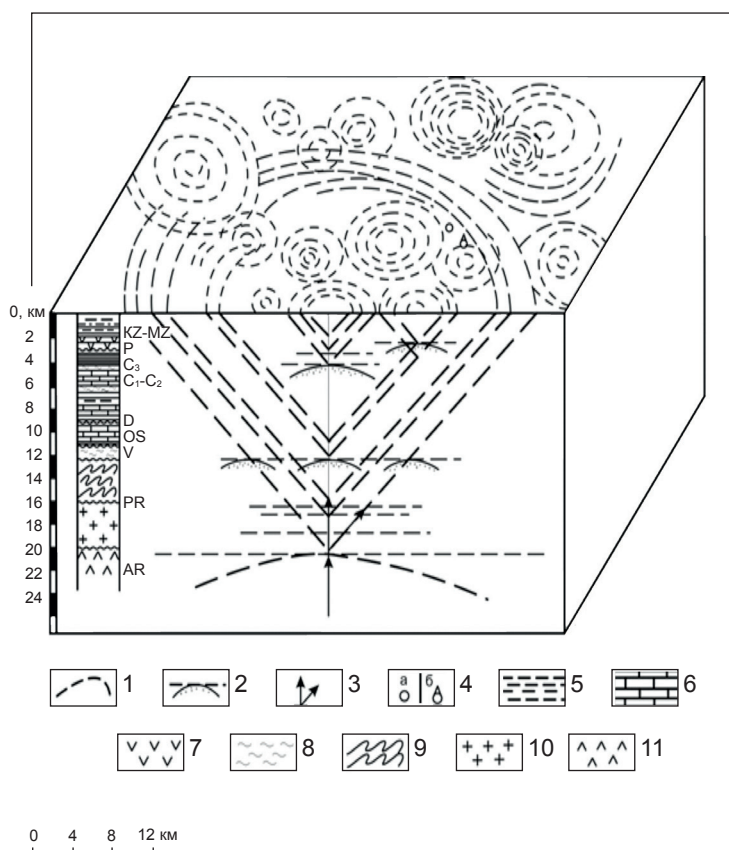


Рис. 4.

Теоретическая геолого-тектоническая модель Нурин-Хагскай площади, составленная по результатам дешифрирования космических снимков и интерпретации полей напряжений:

- 1 – структурные линии структур центрального типа (СЦТ);
- 2 – геолого-геофизические разделы сред;
- 3 – распространение полей напряженности;
- 4 – скважины: а – пустая, б – газоносная;
- 5 – глины, аргиллиты;
- 6 – известняки;
- 7 – соли;
- 8 – сланцы;
- 9 – сложнодислоцированные породы;
- 10 – граниты;
- 11 – основные породы.

Основная залежь УВ на Нурин-Хагской площади вероятно приурочена к карбонатному комплексу девона (залегающему на глубине более 4 км) и терригенно-карбонатным отложениям карбона, которые образуют структуру облекания докембрийского фундамента, выделяемого по последним данным на глубине 8-10 км, покрывками предполагаемых залежей УВ в девонских и каменноугольных отложениях могут служить соленосные и глинистые отложения кунгурского яруса нижней перми, которые вскрываются на глубинах 2-2,5 км. Важно отметить, что геолого-тектоническая модель Нурин-Хагской площади является близким аналогом известного своей нефтегазоносностью Тенгизского месторождения в Казахстане. Таким образом, на примере комплексных исследований Нурин-Хагской КФА практически подтвердилась теоретическая геолого-тектоническая модель и следовательно получен новый сравнительно дешевый и эффективный структурно-метрический метод исследования как для поисков в целом перспективных структур на нефть и газ, так и для выявления наиболее перспективных зон нефтегазоаккумуляции в пределах уже известных месторождений.

В плане сейсмологии важным является то, что центральные части СЦТ, выделенные по рисунку гидросети, представляются как вполне вероятные локальные очаги землетрясений, а структуры в целом как региональные очаги, что позволяет прогнозировать конкретное место и силу будущих землетрясений. Согласно известной модели очага землетрясения [4] относительно центра симметрии структуры центрального типа имеют зоны сжатия и растяжения (разряжения), которые сменяют друг друга как правило под углом 90° . По нашим представлениям очаги тектонических напряжений, приурочиваются к центральным и периферическим частям СЦТ (участкам изгибов упругих слоев и сочленения тектонических блоков), а зоны растяжения могут интерпретироваться как перспективными на предмет залежей нефти и газа в трещинных коллекторах как глинистых пород, так и пород другого литологического состава. [8, 11] Кроме того, зоны сжатия являются благоприятными термобарическими условиями для генерации нефти и газа и перспективными на предмет выделения локальных очагов землетрясений. [6]

Последние, по представлению автора, могут образовываться в результате накопления тектонических напряжений и их разрядки в упругих слоях земной коры, так и в результате аккумуляции и разрядки электрических напряжений на границе различных тектонических блоков земной коры или структур центрального типа одинакового ранга (одинаковых размеров). Такие представления о землетрясениях, связанных с разведкой электрических напряжений в земных недрах автором излагаются впервые. В литературе, как известно, описываются землетрясения, связанные с разрядкой или упругой отдачей механических или тектонических напряжений [6].

Кроме того, в зонах сжатия возникают благоприятные термобарические условия для генерации УВ, которые после своего образования вероятно мигрируют в соседние зоны растяжения, и при соответствующих условиях (наличия покрывок) формируют залежи нефти и газа [8, 11].

Выводы

1. Природа СЦТ обусловлена тектоническими напряжениями: нормальными (вертикально направленными) и максимальными касательными под углом 45° по отношению к нормальным согласно известному в физике закону скалывающих напряжений и исследованиям М.В. Гзовского.

2. СЦТ на земной поверхности диагностируются по аэрокосмическим снимкам и топокартам, по кольцевым и дугообразным элементам ландшафта или рисункам гидросети: центробежному и центробежно-центростремительному, в плане они представляют собой модель «разбитой тарелки», в разрезе – форму перевернутого конуса.

3. По радиусам СЦТ довольно просто определяются глубины до геолого-геофизических неоднородностей, залежей углеводородов и локальных очагов землетрясений (согласно закону скалывающих напряжений, где максимальные касательные напряжения распространяются под углом 45° по отношению к нормальным)

4. СЦТ впервые авторами интерпретируются в плане с выделением геодинамических центров, зон сжатия и растяжения (по аналогии с моделью очага землетрясений широко известной в сейсмологии), участков интерференции этих зон и узловых точек или зон субвертикальных деформаций (точки пересечения тектонических нарушений).

5. Выделенные зоны растяжения, особенно участки их интерференции и узловые точки в их пределах перспективны на предмет нефти и газа, соответственно зоны сжатия на предмет очагов землетрясений и рудных полезных ископаемых.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов С.В. Космические причины периодичности вулканизма Земли: Взаимодействие верхней мантии и коры. М.: Межведомственный геофизический комитет, 1991. С. 72.
2. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975.
3. Горшков Г.П. Дизъюнктивная тектоника Копет-Дага и закон скалывающих напряжений // Вестник МГУ. 1947. №1. С. 103-105.
4. Друмя А.В. Шебалин Н.В. Землетрясение: где, когда, почему? Кишинев: Штипна, 1985. 196 с.
5. Ежов Б.В., Худяков Г.И. Морфоструктуры центрального типа и глубинные геофизические разделы // Доклады АН СССР. М., 1982. №265. №3. С. 667-669.
6. Певнев А.И. Пути к практическому прогнозу землетрясений. М.: ГЕОС, 2003. 153 с.
7. Петров А.И. О механизме образования структур центрального типа // Советская геология. М., 1969. №9. С. 139-145.
9. Соловьев В.В. Делимость литосферы, ее строение согласно концепции структур центрального типа. Геологическое строение СССР. Л., 1989. Т. 1. Кн. 1. С. 312-320.
10. Федоров А.Е. Проявление куба в строении Земли // Планета Земля Нетрадиционные вопросы геологии: материалы научного семинара. М., 2003. С. 121-153.
11. Харченко В.М. Структуры центрального типа, их связь с месторождениями полезных ископаемых на примере объектов Предкавказья и сопредельных территорий: Автореферат на соискание ученой степени доктора геол.-мин. наук. 50 с.
12. Шафрановский И.И. Симметрия в природе. Л.: Недра, 1985. 165 с.

УДК 911.373.2

**Щитова Н. А [Shchitova N. A.]
Белисова К. В. [Belisova K. V.]****СОВРЕМЕННАЯ
ГЕОДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ
В СЕЛЬСКИХ ПЕРИФЕРИЙНЫХ
РАЙОНАХ ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ*****Modern geodemographic situation in peripheral
rural areas in the South of European Russia**

Демографическая ситуация, сложившаяся в России, несмотря на принимаемые меры, во многом сохраняет негативный характер. Низкая рождаемость в сочетании с высокой смертностью привели к эффекту депопуляции, выразившемуся в естественной убыли населения в целом ряде регионов страны, что не может не сказаться на процессах их социально-экономического развития. Реальная угроза связана с уменьшением численности населения рабочих возрастов и сокращением трудового потенциала. Немалую роль в этом процессе играют и миграционные процессы, ведущие к оттоку трудоспособного населения из стагнирующих районов. В статье выявлены особенности развития геодемографической ситуации в сельских периферийных районах Юга Европейской России, проанализирована динамика численности населения, дана характеристика естественного воспроизводства населения, описаны миграционные процессы, а также определена взаимосвязь половозрастного и этнического состава населения с происходящими демографическими процессами. Выделен особый тип геодемографической ситуации, характерный для сельской периферии Юга Европейской России.

Ключевые слова: Юг Европейской России, периферия, сельская местность, геодемографическая ситуация, естественное воспроизводство, миграция, этнический состав.

The demographic situation in Russia, despite the measures taken, largely retains negative. Low fertility combined with high mortality led to the depopulation effect resulting in natural population decline in many regions of the country, which can not affect the process of their socio-economic development. A real threat due to the decreasing population of working age and the reduction of labour potential. A significant role in this process is played and migration processes leading to the outflow of employable population from stagnating areas. In the article the peculiarities of the development of the geodemographic situation in the peripheral rural regions of Southern European Russia, is analyzed the dynamics of the population, the characteristic of natural reproduction of the population, described the migration process and also identifies the relationship of gender, age and ethnic population structure with demographic processes. A special type of geographic and demographic situations prevailing in the rural periphery of Southern European Russia.

Key words: the South of European Russia, periphery, rural, geodemographic situation, the natural reproduction, migration, ethnic composition.

* Статья подготовлена при поддержке РФФИ (проект 16-06-00179 А) Разработка и апробация системы геоинформационного мониторинга этнодемографических процессов (на примере регионов Северного Кавказа).

Введение

Сложившаяся современная демографическая ситуация в России привлекает внимание не только ученых, властных структур, но и общественности. Тревогу вызывают данные о сокращении численности населения РФ. Следует отметить, что, по данным Росстата, начиная с 2013 г., естественная убыль населения в стране была приостановлена и сменилась естественным приростом. Однако направленность и показатели демографических процессов в разных регионах заметно разнятся между собой. Значительные различия проявляются даже внутри одного региона между отдельными муниципальными образованиями или даже поселениями. Экономические трансформации, начавшиеся в постсоветское время, вызвали целый ряд негативных последствий в социально-демографической сфере сельской местности, которые до сих пор не преодолены, а во многих случаях даже нарастают. В большинстве сельских территорий депопуляция не приостановлена, сложившиеся деформации в половозрастной структуре населения ведут к старению, снижению рождаемости и увеличению смертности. Тенденция вымирания российской деревни не остановлена.

Постановка проблемы

В ряде работ отечественных ученых раскрывается острота проблем современного демографического развития села. Глубокий анализ влияния реформирования сельского хозяйства на социальные процессы сельской местности проведен в работах Т. Г. Нефедовой [7], различные аспекты сельской демографии рассматриваются в трудах А. И. Алексеева [1], Л. Л. Рыбаковского [8], Г. М. Федорова [9], и др. Характер протекания демографических процессов приобретает индикационное значение при анализе социально-экономической ситуации, состояния качества жизни сельских жителей. Вместе с тем, если общие тенденции демографического развития исследуются достаточно часто, то локально-региональные особенности остаются практически не изученными.

Наиболее благоприятные перспективы для естественного воспроизводства населения, по мнению ряда исследователей, складываются в

настоящее время в сельской местности Юга России [6], но и здесь демографические процессы протекают разнонаправленно. Внутрорегиональные исследования демонстрируют, как «географическое неравноправие» сказывается на показателях демографического, а затем и социально-экономического развития муниципальных образований или поселений. Зачастую определяющую роль в характере территориального развития приобретает фактор экономико-географического положения, а в наиболее невыгодном положении оказываются сельские периферийные районы и поселения [10]. Основная цель данного исследования – выявить специфику развития геодемографических процессов в сельских районах Юга Европейской России.

Методология и методы исследования

В качестве объекта данного исследования выступают сельские периферийные районы Юга Европейской России, т. е. те районы, которые находятся на окраине своих регионов, значительно удалены от крупных городов и не имеют хороших транспортных связей с ними. На границе трех южнороссийских регионов – Ставропольского края, Республики Калмыкия и Республики Дагестан – образовался обширный ареал сельской периферии, охватывающий территорию 12 муниципальных районов¹. Население данных районов представлено почти исключительно сельскими жителями – их доля (по данным 2014 г.) превышает 92 %.

Центральной объяснительной категорией исследования является понятие «геодемографическая ситуация». Классическое определение геодемографической ситуации принадлежит С. А. Ковалеву: «сложившееся в данной территориальной группе населения соотношение величин рож-

1 Восточные районы Ставропольского края (Апанасенковский, Арзгирский, Левокумский, Туркменский, Нефтекумский, Курский), северные районы республики Дагестан (Ногайский, Тарумовский) и южные районы Республики Калмыкия (Ики-Бурульский, Лаганский, Приютненский, Черноземельский).

даемости, смертности, миграционной подвижности и тенденции их изменения, создающие в данное время определенную половозрастную структуру населения, определенную динамику его численности и условия его дальнейшего воспроизводства» [5].

Исследование опирается на материалы трех последних переписей населения (1989, 2002, 2010 гг.) и данные текущего учета населения территориальных органов федеральной службы государственной статистики по Ставропольскому краю, Республикам Калмыкия и Дагестан, использовались аналитический, сравнительно-географический, картографический и типологический методы исследования.

Обсуждение результатов исследования

Преобладающая тенденция с начала 1990-х гг. в динамике численности населения – его сокращение, но направленность и темпы изменения численности неодинаковы в разных районах. Все районы по характеру изменения численности населения можно разделить на три группы:

- «калмыцкая» (все районы Калмыкии и северо-восточные районы Ставропольского края) – с устойчивой тенденцией сокращения населения;
- «ставропольская» (восточные и юго-восточные районы Ставропольского края, Ногайский район Дагестана) – рост населения в конце XX века (результат известных стрессовых событий, вызвавших приток мигрантов) сменяется его сокращением в XXI в.;
- «дагестанская» (Тарумовский район Дагестана) – единственный район, где продолжатся рост численности населения (рис. 1). Внутри большинства районов прослеживается тенденция концентрации населения в районных центрах или крупных селах. Например, начиная с 1989 г., численность населения к 2010 г. увеличилась в г. Нефтекумске Нефтекумского района Ставропольского края (на 25,3 %), в ст. Курской Курского района Ставропольского края (на 16,5 %), в п. Комсомольский Черноземельского района Калмыкии (на 11,7 %), в с. Терекли-Мектеб Ногайского района и в с. Тарумовка Тарумовского района Дагестана (на 81,6 % и

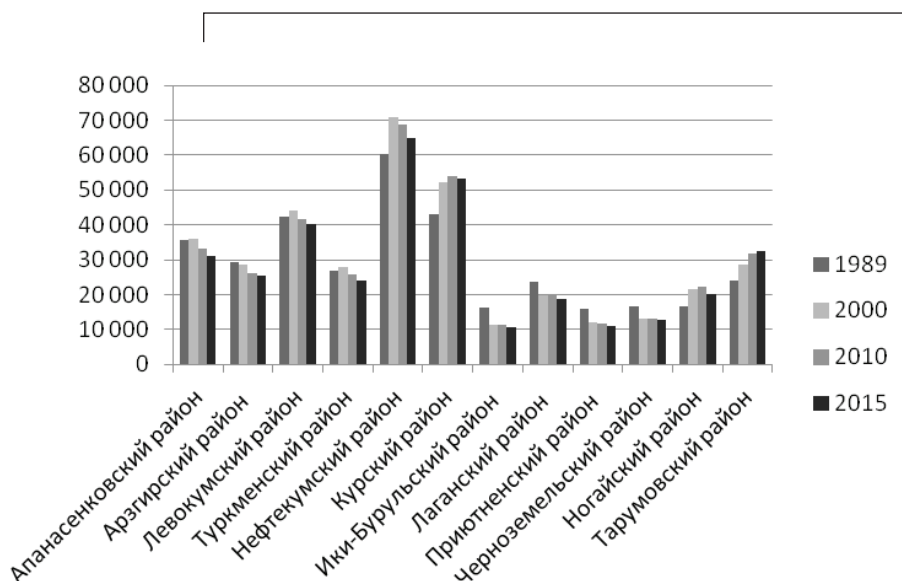


Рис. 1.

