

Министерство образования и науки
Российской Федерации

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

ISSN 2308–4758



Выпуск № 4, 2017 г.

Выходит 4 раза в год

	«Наука. Инновации. Технологии» Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета
Учредитель	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
Главный редактор	д-р геогр. наук, профессор В. С. Белозеров
Редакционный совет	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, академик РАН (САО РАН, п. Нижний Архыз); С. В. Рязанцев, д-р экон. наук, член-корр. РАН (ИСПИ РАН, г. Москва); В. С. Тикунов, д-р геогр. наук, профессор (МГУ им. Ломоносова, г. Москва); С. Пестрак, профессор (Институт Жана Лямура университета Лотарингии, г. Нанси, Франция)
Редакционная коллегия	М. Т. Абшаев, д-р физ.-мат. наук, профессор (Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик); А. А. Лиховид, д-р геогр. наук, профессор; 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. Закинян, 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); С. А. Куникин, канд. физ.-мат. наук, доцент; А. Д. Лодыгин, д-р техн. наук, доцент; А. В. Лысенко, д-р геогр. наук, доцент; И. Н. Молодикова, 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. Молахосени, канд. наук, доцент (Исламский университет Азад, Керман, Иран); Х. А. А. Кдаис, канд. техн. наук, профессор (Иорданский университет науки и технологии, Амман)
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
©	ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 2017

	«Science. Innovations. Technologies» North Caucasus Federal University
Founder	Federal State Autonomous Educational Institution of Higher 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, academician 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); V.S. Tikunov, Doctor of Geographical Sciences, professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow); S. Pestrak, Professor (Institute Jean Lamour, Measurement and electronic architectures group, Nancy, France)
Editorial Board	M.T. Abshaev, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, professor (Mountain Geophysical Institute, Nalchik); A.A. Likhovid, Dr. of Geographical Sciences, professor; V.S. Belozеров, Dr. of Geographical Sciences, professor, editor in chief; T.P. Bondar', MD, professor; V.B. Borodulin, 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; L.I. Gubareva, Sc. D., Professor; T.I. Dzhandarova, Sc. D., Associate Professor; Y.I. Dikanskiy, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, professor; L.A. Dinevich, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Tel-Aviv University, Tel-Aviv); K.V. Erin, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, professor; A.I. Zhakin, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Southwest State University, Kursk); A.R. Zakinyan, candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor; A.O. Ivanov, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Yeltsin's Ural Federal University); A.A. Kolyada, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor (Belarusian State University, Minsk); S.A. Kunikin, Ph.D., Associate Professor; A.D. Lodygin, Dr. of Technical Sciences, associate professor; A.V. Lysenko, Dr. of Geographical Science, associate professor; I.N. Molodikova, Ph.D. (Central European University, Budapest); V.I. Naats, Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor; T.G. Nefedova, Dr. of Geographical Sciences, Leading Researcher, Russian Academy of Sciences (IG RAS, Moscow); P.M. Polyan, Dr. of Geographical Sciences, Leading Researcher, Russian Academy of Sciences (IG RAS, Moscow); V.V. Razumov, Dr. of Geographical Sciences, Professor; L.D. Timchenko, 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); H. Qdais, Ph.D in environmental engineering, professor (Jordan University of science and technology, Amman)
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	355009, Stavropol, Pushkin street, 1
Phone	8 (8652) 33-07–32
Site	www.ncfu.ru
E-mail	nit_ncfu@mail.ru
ISSN	2308–4758
©	FGAOU VO «North Caucasus Federal University», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

«Наука. Инновации. Технологии», № 4, 2017

ФИЗИКО–МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Герасимов В.П., Ковалёв В.Д.,
Герасимов С.В., Даржания А.Ю.

Экспоненциальная корреляционная функция в математической модели исследуемого канала дифференциального коррелятора беспилотного воздушного средства 7

Наац И.Э., Наац В.И., Рыскаленко Р.А.

Численный метод решения некорректно поставленной задачи для двумерного интегрального уравнения первого рода 17

Симоновский А.Я., Гришанина О.А.,
Яновский А.А., Литвин Д.Б.

Гидростатика магнитной жидкости в окрестности намагничивающейся пластины 27

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

Метод параллельной реализации вейвлет-преобразования с использованием системы остаточных классов 43

НАУКИ О ЗЕМЛЕ**Антипов С.О., Супрунчук И.П.**

Геоинформационный анализ транспортной
доступности горнолыжных курортов Рос-
сии 55

Амбурцев Р.А., Хрущев С.А.

Этнополитические проблемы современно-
го Дагестана 63

**Белозеров В.С., Щитова Н.А.,
Чихичин В.В., Соловьев И.А.**

Иностранные студенты на Северном Кав-
казе: региональные различия и проблемы
адаптации (на примере Северо-Кавказско-
го федерального университета). 79

Бондарь Е.В., Харин К.В.

Реинтродукция видов семейства Cervidae
в заказниках Ставропольского края 93

Ватиашвили М.Р. Радиолокационная отражаемость облаков

и осадков на различных длинах волн 105

Волкова В.В., Лиховид Н.Г.

Роль видов рода *saxex* l. в растительности
реликтового озера Кравцово (Ставрополь-
ская возвышенность) 119

Гасумов Р.А., Гридин В.А.,**Овчаров С.Н., Гасумов Э.Р.**

Исследование причин заколонных прояв-
лений при цементировании скважин экс-
плуатационной колонны 125

Гасумов Р.Р., Димитриади Ю.К.,**Лукьянов В.Т., Федоренко В.В.**

Совершенствование составов буровых
растворов для проводки скважин в слож-
ных термобарических условиях 137

Кузнеченков Е.П., Керимов А.-Г.Г.,

Петренко В.И., Гридин В.А.

Перспективы применения поперечных сейсмических волн при решении нефтегазовых задач 157

Лиховид А.А., Берберян А.О.,

Мишвелов Е.Г., Сердюкова А.И.

Зоогеографические знания в Древнем мире. 167

Пещанская Е.В., Лиховид Н.Г.

История изучения и распространение видов рода *Solidago* флоры Кавказа 177

Сигида С.И., Зуев Р.В.

Зоогеографический анализ *Chilopoda* и *Diplopoda* фауны Центрального Предкавказья 185

Харченко В.М., Домарева А.Е., Колядова Г.В., Мочалов В.П.

Инновационная технология оперативных поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа (на примере Величаевско-Колодезного месторождения) 197

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Супрунчук В.Е., Денисова Е.В.

Фукоидансодержащие микрокапсулы, сформированные реакцией Майяра на различных носителях 211

ФИЗИКО–МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

«Наука. Инновации. Технологии», №4, 2017

УДК 681.5.09

Герасимов В. П. [Gerasimov V.P.],
Ковалёв В. Д., [Kovalev V.D.],
Герасимов С. В., [Gerasimov S.V.],
Даржания А. Ю., [Darzhania A.Y.]

ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНАЯ КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИССЛЕДУЕМОГО КАНАЛА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО КОРРЕЛЯТОРА БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СРЕДСТВА

The exponential correlation function in the mathematical model of the investigated channel differential correlator with unmanned aerial vehicles

Актуальными в современном мире проблемами являются – предупреждение, выявление, локализация чрезвычайных ситуаций на ранних стадиях их возникновения и распространения. Россия отличается от других государств мира обширной территорией и низкой средней плотностью населения, поэтому трудовых ресурсов, требуемых для решения указанных задач недостаточно, но справиться с ними позволит применение беспилотных воздушных средств. В статье рассматриваются корреляционно-экстремальные системы в системах управления беспилотниками и анализируется дифференциальный метод определения экстремума в бортовых дискриминаторах – экономичный, с точки зрения требований к ресурсам бортового компьютера, а по быстродействию, позволяющий решать задачи в реальном масштабе времени. Приведенный компьютерный анализ метода показал наличие методических погрешностей, которые необходимо учитывать при проектировании бортовых следящих систем (корреляторов) дронов. Знание причин возникновения методических погрешностей в каналах дифференциального коррелятора, позволит разработать меры по их компенсации, максимально используя в сенсорах беспилотников положительные качества данного метода.