Динамика численности населения в сельских периферийных районах Юга Европейской России.

11,2 %, соответственно). В некоторых малых поселениях произошло обезлюдение (например, в х. Советский, х. Виноградный, и Ленпоселке Курского района Ставропольского края постоянное население в начале нового века сократилось до нуля).

Сокращение численности населения происходит на фоне не только сохраняющегося, но и, в ряде случаев, увеличивающегося положительно-го естественного прироста. Основная причина – повсеместный рост рождаемости [2]. Наиболее существенно она возросла в районах Дагестана (на 3–3,5 % с 2000 по 2014 г.). Показатели смертности остались примерно на том же уровне, или выросли незначительно – в среднем, на 0, 3–1,5 %.

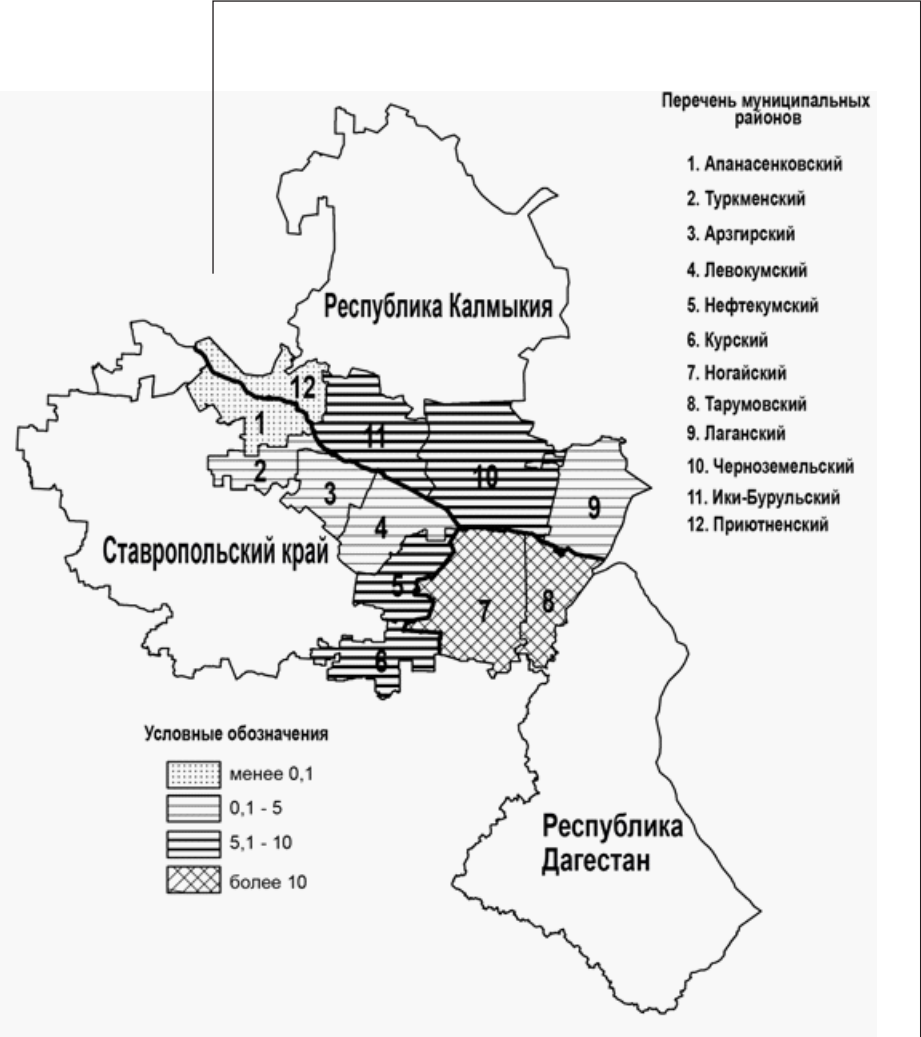


Рис. 2. Естественный прироста/убыль населения в сельских периферийных районах Юга Европейской России в 2014 г., на 1000 чел.

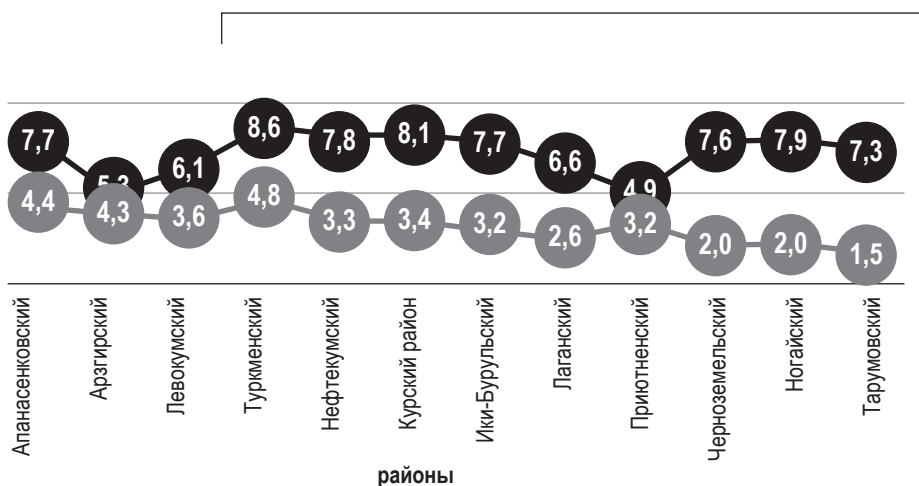


Рис. 3.

Показатели брачности и разводимости в сельских периферийных районах Юга Европейской России (2010 г., чел. на 1000).

В целом естественный прирост увеличивается от северных территорий периферийного ареала к его южной части. Самых высоких показателей он достигает в Дагестане (Ногайский район – 10,7 ‰, Тарумовский район – 15,1 ‰ (2014 г.). Несколько ниже его значения в районах Калмыкии (в среднем 4,2 ‰) а в Апанасенковском районе Ставропольского края и Приютненском районе Республики Калмыкия – становятся уже отрицательными (рис. 2).

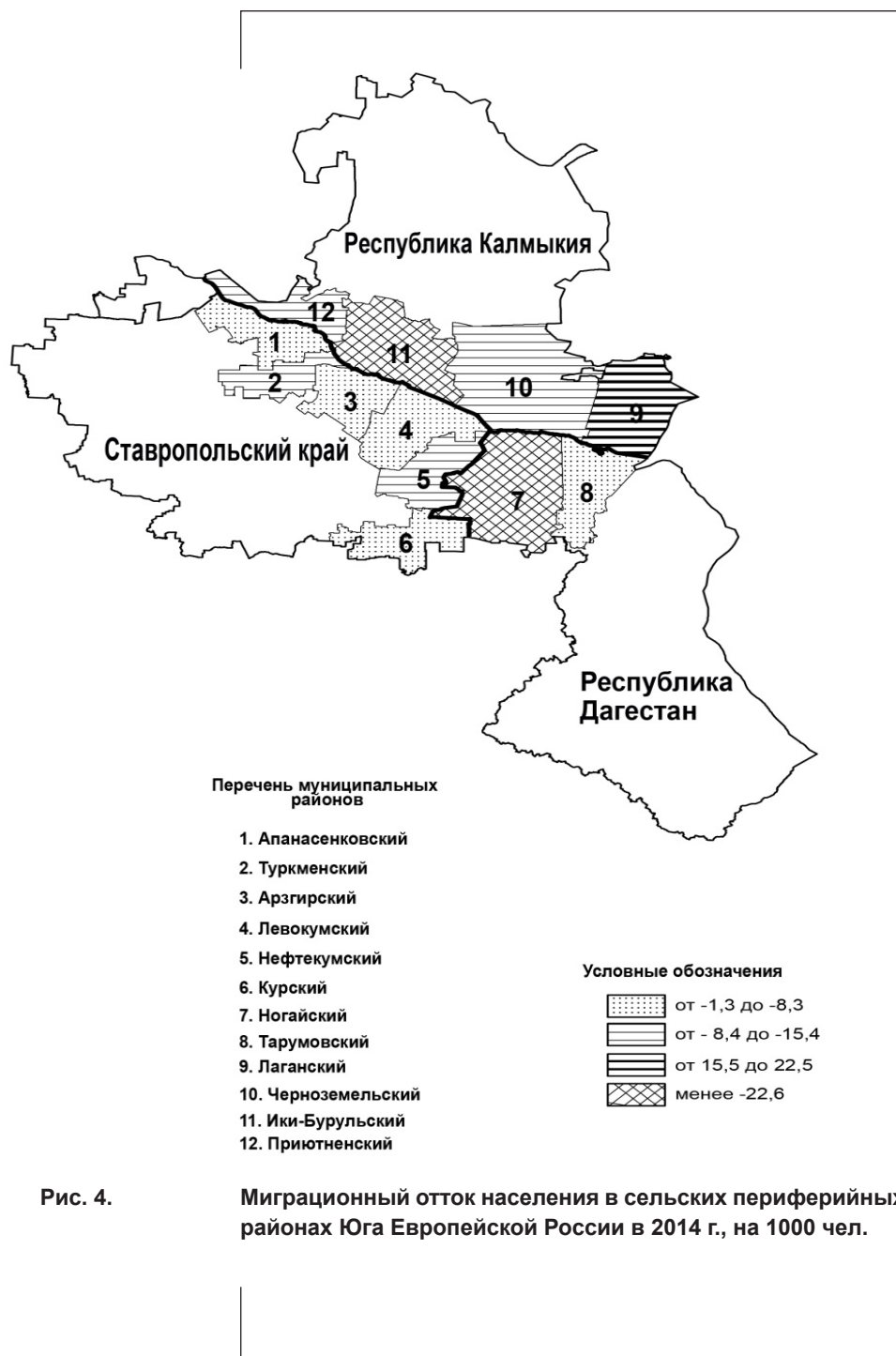
Достаточно явно прослеживается зависимость уровня рождаемости от показателей брачности и разводимости. Так, в районах Дагестана самые высокие показатели брачности (7,3–7,9 ‰) и самые низкие – разводимости (не более 2 ‰). Низкие показатели разводимости наблюдаются и в Калмыкии, в то время как в Ставропольском крае они достигают максимальных значений и более, чем в 2 раза превышают значения соседей (рис. 3).

Благоприятствует успешному естественному воспроизводству возрастная структура населения. Доля населения моложе трудоспособного возраста – около 20 % (в Дагестане почти 27 %), старше трудоспособного – ниже 22 % (в Дагестане – 10,1 %). Таким образом, трудоспособное население составляет более 60 %, а возрастная структура населения рассматриваемых районов в целом характеризуется как прогрессивная.

Положительный демографический эффект, связанный с естественным движением населения, практически полностью нивелируется негативными миграционными процессами. На протяжении последних 20 лет наблюдается устойчивый отток населения с территорий районов, причем численность выезжающих растет [3]. Особенно быстрый рост начался после 2008 г. Наибольшие темпы оттока населения отмечаются в Ногайском районе Дагестана (с -5,9 ‰ в 2005 г. до -29,1 ‰ в 2014 г.). В районах Республики Калмыкия миграционный отток составляет в среднем -18,3 ‰. Наименьшие показатели оттока отмечаются в Курском районе Ставропольского края (-1,3 ‰). Увеличение миграционного оттока обусловлено превышением численности выбывших над прибывшими. При этом темпы увеличения выбывших были выше, чем темпы сокращения прибывших, что и предопределило увеличение миграционного оттока. В районах Ставропольского края миграционный оборот возрастает. Однако темпы роста выезжающих выше темпов приезжающих (в среднем за 2000–2014 гг. с 11,4 ‰ до 29,5 ‰ прибывших и с 19,2 ‰ до 42,1 ‰ выбывших).

По данным территориальных органов федеральной службы государственной статистики в 2014 г. миграционная убыль населения в периферийных сельских районах превышала средние показатели по регионам (в Ставропольском крае +1 ‰, в Республике Калмыкия -12,3 ‰ и в Республике Дагестан -7,3 ‰).

Высокие показатели миграционного оттока свидетельствуют о неблагоприятном состоянии социально-экономической ситуации в данных районах. Очевидно, что временные миграции, связанные с отходничеством, часто трансформируются в безвозвратные. География переезда не слишком разнообразна – это Москва и соседние, более успешные регионы



(Астраханская, Волгоградская, Ростовская области, Краснодарский край). Для жителей сельской периферии миграции в более обжитые районы России являются одним из основных способов выживания.

Все анализируемые периферийные районы характеризуются не только окраинностью, но и пограничностью (административные границы в какой-то мере совпадают с этническими). Но, поскольку границы достаточно прозрачны и хорошо проницаемы, здесь формируются полиэтнические территориальные сообщества, что имеет свои как позитивные, так и не вполне благоприятные последствия.

Под влиянием демографических и миграционных процессов национальный состав населения меняется достаточно быстро. Наиболее явны следующие тенденции (табл. 1).

1. Повсеместное сокращение доли русского населения. Даже в районах Ставропольского края, где традиционно преобладало русское население, появились поселения, где русские из большинства превращаются в меньшинство. Например, в с. Николо-Александровском Левокумского района русских осталось 34,5 %, в с. Садовом Арзгирского района – 45,7 % (еще в 2002 г. – 49 %) и т. д. В среднем, доля русских в районах сельской периферии Ставрополья за последние 20 лет сократилась почти на 5%. Практически не осталось русских в большинстве калмыцких и дагестанских районов (рис. 5).
2. Нарастание моноэтнизации в поселениях этнических республик. В некоторых, прежде полиэтничных, районах наблюдается вытеснение менее многочисленных этнических групп, и экспансия мажоритарного этноса. Так, например, численность ногайцев в Ногайском районе Дагестана достигает 87 % (еще в 2002 г. – 85,7 %), численность калмыков в Черноземельском районе Калмы-

Таблица 1.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ НАСЕЛЕНИЯ В РАЙОНАХ

ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ ПО ДАННЫМ ПЕРЕПИСЕЙ

2002/2010 г.