Prevention, detection, localization of emergency situations in the early stages of their occurrence and distribution is relevant problem in the modern world. Russia differs from other countries in the world a vast territory and a low average population density, so the labour resources is not enough to meet these goals. Unmanned aerial vehicles may to solve this problem. The article discusses correlation-extremal systems in control for drones and analyzes the differential method of determining the extremum in the on-Board discriminators – economical from the point of view of the resource requirements of an onboard computer and performance, allowing to solve tasks in real time. The computer analysis demonstrated the presence of methodological errors that need to be considered in the design of airborne tracking systems (correlators) drones. Knowledge of the causes of methodical errors in the channels of the differential correlator makes it possible to develop measures for their compensation, using for the sensors of unmanned aerial vehicles the positive qualities of this method.

Ключевые слова: Беспилотник, дискриминатор, дискриминационная характеристика, дифференциальный коррелятор, корреляционно-экстремальная система, методические ошибки, корреляционная функция, экспонента.

Key words: A dron, a discriminator, discriminatory characteristic, a difference correlator, correlation-extreme system, methodical errors, correlation function, exponential.

Введение

Россия, в отличие от других государств мира, обладает обширной территорией при относительно низкой средней плотности населения, при этом в обширных регионах регулярно возникают природные чрезвычайные ситуации (ЧС) – крупные лесные пожары, наводнения, землетрясения и др. Поэтому, актуальной проблемой является поиск эффективных путей предупреждения, выявления, локализации ЧС на ранних стадиях их возникновения и распространения, а, требуемых для этого, значительных трудовых ресурсов недостаточно. Одним из направлений решения этой проблемы является разработка и применение робототехнических систем (РТС), способных заменить человека в особенности там, где есть опасность для его здоровья и даже жизни. Например, беспилотные воздушные средства (БВС) способны заменить пилотируемые самолеты и вертолеты в ходе выполнения заданий, связанных с риском для жизни их экипажей и с возможной потерей дорогостоящей авиационной техники [1, 2, 3]. БВС дешевле в применении при контроле состояния, имеющих большую протяженность, нефте- и газопроводов, аварии на которых могут приводить к большим человеческим жертвам, крупномасштабному загрязнению окружающей среды, а также к большим экономическим потерям, так как экспорт энергоносителей составляет значительную долю валютных поступлений в бюджет страны.

Успех применения БВС связан, прежде всего, со стремительным развитием микропроцессорной вычислительной техники, систем управления, навигации, передачи информации, искусственного интеллекта.

Достижения в этой области дают возможность осуществлять полет в автоматическом режиме от взлета до посадки, решать задачи мониторинга лесных и сельскохозяйственных угодий, водной поверхности, поэтому в большинстве промышленно развитых стран широким фронтом ведутся разработки как самих летательных аппаратов (ЛА), так и бортовых систем управления, обеспечивающих автономность функционирования БВС.

Методы

Мониторинг подстилающей поверхности осуществляется днем и ночью, в благоприятных и ограниченных метеоусловиях, что обеспечивается оснащением БВС бортовыми системами наведения, датчиками и видеокамерами.

Во время полета, управление БВС автоматически осуществляется бортовым комплексом навигации и управления, в состав которого входят:

- приемник спутниковой навигации, обеспечивающий прием навигационной информации от систем ГЛОНАСС и GPS;
- визирные системы, работающие в видимой и невидимой областях спектра.

Данные обрабатываются в реальном масштабе времени, что предъявляет повышенные требования к точности и быстродействию бортового оборудования.

Разработка, производство и внедрение таких средств является достаточно сложным и капиталоемким процессом.