(в % от общей численности населения района)

	Апанасенковский	Арзгирский	Левокумский	Туркменский	Нефтекумский	Курский	Ики-Бурульский	Лаганский	Приютненский	Черноземельский	Ногайский	Тарумовский
русские	88,5/ 86,7	76,5/ 73,6	73,9/ 68,9	66,3/ 62,3	54/ 49,8	51,5/ 48,5	10,6/ 9,4	32,4/ 30,4	58,5/ 55,7	14,1/ 12,3	1,2/ 1,04	25,1/ 19,6
даргинцы	4,9/ 6,1	11,1/ 11,9	17,7/ 22,1	4,6/5	9,5/ 11,9	3,8/ 4,4	13,5/ 15,1	0,6/ 0,7	4,2/ 5,9	11,7/ 12,1	-8,1	21,6/ 23,5
аварцы	0,1/ 0,1	0,9/ 1,4	1/1,3	0,7/ 0,7	1,2/ 1,5	1,6/ 1,7	—/1,2	—/0,7	—/0,05	—/7,2	—/0,2	-35,8
калмыки	0,01/ 0,02	0,06/ 0,04	0,03/ 0,01	0,03/ 0,05	0,01/ 0,05	—	68,6/ 68,8	52,6/ 54,6	28,9/ 31,2	56,7/ 50,8	—	-
ногайцы	—	0,1/ 0,06	0,1/ 0,07	0,3/ 0,3	17,3/ 19	0,6/ 0,5	—/ 0,05	—/ 0,04	—/0,01	—/0,1	85,7/87	8,3/ 8,5
чеченцы	0,1/ 0,1	1,4/ 1,2	0,9/ 0,6	0,3/ 0,3	0,6/ 0,5	5,2/ 4,6	1,3/ 0,8	1,4/ 0,6	4,8/ 2	4,9/ 7,3	1,5/0,9	—/0,5
армяне	0,9/ 6,4	1,1/ 1,2	0,6/ 0,6	1,2/ 1,5	1,2/ 1	14,2/ 14,2	—/0,1	—/0,1	—/0,4	—/0,04	—	—/1,2
другие	5,5/ 0,6	8,8/ 10,6	5,8/ 6,4	26,6/ 30,1	16,2/ 16,3	23,1/ 26,1	—/4,6	—/ 12,9	—/4,7	—/10,2	—/2,8	45/ 10,9

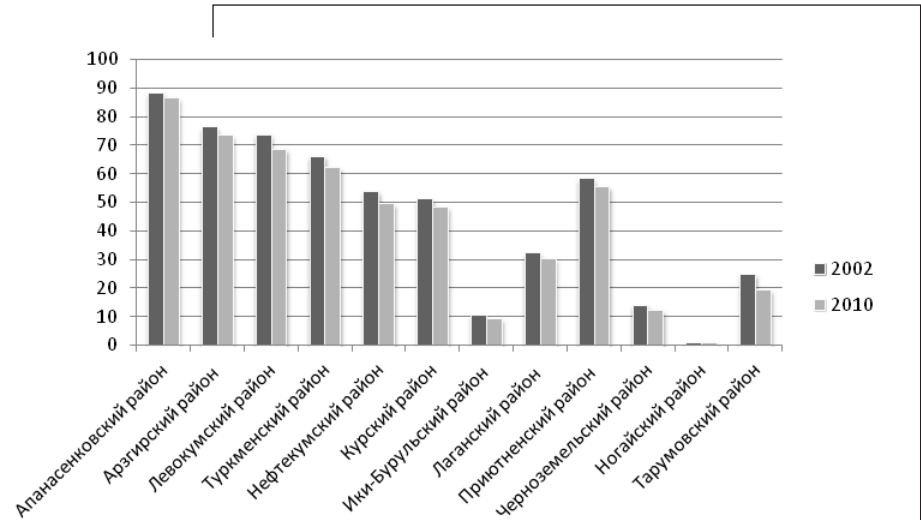


Рис. 5. Доля русских в составе населения сельских периферийных районов Юга Европейской России, %.

кия 56,7 % (в 2002 г. – 51 %), в Ики-Бурульском районе Калмыкии почти 70 % (в 2002 – 68,6 %). В Нефтекумском районе Ставропольского края основную часть жителей с. Каясула составляют ногайцы – 70,1 %, а с. Озек-Суат – туркмены (90 %).

- 3. Активизация демографических и расселенческих стратегий отдельных этносов. Быстрой смене этнического состава населения способствуют высокие показатели рождаемости некоторых этносов, численность которых быс-

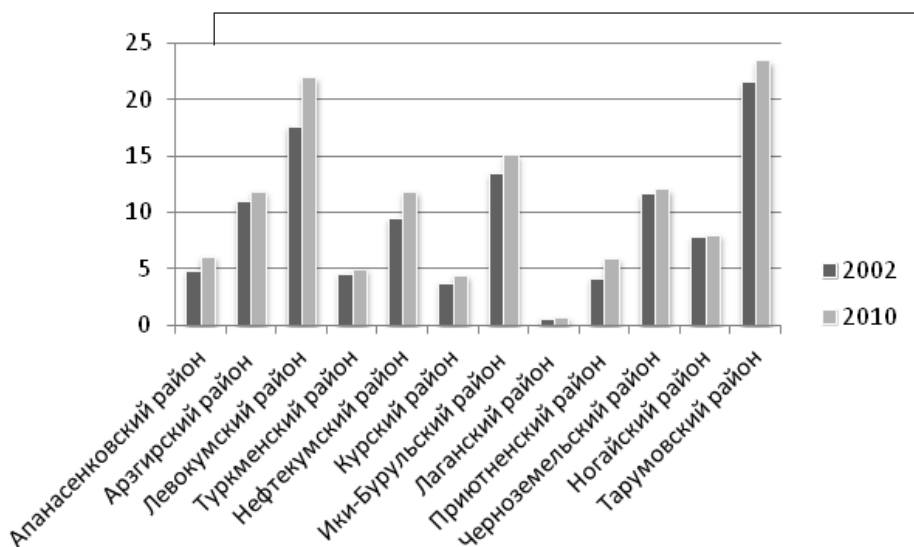


Рис. 6.

Доля даргинцев в составе населения сельских периферийных районов Юга Европейской России, %.

тро растет. Согласно итогам переписи населения 2010 года, в список народов, численность которых увеличивается, попали представители десяти национальностей, в том числе: кумыки, даргинцы, лезгины, аварцы, чеченцы. Наиболее высокие показатели рождаемости у ингушей, чеченцев, даргинцев (на 1000 женщин приходится 1469 детей), а наименьшие – у русских (на 1000 женщин 1405 детей). К наиболее активным этносам в районах сельской южнороссийской периферии следует отнести даргинцев, доля которых повсеместно возрастает (рис. 6).

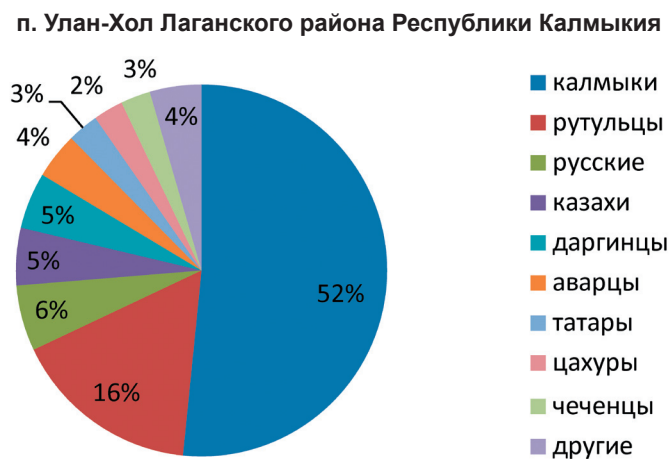
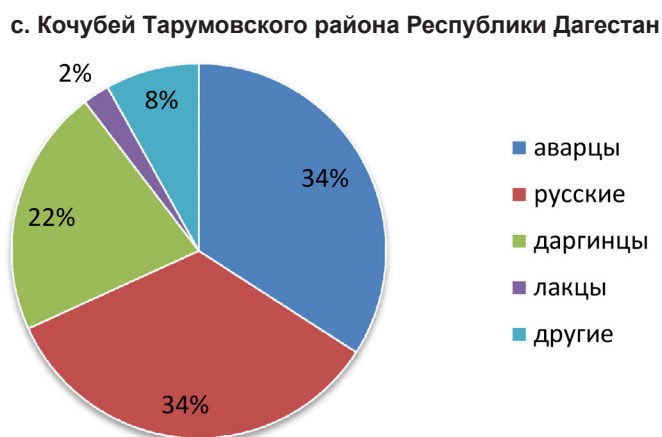
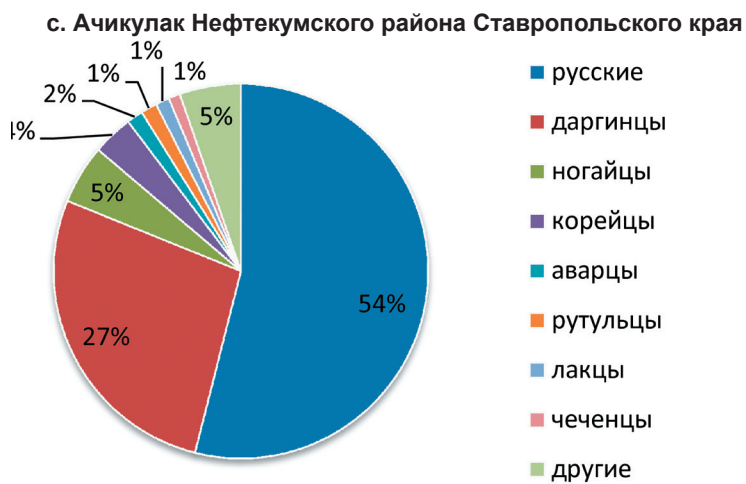


Рис. 7.

**Этнический состав отдельных населенных пунктов
сельской периферии Юга Европейской России
(2010 г., %).**

4. Усиление пестроты и уникальности этнического состава в отдельных поселениях. Почти каждый населенный пункт имеет свою особую этническую структуру, которая формируется под влиянием социально-экономических и социокультурных обстоятельств (рис. 7).

Выводы

Проведенный анализ позволил установить, что геодемографическая ситуация в периферийных районах Юга России отличается своеобразием, что позволяет выделить ее в особый региональный тип – с преобладанием тенденции сокращения численность населения на фоне сохранения относительно высоких показателей естественного прироста и усиливающимся нарастанием миграционного оттока населения.

Естественный прирост, уже не покрывающий миграционную убыль населения, начнет в ближайшей перспективе постепенно сокращаться по мере преодоления отдельными этносами демографического перехода. Если не будут приняты меры, сдерживающие миграционный отток населения, возможно развитие негативных демографических трендов, и превращение южнороссийской сельской периферии еще в одну депопуляционную зону.

Выявленные тенденции в трансформации этнической структуры населения в совокупности с повышенной долей молодежи и застойными социально-экономическими процессами могут способствовать развитию неприемлемых социально-духовных практик и распространению девиантных стратегий поведения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев А. И. Многоликая деревня / А. И. Алексеев. М.: Мысль, 1990. 272 с.
2. Белисова К. В., Махмудов Р. К. Территориальные аспекты демографического развития сельских периферийных территорий

- юга Европейской России // Аграрная география в современном мире. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2014. С. 207–209.
3. Белозеров В. С., Панин А. Н., Приходько Р. А., Чихичин В. В. Миграционные процессы на Ставрополье: тенденции и современная ситуация // Наука. Инновации. Технологии: научный журнал Северо-Кавказского федерального университета. Вып. 4. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2014. С. 96–107.
 4. Жиренко Г. Н. Трансформация демографической ситуации в Ставропольском крае // Население Юга России: трансформация воспроизводства расселения и образа жизни в новых геополитических условиях: монографический сборник. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2009. С. 21–25.
 5. Ковалев С. А. Изучение сельской местности в экономической и социальной географии / С. А. Ковалев // Вопросы географии. М., 1980. С. 28–63.
 6. Нефедова Т. Г. Сельское Ставрополье глазами московского географа. Разнообразие районов на юге России. – Ставрополь: Изд-во СГУ, 2012. 81 с.
 7. Нефедова Т. Г. Нерусское сельское хозяйство // Отечественные записки. №2. М.: издательство фонд «Отечеств. зап.», 2004. С. 441–458
 8. Рыбаковский Л. Л. Депопуляция и этнический аспекты в России // Социологические исследования. 2015. № 4. С. 18–28
 9. Федоров Г.М. Научные основы концепции геодемографической обстановки. Л.: Изд. Ленингр. ун-та, 1991. 179 с.
 10. Щитова Н.А., Панин П.Н., Чихичин В.В Демографические риски Южнороссийского села (на примере Ставропольского края) // География населения и социальная география. М.: Издательский дом «Кодекс», 2013. С. – 407–417

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ, №2, 2016

УДК 577.16.087

Бондарева Н.И. [Bondareva N.I.],
Митина С.С. [Mitina S.S.],
Аванесян С.С. [Avanesyan S.S.],
Тимченко Л.Д. [Timchenko L.D.]

СОДЕРЖАНИЕ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ И РУТИНА В ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ЖИДКОСТИ ЧАЙНОГО ГРИБА (*MEDUSOMYCES GYSEVII*) ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

**Contents ascorbic acid and rutin in enzymatic
culture of kombucha (*Medusomyces gysevii*)
under different conditions of cultivation**

В настоящее время остается актуальным поиск природных источников витаминов. В качестве потенциального сырьевого объекта для получения витаминов С и Р, в данной статье рассматривается симбионт микробного происхождения – *Medusomyces gysevii* (чайный гриб). Учитывая факт наличия высокого адаптационного потенциала симбионта, с целью влияния на способность чайного гриба синтезировать те или иные биологически активные вещества можно варьировать условия его культивирования, путем подбора питательных сред и продолжительности выращивания. Микробный симбионт культивировался до 395 суток на стандартной питательной среде на основе черного чая, а также на средах с его заменой и комбинированием с *Мелиссой лекарственной* (*Melissa officinalis*), Дубом черешчатым (*Quercus robur*), Черникой обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), Каллизией душистой (*Callisia fragrans*). Выявлено наибольшее содержание исследуемых витаминов при культивировании *Medusomyces gysevii* на питательных средах с Черникой обыкновенной и сахарозой, Каллизией душистой с черным чаем и сахарозой, Дубом черешчатым и сахарозой. Наиболее оптимальным сроком культивирования чайного гриба являются 10 сутки.

Ключевые слова: аскорбиновая кислота, рутин, чайный гриб, микробный симбионт, *Medusomyces gysevii*, питательные среды.

At present it remains relevant to the search for natural sources of vitamins. This article discusses the microbial symbiont origin – *Medusomyces gysevii* (Kombucha) as a potential resource object to get vitamins C and P. Given the high adaptive potential of the symbiont, for the purpose of influencing the ability of Kombucha to synthesize certain biologically active substances can be varied the conditions of its cultivation, by selection of nutrient medium and duration of cultivation. Microbial symbiont cultivated to 395 days in standard culture medium, on the basis of black tea, as well as on media with his replacement and the combination with Lemon balm (*Melissa officinalis*), Pedunculate oak (*Quercus robur*), Common bilberry (*Vaccinium myrtillus*), Callisia fragrans (*Callisia fragrans*). The highest content of the studied vitamins at the *Medusomyces gysevii* cultivation on nutrient media with Common bilberry with sucrose, Callisia fragrans with black tea and sucrose, Pedunculate oak with sucrose. The most optimal time of cultivation of Kombucha are 10 days.

Key words: ascorbic acid, rutin, Kombucha, microbial symbiont, *Medusomyces gysevii*, culture media.

Введение

Витамины – низкомолекулярные органические соединения, выполняющие множество функций, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность живой системы.

Организм человека не способен самостоятельно синтезировать витамины (кроме витамина D) и запасать их впрок. Некоторые витамины могут синтезироваться бактериальной флорой кишечника, однако эти количества не покрывают потребностей организма в них [2]. Поэтому витамины должны регулярно поступать с пищей, в полном наборе и количествах, соответствующих физиологическим потребностям организма человека [20]. Для каждого витамина установлена своя суточная доза потребления. Однако если количество поступающих с пищей витаминов ниже суточной нормы на протяжении длительного времени, то постепенно развивается состояние, называемое гиповитаминозом [6].

Для профилактики и лечения подобных состояний обычно рекомендуется принимать витаминные препараты, которые на сегодняшний день представлены в широком ассортименте, как в виде моно-, так и поликомпонентных комплексов.

Известно несколько способов получения витаминов [30]:

- выделение витаминов из натуральных продуктов (овощей, фруктов, растений);
- синтез различными микроорганизмами;
- кристаллизация витаминов;
- воссоздание и синтез химической структуры витамина в лабораторных условиях.

Существует мнение, что именно способ получения может обуславливать некоторые различия свойств витаминных препаратов. Все большей критике в научных исследованиях на сегодняшний день подвергаются синтетические витамины – под сомнение ставится уже не только способность к их ассимиляции организмом, но и вопрос потенциальной пользы или же, наоборот, возможного риска. В любом случае,

синтетический витамин не может заменить натуральный [19]. Так, при применении препаративных форм витаминов, особенно синтетического происхождения, необходимо учитывать данные о дозозависимой токсичности некоторых из них [21].

Кроме того любой из вышеуказанных способов синтеза витаминных препаратов предполагает получение одного конкретного витамина, при комбинировании которых получают и поливитаминные препараты, представленные в аптечной сети. При этом все больше специалистов высказывают мнение о несовершенстве последних, обусловленном погрешностями при подборе составных компонентов поливитаминного комплекса, зачастую без учета специфики взаимодействия витаминов друг с другом [5].

Поэтому поиск богатых сырьевых источников комплекса натуральных витаминов, имеющих в аптечной сети, выступающих во взаимодействии при влиянии на живой организм, остается актуальным.

В качестве такого источника потенциально выступает чайный гриб (*Medusomyces gysseii*) – микробный симбионт, образованный уксуснокислыми бактериями и дрожжами [27, 28, 29]. Доказано, что как дрожжи, так и уксуснокислые бактерии могут участвовать в синтезе витаминов. Одни дрожжи сами синтезируют витамины, а другие нуждаются в них, благодаря чему могут образовывать симбиоз, как между собой, так и с бактериями [17]. Ввиду огромного перечня микроорганизмов, образующих симбионт, для каждого из которых характерен индивидуальный тип метаболизма, образованная ими ферментативная жидкость и зооглея отличаются богатейшим составом биологически активных веществ, где они естественным образом, с учетом их химической природы сбалансированы в оптимальном качественном и количественном соотношении. Из литературных источников известно что в ферментативной жидкости чайного гриба содержится витамин С [16].

Витамин С играет колоссальную роль в организме человека. Он необходим для синтеза дентина зубов, оссеина костей, образования проколлагена и перехода его в коллаген, эндотелия сосудов, костной и соедини-

тельной ткани. Аскорбиновая кислота участвует во всасывании железа из кишечника и освобождении железа из связи его с транспортным белком крови – трансферрином, облегчая поступление этого металла в ткани. Так же она может включаться в работу дыхательной цепи митохондрий, являясь донором электронов для цитохрома С, способна непосредственно предотвращать нитрозаминовый канцерогенез, способствует выработке организмом антител и стимулирует фагоцитарную активность лейкоцитов [9, 31]. Соединяясь с витамином С, ядовитые вещества обезвреживаются и выводятся с мочой [32]. Будучи антиоксидантом витамин С оказывает берегающее действие на другие антиоксиданты (витамин Е, β -каротин), защищая их от разрушения свободными радикалами и способствует регенерации витамина Е [9].

Многими авторами показана связь в механизме физиологического действия между аскорбиновой кислотой и биофлавоноидами, к числу которых относится рутин. Характер этой связи заключается в способности флавоноидных веществ усиливать биологическое действие аскорбиновой кислоты [5]. Известно, что витамин Р (рутин) защищает витамин С от ионов тяжелых металлов [8]. Рутин способствует снижению уровня холестерина в крови, проявляет высокую антиоксидантную активность и применяется в лечении многих заболеваний, действует как противовоспалительное, противовоспалительное, антиаллергическое, противоопухолевое, радиопротекторное, желчегонное средство, а также является ангиопротектором [7, 13, 22, 23]. Прием рутина необходим при ревматизме, септическом эндокардите, лучевой болезни, аллергических реакциях, а также при ретинопатии, у лиц, страдающих гипертонией, атеросклерозом, сахарным диабетом [8]. Однако на сегодняшний день нет достоверных данных о количественном содержании в культуральной жидкости чайного гриба витамина Р. Кроме того, до сих пор нет четких рекомендаций по условиям и срокам культивирования, составу питательных сред, обеспечивающих получение максимально возможного количества витамина С.

Учитывая тот факт, что симбионт *Medusomyces gusevii* (чайный гриб) обладает высоким адаптационным потенциалом [24], при подборе

питательных сред для культивирования чайного гриба можно варьировать их компоненты. В результате химический состав питательной среды отражается на способности чайного гриба синтезировать те или иные биологически активные вещества [3]. Это обуславливает возможность биотехнологического подхода для получения и совершенствования сырья, наиболее богатого необходимыми витаминами.

В связи с вышеизложенным, актуальным является подбор питательных сред и сроков культивирования, оптимальных для получения наибольшего, биотехнологически оправданного количества витаминов С и Р, синтезируемых при культивировании чайного гриба (*Medusomyces gusevii*).

Материалы и методы исследования

Для проведения эксперимента были приготовлены следующие варианты питательных сред с добавлением различных компонентов:

- № 1 черный чай (*Camellia synensis*) – сахароза;
- № 2 листья Мелиссы лекарственной (*Melissa officinalis*) – сахароза;
- № 3 листья Мелиссы лекарственной – черный чай – сахароза;
- № 4 листья Дуба черешчатого (*Quercus robur*) – сахароза;
- № 5 листья Дуба черешчатого – черный чай – сахароза;
- № 6 плоды Черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) – сахароза;
- № 7 плоды Черники обыкновенной – черный чай – сахароза;
- № 8 листья Каллизии душистой (*Callisia fragrans*) – сахароза;
- № 9 листья Каллизии душистой – черный чай – сахароза.

Классическую питательную среду (№ 1) для культивирования *Medusomyces gusevii* готовили по традиционному рецепту [3, 14, 15]. Среды с альтернативами черного чая готовились по аналогичному рецепту, с заменой черного чая и его комбинированием с Мелиссой лекарственной (*Melissa officinalis*) (№ 2, 3), Дубом черешчатым (*Quercus robur*) (№ 4, 5), Черникой обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) (№ 6, 7), Каллизией душистой (*Callisia fragrans*) (№ 8, 9).

Обновление питательных сред на протяжении эксперимента не производилось.

Определение наличия витаминов С и Р в культуральной жидкости (*Medusomyces gusevii*) чайного гриба проводилось путем качественных реакций [11], начиная с 7 суток культивирования, вплоть до момента отсутствия изменений динамики содержания данных витаминов.

Количественное содержание витамина С (таб. 1) определяли по методу Тильманса [1]. Принцип метода основан на редуцирующей способности витамина. При его определении используют окислительно-восстановительную реакцию между аскорбиновой кислотой и 2,6-дихлорфенолиндофенолом в кислой среде.

Количественное определение витамина Р (таб. 2) проводили методом, предложенным И.К. Мурри, основанном на цветной реакции рутина с солями алюминия в присутствии избытка уксуснокислого калия [11].

Статистическая обработка полученных результатов проводилась в программе Biostat, версии 4.03 по критерию Стьюдента.

Результаты исследования

Предварительный анализ результатов качественных реакций (до 395 суток) по выявлению витаминов С и Р в культуральной жидкости (*Medusomyces gusevii*) чайного гриба позволил установить сутки (10, 30, 90), на которые были зафиксированы наиболее значимые изменения исследуемых витаминов. Не смотря на полученные весомые показатели количества витамина С на 395 сутки [16], проведение количественных реакций после 90 суток нецелесообразно из-за очень вялотекущей динамики прироста данного витамина. Такая же динамика была характерна и для рутина, при его качественном определении.

В результате количественного анализа установлено, что на 10 сутки культивирования по сравнению с контролем содержание витамина С было больше в ферментативной жидкости, полученной на основе питательных сред № 4 – на 50,7% ($p < 0,01$), № 6 – на 93,2% ($p < 0,05$), № 9 – на 49,3% ($p < 0,05$) (табл. 1).

Табл. 1. СОДЕРЖАНИЕ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ (мг/%)
В КУЛЬТУРАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ СИМБИОНТА
НА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ С ДОБАВЛЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ
КОМПОНЕНТОВ НА РАЗНЫХ СРОКАХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ
(M±m)

№ варианта питательной среды	Компоненты питательной среды	Продолжительность культивирования		
		10 сутки	30 сутки	90 сутки
1 (n=10)	- черный чай - сахара	0,73±0,13	0,77±0,14	0,86±0,12
2 (n=10)	- листья Мелиссы лекарственной - сахара	0,85±0,15	0,79±0,11	0,73±0,17
3 (n=10)	- листья Мелиссы лекарственной - черный чай - сахара	0,67±0,12	0,63±0,14	0,59±0,16
4 (n=10)	- листья Дуба черешчатого - сахара	1,10±0,11**	1,15±0,17	1,19±0,13
5 (n=10)	- листья Дуба черешчатого - черный чай - сахара	0,75±0,15	0,79±0,11	0,83±0,17
6 (n=10)	- плоды Черники обыкновенной - сахара	1,41±0,21*	1,39±0,15**	0,92±0,17
7 (n=10)	- плоды Черники обыкновенной - черный чай - сахара	0,96±0,13	0,91±0,10	0,89±0,15
8 (n=10)	- листья Каллизии душистой - сахара	0,72±0,15	0,95±0,14	0,65±0,13
9 (n=10)	- листья Каллизии душистой - черный чай - сахара	1,09±0,09*	1,08±0,04*	0,91±0,14

Статистически значимые различия (критерий Стьюдента)

** – достоверность по отношению к контролю (p<0,01)

* – достоверность по отношению к контролю (p<0,05)

Табл. 2. СОДЕРЖАНИЕ РУТИНА (мг/%) В КУЛЬТУРАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ СИМБИОНТА НА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ С ДОБАВЛЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА РАЗНЫХ СРОКАХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

№ варианта питательной среды	Компоненты питательной среды	Продолжительность культивирования		
		10 сутки	30 сутки	90 сутки
1 (n=10)	- черный чай - сахароза	0,24±0,07	0,24±0,08	0,25±0,07
2 (n=10)	- листья Мелиссы лекарственной - сахароза	0,31±0,11	0,28±0,10	0,24±0,11
3 (n=10)	- листья Мелиссы лекарственной - черный чай - сахароза	0,35±0,09	0,30±0,12	0,26±0,08
4 (n=10)	- листья Дуба черешчатого - сахароза	0,18±0,09	0,15±0,05	0,10±0,03
5 (n=10)	- листья Дуба черешчатого - черный чай - сахароза	0,19±0,07	0,17±0,06	0,13±0,04
6 (n=10)	- плоды Черники обыкновенной - сахароза	0,46±0,07*	0,44±0,05*	0,43±0,11
7 (n=10)	- плоды Черники обыкновенной - черный чай - сахароза	0,33±0,12	0,31±0,09	0,25±0,09
8 (n=10)	- листья Каллизии душистой -сахароза	0,29±0,11	0,27±0,12	0,22±0,10
9 (n=10)	- листья Каллизии душистой - черный чай - сахароза	0,41±0,04*	0,38±0,04	0,33±0,08

Статистически значимые различия (критерий Стьюдента)

* – достоверность по отношению к контролю (p<0,05)

На 30 сутки наибольшее содержание витамина С по сравнению с контролем установлено при культивировании симбионта на средах № 6 – на 80,5% ($p < 0,01$), № 9 – на 40,3% ($p < 0,05$) (табл. 1).

На 90 сутки культивирования достоверных отличий количественного содержания витамина С по сравнению с контролем не было обнаружено ни в одной из всех ферментативных жидкостей, полученных с использованием различных вариантов питательных сред.

При индивидуальном рассмотрении динамики прироста аскорбиновой кислоты в процессе культивирования на каждом отдельном варианте питательной среды (10, 30, 90 сутки) достоверных отличий также не установлено.

Установлено, что содержание рутина на 10 сутки культивирования по сравнению с контролем было достоверно больше в ферментативной жидкости, полученной при использовании питательных сред № 6 – на 91,7% ($p < 0,05$) и № 9 – на 70,8% ($p < 0,05$) (табл. 2).

На 30 сутки достоверно большее содержание рутина по сравнению с контролем наблюдалось при культивировании *Medusomyces gysevii* только на питательной среде № 6 – на 83,3% ($p < 0,05$) (табл. 2).

На 90 сутки, по сравнению с контролем, не обнаружено достоверных отличий количества витамина Р ни в одной из всех ферментативных жидкостей, полученных на основе различных вариантов питательных сред.

Анализ динамики прироста количества рутина при культивировании *Medusomyces gysevii* на каждом из вариантов питательных сред на 10, 30, 90 сутки культивирования также не показал достоверных отличий.

Обсуждение результатов

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на 10 сутки культивирования наибольшее содержание аскорбиновой кислоты наблюдалось на питательных средах на основе Дуба черешчатого и сахарозы, Черники обыкновенной и сахарозы, Каллизии душистой с черным чаем и сахарозы. В то же время большее, по сравнению с контролем коли-

чество рутина наблюдалось только на средах на основе Черники обыкновенной и сахарозы, Каллизии душистой с черным чаем и сахарозы.

Однако при сравнении с контролем количественного содержания этих витаминов на 30 сутки культивирования, достоверное их увеличение наблюдалось на средах с Черникой обыкновенной и сахарозой, Каллизией душистой с черным чаем и сахарозой.

Незначительные изменения динамики (10-90 сутки) количества данных витаминов при культивировании на вышеуказанных средах, указывают на то, что именно 10 сутки являются экономически оправданными для одновременного получения обоих витаминов в достаточном количестве.

Выводы

С учетом одновременного наличия аскорбиновой кислоты и рутина в достаточном количественном соотношении при культивировании на питательных средах на основе Черники обыкновенной и сахарозы, Каллизии душистой с черным чаем и сахарозы наиболее оптимальным сроком культивирования стали 10 сутки. Культивирование *Medusomyces gusevii* на всех остальных вариантах питательных сред для получения данных витаминов существенных результатов не показало.

Исследование проведено при финансовой поддержке Минобрнауки России, в рамках выполнения базовой части государственного задания (2014/216).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афиногенова С.Г. Витамины. Учебно-методическое пособие для студентов биолого-химического факультета / С.Г. Афиногенова, Э.А. Сидорская. Арзамас: АГПИ им. А.П. Гайдара. 1990. 65 с.
2. Борисова Е.О. Назначение витаминов во время беременности // Лечебное дело. Клиническая фармакология. №3. 2010. С. 20-29.
3. Веревкина, М.Н. Стимуляторы в макромире и микромире: методическое пособие / М.Н. Веревкина, А.Ф. Дмитриев // Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2004. 48 с.

4. Витаминные ресурсы и их использование // Спб.; М., 1955.
5. Витамины / Под редакцией М.И. Смирнова // Медицина. 1974.
6. Витамины и здоровье / Под редакцией проф., доктора мед. наук А.К. Батурина / Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации. 2009.
7. Георгиевский В.П. Биологически активные вещества лекарственных растений / В.П. Георгиевский, Н.Ф. Комисаренко, С.Е. Дмитрук. Новосибирск: Изд-во «Наука», 1990. 144 с.
8. Гнеушева И.А. Биотехнологическая переработка отходов производства гречихи и получение ценных продуктов / И.А. Гнеушева: дис. ... на соиск. уч. степ. канд. технич. наук. Воронеж. 2014. 143 с
9. Горбачев В.В. Витамины, микро- и макроэлементы. Справочник / В.В. Горбачев, В.Н. Горбачева. Минск: Книжный дом; Интерпресссервис. 2002. 544 с.
10. Девис М. Витамин С: химия и биохимия / М. Девис, Дж. Остин, Д. Патридж // Пер. с англ. Медицина. М., 1999.
11. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, М.И. Смирнова-Иконникова, Н.П. Ярош, Г.А. Луковникова // Изд. 2-е. Ленинград: Колос, 1972. 456 с.
12. Ишунина Т.А. Влияние аскорбиновой кислоты на морфологические показатели печени морских свинок в норме и при заживлении раны в области брюшной стенки // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 11. 2014. С. 38-43.
13. Ковтун Г.А. Реакционная способность взаимодействия фенольных антиоксидантов с пероксильными радикалами // Катализ и нефтехимия. 2000. №4. С. 1-9.
14. Митина С.С. Влияние условий выращивания *Medusomyces gusevii* на витаминный состав культуральной жидкости / С.С. Митина, И.В. Ржепаковский, Н.И. Бондарева // Биоразнообразие, биоресурсы, биотехнологии и здоровье населения Северо-Кавказского региона: мат-лы II ежегодной научно-практ. конф. «Университетская наука региону» (7-28 апреля 2014г.). Ставрополь, 2014. С. 153-159.
15. Митина С.С. Измерение показателей биологической активности культуральной жидкости чайного гриба (*Medusomyces gusevii*) в процессе культивирования / С.С. Митина, С.С. Аванесян, Н.И. Бондарева, Л.Д. Тимченко // Биоразнообразие, биоресурсы, биотехнологии и здоровье населения Северо-кавказского региона: мат-лы III ежегодной научно-практ. конф. «Университетская наука региону» (14-30 апреля 2015 г.). Ставрополь, 2015. С. 203-208.
16. Митина С.С. Влияние состава питательной среды на коли-

- чество витамина С в культуральной жидкости симбионта (*Medusomyces gysevii*) / С.С. Митина, Н.И. Бондарева, С.С. Аванесян, М.Н. Сизоненко // В сборнике: Физико-химическая биология, 2015. С. 113-116.
17. Неумывакин И.П. Чайный гриб – природный целитель. Мифы и реальность // СПб.: Изд-во «ДИЛЯ». 2007. 160 с. ISBN: 978-5-88503-307-7.
 18. Ольгин О. Опыты без взрывов. М.: Химия, 1986. 130 с.
 19. Полинг Л. Витамин С и здоровье. М.: Изд-во: «Наука». 1975. 80 с.
 20. Разумов А.С. Биохимические и клинические аспекты современной витаминологии: уч. пособие и тест-задания для интернов и ординаторов КемГМА. Кемерово, 2013. 220 с.
 21. Скарборо Г., Бахарах А. Витамин Р // Сборник Биохимия и физиология витаминов, пер. с англ. М., 195. 2. С. 7.
 22. Тур А.Ф. Рахит // Л.: Медицина, 1966. 172 с.
 23. Цимбаліста Н.В. Гігієнічна оцінка рівнів споживання основних груп харчових продуктів населенням України дії / Н.В. Цимбаліста // Проблеми харчування. 2008. № 1-2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.medved.kiev.ua>.
 24. Юркевич, Д.И. Метод ¹H ЯМР спектроскопии в исследовании экзометаболитов развивающихся микроорганизмов: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.02 / Юркевич Дмитрий Иосифович – Пушино. 2002. 201 с.
 25. Яковлева Г.П. Лекарственное сырье животного и растительного происхождения. Фармакогнозия. СПб.: СпецЛит. – 2006. – 845 с.
 26. Ahmed S. Induction of xylanase and cellulose genes from *Trichoderma harzianum* with different carbon sources / S. Ahmed, A. Quart, A. Night, N. Saima, R. Spayed, J. Amery // Pak. J. Biol. Sic. 2003. 6. P.1912-1916.
 27. Cathcart R. Unique function of vitamin C // Med Hypothes. Vol. 35. 1991. P. 32–37.
 28. Malbasa R. Sucrose and inulinbalance during tea fungus fermentation / R. Malbasa, E. Loncar and Lj. Kolarov // Roum Biotechnol Lett. 7(1). 2002a. P. 573–576.
 29. Petrovic S. Nutritive characteristics of tea fungus metabolites / S. Petrovic, E. Loncar, N. Ruzic and Lj. Kolarov / faculty of Technology, Novi Sad, Proceedings. – Vol. 26–27. – 1995–1996. – P. 257–269.
 30. http://www.med007.ru/publ/genetika_i_gennaja_inzhenerija/biotekhnologija_poluchenija_vitaminov/18-1-0-1547 (Дата обращения: 15 января 2016 года).
 31. <http://biochem.vsmu.edu.ua> (Дата обращения: 2 ноября 2015).
 32. <http://www.scienceforum.ru> (Дата обращения: 2 ноября 2015).

УДК 796.011

**С.А. Егорова [Egorova S. A.],
Н.А. Егоров [Egorov N. A.],
О.Н. Смирнова [Smirnova O. N.]**

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДОРСОПАТИЙ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

Biomechanical basis with back pain in children and adolescents

В статье приведено научное обоснование авторской концепции дорсопатий у детей и подростков, биомеханические основы лечебной гимнастики при дорсопатиях у подростков, описаны результаты апробации данной методики. Показано значение физических упражнений в восстановлении нарушенных функций позвоночника у детей. Исследованы функции позвоночника у детей, разработана и научно обоснована методика лечебной гимнастики при дорсопатиях. Исследование проводилось на базе ГБУЗ СК «ГДКБ им Г.К. Филиппского» г. Ставрополя в течение 9 мес. В исследовании участвовали 60 подростков в возрасте 14 – 18 лет обоего пола с рентгенологически и клинически подтвержденным остеохондрозом позвоночника, подлежащие консервативному лечению. Все исследуемые подростки были разделены на 2 группы исследования. Первую группу – экспериментальную – составили 30 больных, получавшие медикаментозную терапию, классический массаж спины, и занимающиеся по разработанной нами методике лечебной гимнастики. Во вторую группу – контрольную – вошли 30 подростков, у которых также применяли медикаментозную терапию, классический массаж спины, и комплексы ЛФК по традиционным методикам. Обе группы занимались физическими упражнениями 3 – 4 раза в неделю в течение 6 мес. Доказана эффективность разработанной методики лечебной гимнастики, состоящей из трех этапов, и основанной на устранении миотонических очагов с последующим формированием мышечного корсета.

Ключевые слова: миотонические очаги, биомеханика, дорсопатия, дети, подростки, концепция дорсопатии, физические упражнения, лечебная гимнастика.

The article provides a scientific basis for the author's concept of dorsopathies in children and adolescents, biomechanical principles of therapeutic exercises when dorsopathies in adolescents, describes the results of testing the methods. Shows the value of exercise in the restoration of disturbed functions of the spine in children. Investigated the function of the spine in children, have developed and scientifically grounded technique of therapeutic exercises in the dorsopathies. The study was conducted on the basis of GBUZ SC «gdcb them G. K. Philipppian» of Stavropol in the period of 9 months. The study involved 60 adolescents aged 14 – 18 years of either sex with clinically and radiographically confirmed osteochondrosis, subject to conservative treatment. All the studied adolescents were divided into 2 groups of the study. The first group – the experimental consisted of 30 patients who received medical therapy, classic massage, and trained according to developed strategy of therapeutic exercises. The second group – the control group – included 30 adolescents who have also used drug therapy, classic massage, exercise therapy and complexes by conventional methods. Both groups were engaged in physical exercises 3 to 4 times a week for 6 months. The efficacy of the developed techniques of therapeutic exercises, consisting of three stages, and is based on the elimination of myotonic foci with subsequent formation of the muscular corset.

Key words: biomechanics, back pain, adolescents, children, physical exercises, medical gymnastics.

Проблемы функционального состояния опорно-двигательного аппарата (ОДА) детей и подростков и методы устранения патологических двигательных стереотипов средствами физической культуры сегодня активно обсуждаются многими учеными, при этом высказываются диаметрально противоположные точки зрения. Одни исследователи настаивают на значимости физических упражнений в реабилитации нарушений функций ОДА [4, 6, 7, 8-10, 14, 15], другие, напротив, не придают первостепенного значения физическим упражнениям в реабилитации патологии ОДА [1, 2, 11, 12, 13]. Противоречивость во мнениях различных ученых по данному вопросу побуждает исследователей не останавливаться в изучении данной проблемы.

Данная проблема требует решения, поскольку именно в детском возрасте формируются все основные патологические двигательные стереотипы, которые с возрастом только закрепляются и приводят к ухудшению функционирования всего опорно-двигательного аппарата. Все больше детей сегодня жалуется на головные боли, повышенную утомляемость, плохую успеваемость, боли в области спины, шеи и т.д. Нередко причиной данных симптомов у детей являются начальные проявления остеохондроза позвоночника, что зачастую обусловлено гиподинамией, длительными занятиями за компьютером и т.д.

Актуальность настоящего исследования обусловлена большим распространением патологии позвоночника, которая, по данным статистики, встречается у 20–30% подростков к окончанию школы. Дорсопатии (или как раньше было принято называть – остеохондроз позвоночника) является одной из ведущих проблем [3, 5]. Быстрая утомляемость и боли в спине снижают возможности детей к занятию спортом, а в будущем, ограничивают выбор профессии. Мы считаем, что одним из действенных методов борьбы с данной патологией являются физические упражнения. Сегодня известно большое количество разнообразных гимнастик, предлагаемых для укрепления позвоночника, но научное обоснование у многих из них отсутствует.

Для решения данной проблемы **целью** настоящего исследования стало научно-методическое обоснование биомеханической концепции дорсопатий у детей и подростков и разработка на ее основе функциональной лечебной гимнастики.

Для достижения поставленной цели был определен ряд задач:

1. Изучить распространенность дорсопатий у подростков по литературным источникам.
2. Исследовать функции позвоночника у детей при дорсопатии.
3. Представить концепцию развития дорсопатий у детей и подростков.
4. Разработать и научно обосновать методику лечебной гимнастики при дорсопатиях.
5. Применить на практике методику лечебной гимнастики
6. Оценить эффективность предложенной методики

Для решения указанных выше задач применялись следующие методы исследования:

1. Анализ литературных источников по проблеме исследования.
2. Анализ медицинской документации.
3. Электронейромиография.
4. Анкетирование.
5. Исследование функции позвоночника (пробы Стибо-ра, Павелки, гибкость позвоночника, оценка силы мышц спины).
6. Балльная оценка выраженности болевого синдрома по Визуальной аналоговой шкале (ВАШ).
7. Статистический анализ полученных данных.

Исследование проводилось на базе ГБУЗ СК «ГДКБ им Г.К. Филиппского» г. Ставрополя в течение 9 мес. В исследовании учас-

твовали 60 подростков в возрасте 14–18 лет обоего пола с рентгенологически и клинически подтвержденным остеохондрозом позвоночника, подлежащие консервативному лечению.

Все исследуемые подростки были разделены на 2 группы исследования.

Первую группу – экспериментальную – составили 30 больных, получавшие медикаментозную терапию, классический массаж спины, и занимающиеся по разработанной нами методике лечебной гимнастики.

Во вторую группу – контрольную – вошли 30 подростков, у которых также применяли медикаментозную терапию, классический массаж спины, и комплексы ЛФК по традиционным методикам. Обе группы занимались физическими упражнениями 3–4 раза в неделю в течение 6 мес.

В исследовании участвовало 28 мальчиков и 32 девочки.

Анализ медицинской документации показал, что у 12% подростков выявлен шейный остеохондроз, у 24% – грудной остеохондроз, у 46% – поясничный остеохондроз, у 18% – полисегментарный остеохондроз.

Ведущими жалобами были: головные боли (48%), боли в спине (52%), боли в шее (38%), повышенная утомляемость (36%), нарушения артериального давления (23%), снижение зрения (3%).

За основу научно-методического обоснования биомеханической концепции дорсопатии у детей и разработки лечебной гимнастики, нами было взято следующее. При разворачивании клиники данного заболевания, ведущими патологическими проявлениями являются миотонические симптомы, проявляющиеся в спазме мышц, постоянных мышечных болях, что приводит, в итоге, к нарушению кровообращения и ограничению движения в пораженной области.

Существующие научные теории о единстве всех составляющих двигательного стереотипа, который формируется всеми сегментами позвоночника, суставами и мышцами конечностей, явились побудительным моментом к разработке концепции возникновения дорсопатий у детей и биомеханическим основам лечебной гимнастики.

Биомеханическая концепция развития дорсопатии у детей

- I. Факторы «пускового механизма» дорсопатий у детей и подростков:
 1. Наследственная предрасположенность (особенности конституции, аномалии позвоночника и др.).
 2. Длительные неадекватные статические перегрузки, травмы опорно-двигательного аппарата.
 3. Родовая травма, которая в течение первых 6 месяцев жизни приводит к началу формирования неадекватного двигательного стереотипа.
- II. Реализующие факторы дорсопатий у детей и подростков:
 1. Нарушение и асимметрия мышечного тонуса.
 2. Изменение сроков и этапов моторного развития ребенка в результате формирующегося неадекватного двигательного стереотипа.
- III. Развитие дорсопатий у детей и подростков:
 1. Ухудшение питания тканей позвоночника с нарушением оттока крови, как следствие спазма мышц.
 2. Дегенеративно-дистрофические изменения тел позвонков, окружающих мягких тканей, формирование грыж Шморля.
 3. Повышение внутрикостного давления, и раздражение внутрикостных рецепторов (так называемые «боли роста»).
 4. Снижение коркового моторного контроля, закрепление неадекватного двигательного стереотипа.
 5. Проявление постоянных мышечных болей, спазмы сосудов, головные боли и т.д.
 6. Нарушения функции позвоночника (нестабильность позвоночника, блокады позвоночно-двигательных сегментов и т.д.)

Предложенная концепция развития дорсопатий у детей и подростков позволила в дальнейшем разработать адекватную и патогенетически обоснованную методику лечебной гимнастики, направленную на устранение основных патологических моментов.

Известно, что при дорсопатиях наибольшие болезненные проявления в мышцах возникают при сгибании и разгибании туловища. Для понимания патогенеза данных симптомов, нами были проанализированы биомеханические особенности опорно-двигательного аппарата.

По данным Васильевой Л.Ф. [2], биомеханика всего опорно-двигательного аппарата обеспечивается слаженной работой 5 групп мышц: *агонисты, синергисты, нейтразиторы, фиксаторы, антагонисты*.

Для обеспечения любого оптимального движения необходимо соблюдение последовательности включения в работу каждой из 5 групп мышц.

1. Первыми в работу включаются *мышцы-фиксаторы*, обеспечивающие фиксацию места крепления мышцы-агониста и отсутствие добавочных движений в соседних областях опорно-двигательного аппарата.
2. Далее включается в работу *мышца-агонист*, которая, собственно, и отвечает за направление движения.
3. Однонаправленность движения и обеспечение наиболее короткой траектории реализуют *мышцы-нейтразиторы*, устраняющие избыточные движения мышцы-агониста.
4. Плавность движения и достаточность объема обеспечивается эксцентрическим сокращением *мышцы-антагониста*, которая постепенно растягивается и увеличивает свою длину.
5. Обеспечение плавности и строгой последовательности перехода двигательного акта одного сустава в другой – *функция синергиста*.

При разработке нашей теории мы исходили из того, что мышцами, обеспечивающими движение, являются мышцы-агоисты и мышцы-синергисты. Они работают в динамическом режиме, что создает наиболее благоприятные условия для функционирования данных мышц. В статических (анаэробных условиях) работают мышцы-стабилизаторы и нейтрализаторы. В аэробно-анаэробном режиме (уступающая сила) работают мышцы-антагонисты. В связи с этим, миотонические синдромы должны чаще всего возникать в мышцах, выполняющих статическую работу, что будет приводить к возникновению болевых синдромов при дорсопатиях.

Для доказательства данного предположения нами была проведена электронейромиография мышц спины как в начале, так и конце эксперимента. Электронейромиография (ЭНМГ) – метод исследования электрической активности мышц в покое и во время их сокращения. Регистрация сокращений мышц осуществлялась при помощи электронейромиографа. При проведении электронейромиографии учитывались следующие показатели, наиболее отвечающие задачам эксперимента:

1. Латентный (скрытый) период проведения возбуждения по нерву (мс), который возрастает при повышении тонуса мышц.
2. Амплитуда М-ответа (амплитуда ответного сокращения мышцы на раздражение), мВ. Данный показатель увеличивается при повышении тонуса мышц и понижается при снижении мышечного тонуса.
3. Скорость распространения возбуждения (V – м/с). У здоровых людей данный показатель должен соответствовать норме ($55,4 \pm 1,3$ м/с). Он изменяется только при некоторых заболеваниях (например, миелопатиях – заболевание, при котором разрушается миелиновая оболочка нерва, что приводит к нарушению нервно-мышечной передачи). При отсутствии данного заболевания скорость проведения по двигательным волокнам нервов остается в норме.

При выборе мышц для исследования мы руководствовались следующим: при сгибании туловища мышцами-фиксаторами являются: большая поясничная, прямая мышца бедра, мышцами-нейтрализаторами – прямые и косые мышцы живота, при разгибании туловища – мышцами-фиксаторами являются: большая ягодичная мышца, подвздошно-поясничная мышца, мышцы задней группы бедра, мышцами-нейтрализаторами – разгибатели спины. Учитывая вышеизложенное, для подтверждения нашего предположения о возникновении миотонических очагов в мышцах, электронейромиографическое исследование было проведено большой поясничной мышцы, прямой мышцы бедра, большой ягодичной мышцы.

В результате выполненной электронейромиографии указанных мышц достоверно выявлено повышенное мышечное напряжение, что подтвердило наличие миотонических очагов и потребовало разработки специальной лечебной гимнастики, направленной на устранение выявленных нарушений.

С учетом выявленных нарушений в результате проведенных исследований нами разработана методика лечебной гимнастики, состоящей из 3 этапов:

- 1 этап – устранение миотонических очагов в мышцах-фиксаторах и мышцах-нейтрализаторах туловища.
- 2 этап – формирование мышечного корсета.
- 3 этап – поддерживающий

Методической особенностью

1 этапа являлось

выполнение упражнений в медленном темпе, с задержкой на определенное количество времени, выполнять 4 раза в неделю. Общая продолжительность 2 этапа гимнастики – 40 мин. Этап длился 3 месяца.

Рекомендуемый комплекс физических упражнений:

1. ИП – стоя. На выдохе сделать глубокий наклон вперед, не сгибая коленей, обхватить руками голени. В конце глубокого выдоха зафиксировать положение, задержать дыхание на 3–5 сек. Не ослабляя руки, повторить упражнение 3–5 раз (растяжение мышц спины, задней группы мышц бедра).
2. ИП – лежа на спине, руки вдоль туловища. Медленно поднять прямые ноги, опустить их за голову, зафиксировать положение на 30 сек – 3 мин. Медленно вернуться в ИП. Повторить 3–5 раз (растяжение мышцы, выпрямляющей позвоночник, задней группы мышц бедра). При хорошей тренировке согнуть ноги в коленных суставах, колени опустить на пол рядом с надплечьями. В конце глубокого выдоха зафиксировать положение, задержать дыхание на 3–5 сек.
3. ИП – стоя на коленях, голени в стороны, медленно лечь на пол между голени, зафиксировать положение на 30 сек – 3 мин. Вернуться в ИП (растяжение прямых мышц живота, передней группы мышц бедра).
4. Из ИП лежа на спине выполнить упражнение «мостик». Зафиксировать на 30–60 сек (растяжение прямых мышц живота, передней связки позвоночника).
5. ИП – лежа на спине, ноги выпрямлены, руки вдоль туловища. Правую ногу согнуть в колене и в тазобедренном суставе. Левая рука на коленном суставе правой ноги. Вдох, глубокий медленный выдох. Медленно на выдохе опустить правое колено влево, стараясь коснуться коленом пола слева от туловища. В конце глубокого выдоха зафиксировать положение, задержать дыхание на 3–5 сек. Не ослабляя руки, повторить упражнение 3–5 раз. То

же повторить с противоположной стороны (растяжение мышц, вращающих позвоночник).

6. ИП – лежа на спине, ноги выпрямлены, руки вдоль туловища. Согнуть правое колено, привести его к груди, обхватить руками. Вдох, глубокий медленный выдох. Во время выдоха давить на колено, направляя его к противоположному плечу. В конце глубокого выдоха зафиксировать положение, задержать дыхание на 3–5 сек. Не ослабляя давления, повторить упражнение 3–5 раз. То же повторить с противоположной стороны (растяжение ягодичных мышц, грушевидной мышцы).
7. ИП – сидя, прямые ноги разведены в стороны как можно шире. Вдох, глубокий медленный выдох. Во время выдоха глубокий наклон к правой ноге, обхватить голень руками. В конце глубокого выдоха зафиксировать положение, задержать дыхание на 3–5 сек. Не ослабляя давления, повторить упражнение 3–5 раз. То же повторить с противоположной стороны (растяжение приводящих мышц бедра, мышц спины).
8. ИП – сидя, ноги согнуты и разведены, стопы соприкасаются (поза «лягушки»). Руки лежат на коленях. Вдох, глубокий медленный выдох. Во время выдоха руками давить на колени, растягивая приводящие мышцы бедер. В конце глубокого выдоха зафиксировать положение, задержать дыхание на 3–5 сек. Не ослабляя давления, повторить упражнение 3–5 раз.
9. ИП – лежа спиной на гимнастическом мяче. Полностью расслабиться, руки за головой, ноги слегка касаются пола. Дыхание произвольное. Зафиксировать положение на 1 – 3 мин.
10. ИП – лежа животом на гимнастическом мяче. Полностью расслабиться, руки и ноги свисают без напряжения.

Дыхание произвольное. Зафиксировать положение на 1 – 3 мин.

Методические особенности 2 этапа

Выполнение 2 этапа начинается после окончания 1 этапа. Выполняется 3 раза в неделю, вес подбирается таким образом, чтобы выполнить 12 повторов каждого упражнения с субмаксимальным усилием. Выполняется по 3 подхода каждого упражнения. Общая продолжительность 2 этапа гимнастики – 40 мин. Данный этап длится в течение 6 мес.

Рекомендуемый комплекс упражнений:

1. Глубокие приседания, угол между голенью и бедром – 90 гр., колено не выходит за голень. При хорошей тренированности – добавление веса
2. Выпады назад – по 12 повторов каждой ногой. При хорошей тренированности – добавление веса
3. Выпады назад – по 12 повторов каждой ногой. При хорошей тренированности – добавление веса.
4. Гиперэкстензия – разгибание туловища с выпрямленными ногами из ИП – лежа на животе, или упор в тренажере.
5. Сгибание туловища с согнутыми ногами.
6. Скручивания туловища, ноги согнуты, стоят на полу, при хорошей тренированности – голени параллельны полу.
7. ИП – лежа на спине – подъем прямых ног.

Через 9 мес. наступает 3 этап – поддерживающий.

Методические особенности данного этапа – 2 раза в неделю выполняются упражнения из второго этапа, 1 раз в неделю – упражнения из 1 этапа. Поддерживающий этап необходимо выполнять максимально долго, годами.

Результаты и обсуждение

В результате проведенного исследования у всех детей экспериментальной группы до проведения исследования выявлено нарушение гибкости и ротации позвоночника, у 40 % выявлены умеренно выраженные нарушения самочувствия и у 27 % – выраженные нарушения самочувствия, выраженный болевой синдром в 8 баллов, участки повышенного мышечного напряжения в области ягодичных мышц, мышц спины, живота и бедер (миотонические очаги), снижение силы мышц спины.

Через 3 месяца, после проведенного первого этапа лечебной гимнастики в экспериментальной группе выявлено статистически достоверное улучшение гибкости позвоночника, в среднем, на 4,3 см, улучшение самочувствия, повышение силы мышц спины, тогда как в контрольной группе статистически значимых изменений не произошло.

Общее количество жалоб в экспериментальной группе уменьшилось, в среднем, в 1,5 раза. На электронейромиографии отмечено уменьшение миотонических очагов. В контрольной группе значимых изменений на электронейромиографии не выявлено.

После второго этапа лечебной гимнастики (через 6 мес.) в экспериментальной группе сила мышц спины увеличилась на 18%, тогда как в контрольной – на 13%, в экспериментальной группе интенсивность боли по шкале ВАШ уменьшилась с 8 баллов до 2,5 баллов, тогда как в контрольной группе уровень боли остался на уровне 4,7 баллов

Таким образом, проведенное исследование доказало высокую эффективность применения разработанного комплекса физических упражнений и показало состоятельность предложенной научной теории по применению предложенной нами лечебной гимнастики.

Выводы

1. Анализ литературных источников показал, что дорсопатии возникают у детей уже в возрасте 9–12 лет. Частота данной патологии среди школьников варьирует в пределах от 12% до 21%.

2. В ходе нашего эксперимента при обследовании 60 подростков с подтвержденными дорсопатиями, у 93% из них выявлены ограничения функции позвоночника, у 67% подростков выявлены умеренные и выраженные нарушения самочувствия, снижение силы мышц спины, выраженный болевой синдром.
3. В данном исследовании предложена биомеханическая концепция развития дорсопатий у детей.
4. В ходе эксперимента была разработана и апробирована лечебная гимнастика, основанная на научно-методическом подходе, и состоящая из трех этапов.
5. Методами исследования доказано положительное влияние предложенного комплекса лечебной гимнастики на функциональное состояние и тонус мышц позвоночника подростков, улучшение самочувствия и восстановление двигательных навыков: у 60% подростков произошло восстановление нормальной двигательной функции позвоночника, у 70% отмечено улучшение самочувствия, болевой синдром уменьшился в 3 раза ($p < 0,05$)
6. Предложенный специальный комплекс физических упражнений, основанный на стадийности заболевания, прост в применении и устраняет основные симптомы заболевания в короткие сроки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андриянова Е.Ю. Механизмы снижения и восстановления адаптационных возможностей у больных остеохондрозом пояснично-крестцового отдела позвоночника // Адаптивная физическая культура, 2006. № 1. С. 26-28.
2. Васильева Л.Ф. Визуальная диагностика нарушения статики и динамики / Иваново, 1996 – 200 с.
3. Веселовский В.П. Практическая вертеброневрология и мануальная терапия. Рига, 1991. 259 с.

4. Егоров Н.А., Егорова С.А., Смирнова О.Н. Биомеханическая концепция развития остеохондроза позвоночника у детей // Материалы VII Международной научно-технической конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ 2006». Владимир, 2006. С. 234-236.
5. Егорова С.А., Егоров Н.А. Инновационный способ реабилитации остеохондроза // Материалы 51 научно-методическая конференции СГУ «Университетская наука – региону» «Физическая культура и спорт: здоровье, образование, воспитание, тренировка». Ставрополь, 2006. С. 45-47.
6. Егорова С.А., Егоров Н.А., Кувалдина Е.В. Значение лечебной физкультуры в комплексной реабилитации остеохондроза // Материалы 50 научно-практической конференции «Физическая культура и спорт: здоровье, образование, воспитание, тренировка». Ставрополь: СГУ, 2005. С. 36–38.
7. Егорова С.А., Егоров Н.А., Шумакова Н.Ю. Лечебная артгимнастика в комплексной реабилитации остеохондроза // Адаптивная физическая культура», 2005. № 4. С. 15–17.
8. Епифанов В.А. Восстановительное лечение при повреждениях опорно-двигательного аппарата. М., 2009. 480 с.
9. Епифанов В.А. Лечебная физическая культура. Издательство: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 568 с.
10. Епифанцев Е.А., Ролик И.С. Средства физической реабилитации в терапии остеохондроза позвоночника. М.: ВНИТЦ, 1997. 98 с.
11. Попелянский Я.Ю. Нейроортопедия. М.: Медицина, 2003.
12. Соков Л.П., Соков Е.Л., Соков С.Л. Руководство по нейроортопедии. М.: РУДН, 2002. 542 с.
13. Федоренко Н.А. Восстановительные методы лечения. Издательство: Эксмо, 2008. 688 с.
14. Челноков В.А. Основные патогенетические принципы применения физических упражнений при профилактике остеохондроза позвоночника // Теория и практика физической культуры, 1998. №10. С. 43-47.
15. Челноков В.А. Применение патогенетической классификации физических упражнений при формировании программ оздоровительной физкультуры для профилактики остеохондроза позвоночника у школьников // Сборник трудов ученых РГАФК. М., 1999. С. 230-232.

УДК 591.436

**Кобзева М.В. [Kobzeva M.V.],
Джандарова Т.И. [Dzhandarova T.I.]****ОСОБЕННОСТИ ВОЗРАСТНОЙ
ДИНАМИКИ КОРТИКОСТЕРОИДОВ,
ЭСТРАДИОЛА И ТЕСТОСТЕРОНА
В КРОВИ У ПОТОМКОВ
ОТ КРЫС-МАТЕРЕЙ
С ГИПОПАРАТИРЕОЗОМ****Features of age dynamics of corticosteroids,
estradiol and testosterone in the blood
of the children of mothers rats
with hypoparathyroidism**

Проведено экспериментальное исследование возрастной динамики содержания в крови кортикостероидов, эстрадиола и тестостерона у потомков в постнатальном онтогенезе, внутриутробное развитие которых протекало на фоне гипопаратиреоза матерей. Уровни кортикостероидов, эстрадиола и тестостерона в крови определяли у всех потомков в 1-й, 7-й, 30-й, 90-й и 180-й дни после рождения. Установлено, что гипопаратиреоз матери в период беременности сопровождается существенным снижением уровней кортикостероидов и тестостерона в крови у потомков после рождения вплоть до 6-ти месячного возраста. При этом уровень эстрадиола в крови у потомков крыс с гипопаратиреозом во время беременности был достоверно выше на 7-й день после рождения, а в остальные периоды постнатального онтогенеза – достоверно ниже по сравнению с соответствующими показателями аналогичных возрастных периодов контрольных потомков.

Ключевые слова: гипопаратиреоз, кортистероиды, эстрадиол, тестостерон.

An experimental study of age dynamics of blood levels of corticosteroids, estradiol and testosterone from the descendants in the postnatal ontogeny, fetal development which proceeded against the background of hypoparathyroidism mothers. Levels of corticosteroids, estradiol, and testosterone were determined in all offspring in the 1st, 7th, 30th, 90th and 180th days after birth. Found that hypoparathyroidism in the mother's pregnancy accompanied by a significant decrease in the levels of corticosteroids and testosterone in the blood of children after birth until 6 months of age. The level of estradiol in blood in the offspring of rats with hypoparathyroidism during pregnancy was significantly higher on day 7 after birth, and in other periods of postnatal ontogenesis is significantly lower in comparison with corresponding indicators of similar age periods of the control offspring.

Key words: hypoparathyroidism, corticosteroids, estradiol, testosterone.

Введение

Как известно из литературы, гиподисфункция околощитовидных желез приводит к существенным нарушениям как уровня, так и

суточной динамики гормонов коры надпочечников [2]. Отмечено, что нарушение обмена кальция не вызывало значительных изменений в уровне эстрадиола в крови, но вместе с тем существенно изменяло его суточную динамику. Также было показано в эксперименте, что гипопаратиреоз у крыс сопровождался достоверным снижением уровня тестостерона в крови и нарушением его суточной динамики по сравнению с контрольными животными [3].

Имеющиеся в литературе данные показывают, что для нормального течения эмбрионального развития необходим комплекс условий, включающий генетические и средовые. Для нарушения же эмбриогенеза может быть достаточно действия единственного повреждающего фактора или отсутствия одного из необходимых условий [5]. В этом отношении представляет большой интерес обмен кальция в системе мать-плацента-плод. Из данных литературы известно, что функциональная перестройка эндокринной системы даже при физиологически протекающей беременности приводит к дисфункции кальций-фосфорного обмена и костного метаболизма [7, 1, 4, 6].

Исходя из вышесказанного, **целью** нашей работы было изучить в эксперименте влияние гипопаратиреоза матери во время беременности на возрастную динамику уровня стероидных гормонов в крови у ее потомков в постнатальном онтогенезе.

Материал и методы исследования

Исследования выполнены на потомках крыс-матерей линии Вистар. Всего в эксперименте было использовано 144 крысы. При постановке эксперимента на крысах полностью соблюдались международные принципы Хельсинской декларации о гуманном отношении к животным.

В соответствии с целью крысы были разделены на
2 группы:

- 1) контрольная группа – потомки интактных крыс;

- 2) потомки крыс, беременность которых протекала на фоне гипопаратиреоза.

Учитывая возрастные различия в развитии кальцийрегулирующих систем, надпочечных и половых желез, исследования проводили у потомков в 1-й, 7-й, 30-й, 90-й и 180-й дни после рождения.

У всех потомков определяли уровни кортикостероидов, эстрадиола и тестостерона в крови иммуноферментным методом. Для этого использовали наборы реагентов ЗАО «АЛКОР-БИО» для определения кортикостероидов, тестостерона и эстрадиола и микростриповый фотометр для иммунного анализа «STAT FAX 303 Plus».

Полученные данные подвергались вариационно-статистической обработке с помощью компьютерной программы Excel пакета Microsoft Office 2003.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты наших исследований выявили, что гипопаратиреоз матери в период беременности и вызванная им гипокальциемия приводят к гиперкальциемии в крови у плодов и к существенной гипокальциемии после рождения вплоть до 6-месячного возраста.

Как следует из полученных нами данных, у потомков контрольной группы после рождения содержание кортикостероидов в крови изменялось на протяжении всех исследуемых периодов онтогенеза в пределах возрастных норм, характерных для данного вида животных. При этом следует отметить наиболее высокий уровень их в 3-месячном возрасте, что соответствует периоду половой зрелости. Гипопаратиреоз матери в период беременности и вызванная им гипокальциемия сопровождаются существенным снижением уровня кортикостероидов в крови после рождения вплоть до 6-месячного возраста. Дополнительным фактором наряду с гипокальциемией и низким содержанием кортикостероидов в крови у крыс-матерей с гипопаратиреозом, несомненно, может служить и более

низкий уровень паратгормона, проникающего к плоду через плаценту в конце беременности. Этот гормон может непосредственно воздействовать на надпочечные железы плода, которые также являются органом-мишенью для паратгормона. Из сказанного следует, что низкое содержание как кальция, так и гормонов в крови матери значительно активизирует пренатальное развитие гормональной активности коры надпочечных желез и способствует раннему ее истощению у потомков вплоть до 6-месячного возраста. Выявленные изменения, несомненно, приводят к нарушению адаптивных возможностей потомков, внутриутробное развитие которых протекало в условиях гипопаратиреоза матери во время беременности.

Учитывая значение кальция для синтеза и секреции кортикостероидов, можно предположить его влияние также и на динамику половых стероидов – эстрогена и тестостерона. Вместе с тем, данные об особенностях влияния ионов кальция на содержание половых стероидов в крови доступной литературе крайне мало.

Результаты наших исследований показали, что содержание тестостерона в крови у потомков контрольной группы претерпевало возрастную динамику с максимальным значением на 90-й день после рождения, что соответствовало периоду раннего полового созревания. У потомков крыс с гипопаратиреозом на протяжении всех исследуемых периодов постнатального онтогенеза содержание тестостерона в крови было достоверно ниже по сравнению с соответствующими показателями аналогичных возрастных периодов интактных потомков, а возрастная динамика его уровня в крови практически не отличалась от возрастной динамики его у интактных потомков.

В наших исследованиях также отмечено, что содержание эстрадиола в крови у потомков контрольной группы претерпевало возрастную динамику с минимальным значением на 7-й день после рождения. У потомков крыс с гипопаратиреозом на 7-й день после рождения содержание эстрадиола было достоверно выше, а в остальные исследуемые периоды постнатального онтогенеза достоверно ниже по сравнению с соответствующими показателями аналогичных возрастных периодов интактных по-

томков. Возрастная динамика его уровня в крови при этом практически не отличалась от возрастной динамики его у интактных потомков.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлены нарушения гормональной активности коры надпочечников и половых желез при гипокальциемии у потомков, внутриутробное развитие которых протекало на фоне гипопаратиреоза и гипокальциемии матери, что, несомненно, может отразиться на адаптационных и репродуктивных возможностях потомков в постнатальном онтогенезе.

Выводы

1. Гипопаратиреоз матери в период беременности и вызванная им гипокальциемия сопровождаются существенным снижением уровня кортикостероидов в крови после рождения вплоть до 6-ти месячного возраста.
2. У потомков крыс с гипопаратиреозом во время беременности на протяжении все исследуемых периодов постнатального онтогенеза содержание тестостерона в крови было достоверно ниже по сравнению с соответствующими показателями аналогичных возрастных периодов контрольных потомков.
3. У потомков крыс с гипопаратиреозом во время беременности на 7-й день после рождения уровень эстрадиола был достоверно выше, а в остальные периоды постнатального онтогенеза достоверно ниже по сравнению с соответствующими показателями аналогичных возрастных периодов контрольных потомков.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ
СПИСОК**

1. Грищенко О.В. Возможности коррекции кальцийдефицитных состояний при беременности и лактации / О.В. Грищенко, А.В. Сторчак // Методические рекомендации. Харьков: ХМАПО, 2003. 35 с.
2. Джандарова Т.И. Роль околощитовидных желез в организации циркадианных ритмов физиологических функций и поведенческих реакций / Т.И. Джандарова: Автореф. дис. ... на соискание ученой степени доктора биологических наук. М., 2003.
3. Кобзева М.В. Влияние гипопаратиреоза в женском организме на суточную динамику половых гормонов в крови / М.В. Кобзева, Т.И. Джандарова // «Эколого-физиологические проблемы адаптации», материалы XV Международного симпозиума. Москва, РУДН, 2012. 624 с.
4. Небышинец Л.М. Влияние минералопрофилактики на течение беременности и родов у беременных с экстрагенитальной патологией / Л.М. Небышинец, В.Л. Силява // Тезисы докладов 3-й Международной научно-практической конференции. Витебск, 2003. С. 93–94.
5. Рыжавский Б.Я. Состояние важнейших систем в эмбриогенезе: отдаленные последствия / Б.Я. Рыжавский. Хабаровск, 1999.
6. Соколова, М.Ю. Дефицит кальция во время беременности / М.Ю. Соколова // Гинекология. 2004. № 6. С. 268–270.
7. Щербавская Э.А. Кальций D3-Никомед в профилактике остеопенических осложнений у беременных с гестозами / Э.А. Щербавская, Е.А. Кочеткова, Б.И. Гельцер // Гинекология. 2002. №4 (1).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ, №2, 2016

1. Аванесян Светлана Суреновна,
старший научный сотрудник ПНИЛ «Экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии, иммунобиотехнологии» центра коллективного пользования научным оборудованием Северо-Кавказский федеральный университета.
2. Авдеев Андрей Валерьевич,
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей и теоретической физики Северо-Кавказского федерального университета.
Телефон: (8652) 35-33-48.
E-mail: amedeo82@yandex.ru.
3. Бегдай Инна Владимировна,
кандидат технических наук, доцент экологии и природопользования, заместитель директора по научной работе

Института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета.

Телефон: 8-918-746-13-32.

E-mail: algae@mail.ru.

4. Белисова Кристина Владиславовна,
аспирант 2 г.о. кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета.

Телефон: 8-903-415-22-07.

E-mail: Kristi_belisova@mail.ru.

5. Бондарева Надежда Ивановна,
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ПНИЛ «Экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии, иммунобиотехнологии» центра коллективного пользования научным оборудованием Северо-Кавказский федеральный университета.

Телефон: 8-918-759-56-03.

E-mail: nadusha.bondareva@gmail.com.

6. Бондарь Елена Васильевна,
кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии и природопользования Северо-Кавказский федеральный университета.

Телефон: 8-928-911-20-81.

Email: evbondar68@gmail.com.

7. Бурым Юрий Владимирович,
кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета.
Телефон: (8652) 33-02-79.
E-mail: yuvburym@mail.ru.
8. Вечер Ольга Владимировна,
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики, математики и биотехнологии Ставропольского государственного медицинского университета.
Телефон: 8-928-324-04-73.
E-mail: vecher.olga@mail.ru.
9. Гладков Андрей Владимирович,
старший преподаватель кафедры прикладной математики и математического моделирования Северо-Кавказского федерального университета.
Телефон: 8-905-497-53-38.
E-mail: gavandrew@mail.ru.
10. Джандарова Тамара Исмаиловна,
доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры анатомии и физиологии Института живых систем Северо-Кавказский федеральный университета.
Телефон: 8-903-418-39-54.
E-mail: Djandarova@yandex.ru.

11. Дискаева Елена Игоревна,
кандидат физико-математических наук, заведующая кафедрой физики, математики и биотехнологии Ставропольского государственного медицинского университета.
Телефон: 8-962-450-25-10.
E-mail: e_diskaeva@mail.ru.
12. Домарева Алина Евгеньевна,
ассистент кафедры геология нефти и газа, института нефти и газа Северо-Кавказского федерального университета.
Телефон: 8-905-445-21-79.
E-mail: alina-domareva@rambler.ru.
13. Друп Виктория Демировна,
кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры биологии и экологии Ставропольского государственного педагогического института.
Телефон: 8-962-007-86-52.
E-mail: sylvia_vica@mail.ru.
14. Егоров Николай Алексеевич,
кандидат медицинских наук, невролог ГБУЗ СК «ГДКБ им. Г.К. Филиппского».
Телефон: 8-962-413-74-93.
E-mail: 79624137493@yandex.ru.

15. Егорова Светлана Александровна,
кандидат медицинских наук, доцент, заместитель главного врача по медицинской части ГБУЗ СК «ГДКБ им. Г.К. Филиппского».
Телефон: 8-962-413-74-93.
E-mail: 79624137493@yandex.ru.
16. Еремин Илья Евгеньевич,
доктор технических наук, профессор кафедры информационных и управляющих систем факультета математики и информатики Амурского государственного университета, г. Благовещенск.
E-mail: marinecops@mail.ru.
17. Жданова Наталья Владимировна,
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики, электротехники и электроники Северо-Кавказского федерального университета.
Телефон: (8652) 94- 40-71.
E-mail: zhdanova_n@rambler.ru.
18. Калита Диана Ивановна,
аспирант, ассистент кафедры информационных систем и технологий Северо-Кавказского федерального университета.
Телефон: 8-962-007-90-24.
E-mail: diana.kalita@mail.ru.

19. Кобзева Марина Валерьевна,
аспирант кафедры анатомии и физиологии Института
живых Северо-Кавказский федеральный университета.
Телефон: 8-928-637-35-18.
E-mail: kobzeva-78@mail.ru.
20. Ляхов Павел Алексеевич,
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры
прикладной математики и математического моделирова-
ния Северо-Кавказского федерального университета.
Телефон: 8-962-028-72-14.
E-mail: ljahov@mail.ru.
21. Митина Светлана Сергеевна,
магистрант второго года обучения, младший научный со-
трудник ПНИЛ «Экспериментальной иммуноморфоло-
гии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии» центра
коллективного пользования научным оборудованием Се-
веро-Кавказский федеральный университета.
Телефон: 8-909-754-34-72.
E-mail: Svetusya92@yandex.ru.
22. Наац Виктория Игоревна,
доктор физико-математических наук, профессор кафед-
ры математического анализа Института математики и ес-
тественных наук Северо-Кавказского федерального уни-
верситета.
Телефон: 8-918-744-82-89.
E-mail: VINaac@yandex.ru.

23. Наац Игорь Эдуардович,
доктор физико-математических наук, профессор, веду-
щий научный сотрудник Института повышения квали-
фикации научно-педагогических кадров Северо-Кавказ-
ского федерального университета.
Телефон: (8-652) 35-21-10 (1154).
E-mail: naatsie@yandex.ru.
24. Перекопская Наталья Евгеньевна,
студентка 2 курса магистратуры кафедры экологии и
природопользования Северо-Кавказского федерального
университета.
Телефон: 8-928-323-99-19.
Email: Natalia-1691@mail.ru.
25. Подолько Евгения Александровна,
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры
высшей математики Дальневосточного государствен-
но аграрного университета, г. Благовещенск.
E-mail: evgpodolko@mail.ru.
26. Рыскаленко Роман Андреевич,
кандидат физико-математических наук, кафедра мате-
матического анализа Института математики и естествен-
ных наук Северо-Кавказского федерального университе-
та.
Телефон: 8-918-751-92-82.
E-mail: azerton@yandex.ru.

27. Скрипчинский Андрей Владимирович,
кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета.
Телефон: (8652) 33-02-79.
E-mail: ron1975@list.ru.
28. Смирнова Ольга Николаевна,
кандидат медицинских наук кафедры медицинской биохимии, клинической лабораторной диагностики и фармации Института живых систем Северо-Кавказского федерального университета.
Телефон: 8-962-413-74-93.
E-mail: 79624137493@yandex.ru.
29. Тарасенко Елена Олеговна,
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики и математического моделирования Северо-Кавказского федерального университета.
Телефон: (8652) 33-02-82 доб. 49-32.
E-mail: galail@mail.ru.
30. Тимченко Людмила Дмитриевна,
доктор ветеринарных наук, профессор, заведующая лабораторией ПНИЛ «Экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии» цен-

тра коллективного пользования научным оборудованием Северо-Кавказский федеральный университета.

31. Траутвайн Светлана Анатольевна,
кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования Северо-Кавказского федерального университета.
Телефон: 8-961-498-89-91.
E-mail: svett-sk@yandex.ru.
32. Харченко Владимир Михайлович,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геология нефти и газа, института нефти и газа Северо-Кавказского федерального университета.
Телефон: 8-906-468-22-64.
E-mail: Sitnikova.oksana@mail.ru.
33. Хащенко Андрей Александрович,
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и экспертизы недвижимости Северо-Кавказский федеральный университета.
Телефон: 8-928-317-87-43.
E-mail: haa-08@mail.ru.
34. Червяков Николай Иванович,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и математического мо-

делирования Северо-Кавказского федерального университета.

Телефон: 8-905-469-34-12.

E-mail: k-fmf-primath@stavs.ru.

35. Шульженко Кирилл Сергеевич,
магистрант кафедры прикладной математики и математического моделирования Северо-Кавказского федерального университета.

Телефон: 8-928-315-91-19.

E-mail: kirill-joker@mail.ru.

36. Щитова Наталия Александровна,
доктор географических наук, профессор кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета.

Телефон: (8652) 95-68-00, (доб. 49-91).

E-mail: stavgeo@mail.ru.

ABOUT THE AUTHORS

SCIENCE. INNOVATIONS. TECHNOLOGIES, №2, 2016

1. Avanesyan Svetlana Surenovna,
senior researcher of a problem research laboratory «Experimental immunomorphology, immunopathology, immunobiotechnology» in the center of collective use of scientific equipment at the North-Caucasian Federal University.
2. Avdeev Andrey Valer'yevich,
candidate of physics and mathematical sciences, associate professor of the department of general and theoretical physics, Institute of mathematics and natural sciences at the North Caucasus Federal University.
Phone: (8652) 35-33-48.
E-mail: amedeo82@yandex.ru.
3. Bagdi Inna Vladimirovna,
candidate of technical sciences, associate professor of ecology and environmental sciences, deputy director on scientific work of Institute of mathematics and natural sciences at the North Caucasus Federal University.
Phone: 8-918-746-13-32.
E-mail: algae@mail.ru.

4. Belisova Christina Vladislavovna,
postgraduate student department of human geography, geoinformatics and tourism of the Institute of mathematics and natural at the North-Caucasian Federal University.
Phone: 8-903-415-22-07.
E-mail: Kristi_belisova@mail.ru.
5. Bondar Elena Vasilievna,
candidate of biological sciences, associate professor, department of ecology and environmental management at the North-Caucasian Federal University.
Phone: 8-928-911-20-81.
E-mail: evbondar68@gmail.com.
6. Bondareva Nadezhda Ivanovna,
candidate of biology, senior researcher of a problem research laboratory «Experimental immunomorphology, immunopathology, immunobiotechnology» in the center of collective use of scientific equipment at the North-Caucasian Federal University.
Phone: 8-918-759-56-03.
E-mail: nadusha.bondareva@gmail.com.
7. Buryy Yuriy Vladimirovich,
candidate of geographical sciences, associate professor of social and economic geography, geoinformatics and tourism of the Institute of mathematics and natural sciences at the North-Caucasian Federal University.

Phone: (8652) 33-02-79.

E-mail: yuvborym@mail.ru.

8. Chervyakov Nikolay Ivanovich,
doctor of technical sciences, Professor of department applied mathematics and mathematical modeling at the North Caucasus Federal University.

Phone: 8-905-469-34-12.

E-mail: k-fmf-primath@stavsu.ru.

9. Diskaeva Elena Igorevna,
candidate of physico-mathematical sciences. head of department of physics, mathematics and biotechnologies at the Stavropol state medical University.

Phone: 8-962-450-25-10.

E-mail: e_diskaeva@mail.ru.

10. Domareva Alina Evgenyevna,
assistant, chair of geology of oil and gas Institute oil and gas at the North-Caucasian Federal University.

Phone: 8-905-445-21-79.

E-mail: alina-domareva@rambler.ru.

11. Drup Victoria Demirovna,
candidate of biological sciences, senior lecturer in the department of biology and ecology at the Stavropol state pedagogical Institute.

Phone: 8-962-007-86-52.

E-mail: sylvia_vica@mail.ru.

12. Dzhandarova Tamara Ismailovna,
Sc.D., associate professor, professor of anatomy and physiology of the Institute of living systems at the North Caucasus Federal University.
Phone: 8-903-418-39-54.
E-mail: Djandarova@yandex.ru.
13. Egorova Svetlana Alexandrovna,
candidate of medical sciences, associate professor, deputy chief physician for medical part of GBUZ SK gdkb them. G. K. Filippsky".
Phone: 8-962-413-74-93.
E-mail: 79624137493@yandex.ru.
14. Egorov Nikolay Alekseevich,
candidate of medical sciences, neurologist of GBUZ SK gdkb them. G. K. Filippsky".
Phone: 8-962-413-74-93.
E-mail: 79624137493@yandex.ru.
15. Eremin Ilya Evgenievich,
doctor of engineering sciences, professor of department of the informative and managing systems of faculty of mathematics and informatics at the Amur state university, Blagoveshchensk.
E-mail: marinecops@mail.ru.

16. Gladkov Andrei Vladimirovich,
senior lecturer in applied mathematics and mathematical
modeling at the North-Caucasian Federal University.
Phone 8-905-497-53-38.
17. Kalita Diana Ivanovna,
postgraduate student, assistant of department of information
systems and technologies at the North Caucasus Federal Uni-
versity.
Phone: 8-962-007-90-24.
E-mail: diana.kalita@mail.ru
18. Kharchenko Vladimir Mikhaylovich,
candidate of geological-mineralogical sciences, associate
professor of geology of oil and gas Institute oil and gas at the
North-Caucasian Federal University.
Phone: 8-906-468-22-64.
E-mail: Sitnikova.oksana@mail.ru.
19. Khashchenko Andrey Aleksandrovich,
candidate of physico-mathematical sciences, associate pro-
fessor. Associate professor of the department of heat and gas
supply and real estate expertise at the North-Caucasian Fed-
eral University.
Phone: 8-928-317-87-43.
E-mail: haa-08@mail.ru15.

20. Kobzeva Marina Valerievna,
graduate student of the Institute of anatomy and physiology
of living systems at the North Caucasus Federal University.
Phone: 8-928-637-35-18.
E-mail: kobzeva-78@mail.ru.
21. Lyakhov Pavel Alekseyevich,
assistant professor, department of applied mathematics and
mathematical modeling at the North Caucasus Federal Uni-
versity.
Phone: 8-962-028-72-14.
E-mail: ljahov@mail.ru.
21. Mitina Svetlana Sergeevna,
graduate student of the second year of training, junior re-
searcher of a problem research laboratory «Experimental im-
munomorphology, immunopathology, immunobiotechnolo-
gy» in the center of collective use of scientific equipment at
the North-Caucasian Federal University.
Phone: 8-909-754-34-72.
E-mail: Svetusya92@yandex.ru.
22. Naats Igor Eduardovich,
doctor of physical and mathematical sciences, professor,
leading researcher of the Institute for training scientific and
pedagogical personnel at the North-Caucasian Federal Uni-
versity.
Phone: (8-652) 35-21-10 (1154).
E-mail: naatsie@yandex.ru.

23. Naats Victoria Igorevna,
doctor of physico-mathematical sciences, professor, department of mathematical analysis Institute of mathematics and natural sciences at the North-Caucasian Federal University.
Phone: 8-918-744-82-89.
E-mail: VINaac@yandex.ru.
24. Perekopskaya Natalya Evgenyevna
is a second-year undergraduate student of the chair of ecology and environmental management at the North Caucasus Federal University.
Phone: 8-928-323-99-19.
Email: Natalia-1691@mail.ru.
25. Podolko Eugenia Aleksandrovna,
candidate of sciences, associate professor of department of higher mathematics at the Far-Eastern state agrarian university, Blagoveshchensk.
E-mail: evgpodolko@mail.ru.
26. Rusalenko Roman Andreevich,
candidate of physico-mathematical sciences, department of mathematical analysis Institute of mathematics and natural sciences at the North-Caucasian Federal University.
Phone: 8-918-751-92-82.
E-mail: azerton@yandex.ru.

27. Shitova Natalia Aleksandrovna,
doctor of geographical sciences, professor of the department
of social and economic geography, geoinformatics and tourism of the Institute of mathematics and natural sciences at the
North-Caucasian Federal University.
Phone: (8652) 95-68-00, (49-91).
E-mail: stavgeo@mail.ru.
28. Shulzhenko Kirill Sergeyvich,
undergraduate student of department applied mathematics
and mathematical modeling at the North Caucasus Federal
University.
Phone: 8-928-315-91-19.
E-mail: kirill-joker@mail.ru.
29. Skripchinsky Andrey Vladimirovich,
candidate of geographical sciences, associate professor of social and economic geography, geoinformatics and tourism of the Institute of mathematics and natural sciences at the
North-Caucasian Federal University.
Phone: (8652) 33-02-79.
E-mail: ron1975@list.ru.
30. Smirnova Olga Nikolavna,
candidate of medical sciences the associate professor department of the medical biochemistry, clinical laboratory diagnostics and pharmacy Institute of live systems at the North
Caucasus Federal University.

Phone: 8-962-413-74-93.

E-mail: 79624137493@yandex.ru.

31. Tarasenko Elena Olegovna,
candidate of physico-mathematical sciences , associate professor of the department of applied mathematics and mathematical modeling at the North-Caucasian Federal University.
Phone: (8652) 33-02-82 (49-32).
E-mail: galail@mail.ru.
E-mail: gavandrew@mail.ru.
32. Timchenko Lyudmila Dmitrievna,
doctor of veterinary science, professor, head of a problem research laboratory «Experimental immunomorphology, immunopathology, immunobiotechnology» in the center of collective use of scientific equipment at the North-Caucasian Federal University.
33. Trautvain Svetlana Anatolievna,
candidate of geographical sciences, docent of the department of ecology and nature management at the North-Caucasian Federal University.
Phone: 8-961-498-89-91.
E-mail: svett-sk@yandex.ru.
34. Veher Olga Vladimirovna,
candidate of physico-mathematical sciences. associate professor of physics, mathematics and biotechnologies at the Stavropol state medical University.

Phone: 8-928-324-04-73.

E-mail: vecher.olga@mail.ru.

35. Zhdanova Natal'ya Vladimirovna,
candidate of physics and mathematical sciences, associate
professor of the department of physics, electrical engineering
and electronics, Institute of electric power engineering, elec-
tronics and nano-technologies at the North Caucasus Federal
University.

Phone: (8652) 94- 40-71.

E-mail: zhdanova_n@rambler.ru.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И СДАЧЕ РУКОПИСЕЙ В РЕДАКЦИЮ

Редакция журнала сотрудничает с авторами — преподавателями вузов, научными работниками, аспирантами, докторантами и соискателями ученых степеней. Журнал публикует материалы в разделах:

- «Физико-математические науки» (01.01.00 Математика, 01.04.00 Физика);
- «Науки о Земле» (25.00.00 Науки о Земле);
- «Биологические науки» (03.01.00 Физико-химическая биология, 03.03.00 Физиология).

Материалы в редакцию журнала принимаются в соответствии с требованиями к оформлению и сдаче рукописей постоянно и публикуются после обязательного внутреннего рецензирования и решения редакционной коллегии в порядке очередности поступления, с учётом рубрикации номера.

Редакция принимает от авторов рукописи и сопутствующие им необходимые документы в следующей комплектации:

1. Рукопись в печатной и электронной форме.
2. Отзыв научного руководителя (для аспирантов, адъюнктов и соискателей).
3. Рецензия специалиста в данной научной сфере, имеющего ученую степень.
4. Экспертное заключение и экспертный контроль.
5. Лицензионный договор на право использования научно-го произведения в журнале и сети Интернет.

МАТЕРИАЛЫ
ДОЛЖНЫ СООТВЕТСТВОВАТЬ
СЛЕДУЮЩИМ ТРЕБОВАНИЯМ:

1. РУКОПИСЬ

Объем: 6–15 страниц (допускается превышение объема по согласованию с редакцией),

Формат бумаги: А4;

Поля: верхнее — 2 см, нижнее — 2 см, правое — 2 см, левое — 1,5 см;

Кегль: 14 пт;

Шрифт: Times New Roman;

Межстрочный

интервал: 1,5 пт;

Нумерация

страниц: внизу страницы по центру;

Первая строка: отступ 1,25 см.

Переносы в словах либо не употреблять, либо пользоваться командой «расстановка переносов». Необходимо различать в тексте дефис (-) (например, черно-белый, бизнес-план) и тире (—).

Статья должна быть оформлена в соответствии с приведенным ниже образцом и иметь все указанные элементы. Разделы и подразделы статьи (если они необходимы) выделяются прямым полужирным шрифтом.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ:

Биологические науки

УДК

Иванов И. И. [Ivanov I. I.]**Название** (на русском языке)**Title** (English)

Аннотация: 100–150 слов

Ключевые слова: 5–8 слов

Abstract:**Key words:**

Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи (рис. 1).
Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи [1].

Рис. 1. Название рисунка.

Текст статьи. Текст статьи (табл. 1). Текст статьи. Текст статьи.
Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи.

Таблица 1. НАЗВАНИЕ ТАБЛИЦЫ

Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи. Текст
статьи. Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи. Текст статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литература в соответствии с ГОСТ.

ОБ АВТОРАХ

Иванов Иван Иванович, доктор ... наук, профессор кафедры
... .. университета. Телефон: (...) ..- ..-... E-mail: ... (сначала все
авторы на русском языке)

Ivanov Ivan Ivanovich, Doctor of ... Science, professor of the
Department ... University. Phone: (...) ..- ..-... E-mail: ...

Рисунки и таблицы вставляются в тексте в нужное место. Ссылки в тексте на таблицы и рисунки обязательны. Каждый рисунок предоставляется также в отдельном файле (формат *.ai, *.eps, *.jpeg, *.tiff).

Рисунки нумеруются снизу (Рис. 1. Название) и выполняются в графическом редакторе 14 кеглем, полужирным шрифтом, междустрочное расстояние – одинарное. Все надписи на рисунках должны читаться.

Рисунки должны быть оформлены с учетом особенности черно-белой печати (рекомендуется использовать в качестве заливки различные виды штриховки и узоров, в графиках — различные типы линий, разное оформление точек, по которым строится график). Цветные и полутонные рисунки не допустимы. Оси графиков должны иметь название и единицы измерения. За качество рисунков или фотографий редакция ответственности не несет.

Формулы выполняются в программе редактор формул MathType 12 кеглем, выравниваются по центру. Их номера ставятся при помощи табулятора в круглых скобках по правому краю.

Таблицы должны иметь название. Таблицы нумеруются сверху (Табл. 1), выравниваются по правому краю и выполняются 14 кеглем, полужирным шрифтом. Название таблицы выполняется 14 кеглем, выравниваются по центру таблицы, полужирным шрифтом, междустрочное расстояние — одинарное. Ширина таблицы должна быть не более 16 см.

Библиографический список (НЕ ЛИТЕРАТУРА!) размещается в конце статьи. В нем перечисляются все источники, на которые автор ссылается в статье, с полным библиографическим аппаратом издания (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008). Ссылки указываются в квадратных скобках и оформляются в соответствии со следующим шаблоном:

— для книг: Автор. Название. Город: Изд-во, год.

Например: Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М.: Наука, 1987.

— для трудов конференций, сборников трудов и других коллективных публикаций (в том числе, не имеющих титульных авторов): Автор. Название // Название конференции: Название сборника трудов. Город: Изд-во, год.

Например:

1. Брыкалов А.В., Романенко Е.С. Применение полифункциональных олигомеров вулканизаторов в качестве биостимуляторов роста растений // Современные достижения био-технологии: Материалы Первой конф. Северо-Кавказского региона. Ставрополь, 1995. С. 9.
 2. Вычислительные методы линейной алгебры: Тр. I Всесоюзной конференции. Новосибирск: Вц СО АН СССР, 1969.
 3. Сборник задач по численным методам / Сост. Н.А. Стрелков. Ярославль: Изд-во Яросл. ун-та, 1988.
 4. Численный анализ на ФОРТРАНе / Под ред. В.В. Воеводина. Вып. 17. М.: Изд-во МГУ, 1976.
- для статей в журналах, сборниках трудов и других коллективных публикациях: Автор. Название статьи // Журнал. Год. №. С. (номер первой — номер последней страницы).

Например: 1.

- Абрамов А.А. О численном решении некоторых алгебраических задач, возникающих в теории устойчивости // ЖВМ и МФ. 1984. № 3. С. 339–347.
- для электронных ресурсов: обязательно указывать сведения об авторе, сайте/цифровом носителе, URL и дату обращения.

Например: 1.

- Распоряжение Правительства РФ от 6 сентября 2010 г. №1485-р «О Стратегии социально-экономического раз-

вития Северо-Кавказского федерального округа до 2025 г.». [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-плюс».

2. Бадыштова И.М. Специфика домохозяйств трудовых мигрантов в России // Социс. 2002. №9. URL: http://2001.isras.ru/SocIs/SocIsArticles/2002_09/Badystova.doc (дата обращения: 19.09.2007).

Примечания, сноски (если необходимы) имеют сквозную нумерацию.

Автор несет ответственность за точность приводимых в его рукописи сведений, цитат и правильность указания названий книг в списке литературы!

Печатный экземпляр рукописи статьи должен быть прошит и пронумерован, подписан всеми авторами и соавторами статьи с обратной стороны последней страницы (указывается количество страниц, ФИО и подписи). Допускается предоставление непрошитой, но пронумерованной и подписанной на каждой странице рукописи.

CONTENTS

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

Vecher O.V., Diskaeva E.I., Khashchenko A.A.	
A Study of nucleate boiling water on fusible alloys surface	7
Eremin I. E., Podolko E.A.	
Alternative model of carbon connection of dia- mond	17
Zhdanova N.V., Avdeev A.V.	
Determination of the acceptor molecules con- centration in the triplet state on excitation of donor-acceptor pairs by recurrent pulses	29
Naats I.E., Naats V.I., Ryskalenko R.A.	
A computational model for a differential equation with empirical functions based on the integral equations Fredholm of the first kind	37
Tarasenko E.O., Gladkov A.V.	
Solution of boundary value problems of de- termining the coordinates of the atoms of the dis- persion envelope formed on the substrate	49

**Chervyakov N.I., Lyakhov P.A.,
Kalita D.I., Shulzhenko K.S.**

Effect of filter digit capacity limitation on the grayscale image wavelet-processing quality 61

EARTH SCIENCES

**Begday I. V., Bondar E. V.,
Perekopskaya N. E.**

The research of the pollution of springs in the city of Stavropol by the method of factor analysis 77

Skripchinsky A.V., Buryim Y.V.

Monitoring erosion satellite imagery means 89

Trautvain S.A., Drup V.D.

Characteristics of populations of protected plant species of the complex nature monument of regional significance «Cretaceous outcrops on the river Complete» (Rostov region) 99

Harchenko V.M., Domareva A.E.

Tectono-physical conditions for the formation of structures of Central type, the patterns of distribution of hydrocarbon deposits and foci of earthquakes 117

Shchitova N. A., Belisova K.V.

Modern geodemographic situation in peripheral rural areas in the South of European Russia 131

BIOLOGICAL SCIENCES

**Bondareva N.I., Mitina S.S.,
Avanesyan S.S., Timchenko L.D.**

Contents ascorbic acid and rutin in enzymatic culture of kombucha (<i>Medusomyces gysevii</i>) under different conditions of cultivation	147
--	-----

**Egorova S.A., Egorov N.A.,
Smirnova O. N.**

Биомеханические основы дорсопатий у детей и подростков	159
Biomechanical basis with back pain in children and adolescents	159

Kobzeva M.V., Dzhandarova T.I.

Features of age dynamics of corticosteroids, estradiol and testosterone in the blood of the children of mothers rats with hypoparathyroidism	173
--	-----

Научное издание

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

2016

Выпуск 2

Корректор — Толмачев М.И.

Компьютерная верстка — Полевич О.Г.

Подписано в печать 17.06.2016. Формат 70 × 108 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная. Усл. печ. л.
19,78. Тираж 1 000 экз.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе
ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет».
355029, г. Ставрополь, пр-т Кулакова, 2.