Однако государственные затраты на перспективные РТС перекроются экономическим эффектом от предотвращения и ликвидации ЧС с применением этой техники, поэтому техническое оснащение МЧС России роботами является актуальной и крайне важной задачей.

Чтобы управляемые дистанционно БВС стали автономными – робототехническими системами, а это весьма важно для МЧС, необходимо автоматизировать решение задач навигации, обнаружения, например, очагов пожаров, их сопровождения и т.п. При решении подобных проблем в БВС широкое применение получили корреляционно-экстремальные методы обработки информации [4, 5]. Известно, что работа корреляционно-экстремальных систем (КЭС) базируется на распознавании объекта и определении его искомым характеристик путем обработки информации, представленной в виде реализаций случайных функций (полей, каковыми и являются изображения [6]). Термин «КЭС» объясняется тем, что по принципу действия подавляющего большинство известных КЭС представляет собой системы экстремального управления, в которых для получения экстремального значения используется свойство корреляционной функции (КФ) одного или нескольких аргументов достигать наибольшей величины при нулевом значении аргументов.

В функциональной схеме каждой КЭС присутствуют три основных блока:

- блок моделей, генерирующих эталонную информацию;
- блок вычисления (формирования) функционала сравнения (в частности, взаимнокорреляционной функции – ВКФ) эталонной и текущей информации от датчиков;
- блок определения экстремума этого функционала.

Общие принципы построения КЭС могут быть применены для обработки данных от датчиков текущей информации любой физической природы. В настоящее время на основе этих принципов создаются системы обработки данных от измерителей характеристик поверхностных и пространственных физических полей Земли. Данные принципы построения КЭС положены в основу оптимальной обработки информации от датчиков внешней визуальной информации роботов вообще и БВС, в частности. Система, реализующая эту обработку, располагается на верхнем уровне иерархической системы управления адаптивного робота и называется корреляционной.

Результаты и их обсуждение

В КЭС в качестве эталонной информации используется эталонное изображение (ЭИ) объекта наблюдения (сопровождения) в требуемом положении (с координатами $(x_{тр}, y_{тр})$ точки пересечения линии визирования (ЛВ) с плоскостью изображения), текущая информация представляется в виде текущего изображения (ТИ) того же объекта в текущем, действительном положении и координатами $(x_{тек}, y_{тек})$ точки пересечения ЛВ с плоскостью этого изображения. Таким образом, ЭИ является моделью внешней среды, отражающей с точностью до параметров состояние этой среды. С помощью бортовых вычислительных устройств определяются линейные и/или угловые рассогласования изображений ЭИ и ТИ – R_x и R_y – рассогласования по ортогональным осям x и y , измеряемые каналами x и y , используемые затем для управления роботом или его сенсорами.

В КЭС осуществляется анализ ВКФ ТИ и ЭИ и определяются координаты $(x_{тр}, y_{тр})$ главного максимума ВКФ, являющиеся оценками линейных и углового рассогласований ТИ и ЭИ. Определение координат главного максимума ВКФ может осуществляться с помощью как поисковых, так и беспоисковых алгоритмов. В поисковых алгоритмах производится определение направления от ТИ к ЭИ (знаки рассогласований R_x и R_y), а затем вычисляются величины рассогласований (модули $|R_x|$ и $|R_y|$). Беспоисковый алгоритм, например дифференциальный [7, 8, 9], предполагает построение дискриминационной (пеленгационной) характеристики (ДХ или ПХ) канала отработки рассогласования (x – в одномерном дискриминаторе, x и y – в двумерном). ДХ является нечётной функцией, поэтому знак функции указывает направление рассогласования и определяет таким образом, куда, при его отработке, двигаться исполнительному устройству (ИУ), а модуль функции – величину отработки рассогласования. Дифференциальный (разностный) алгоритм предполагает двукратное вычисление КФ при смещении аргумента на фиксированную величину Δ , например, $k(x - \Delta)$ и $k(x + \Delta)$, затем из одного результата вычитается второй, после чего знак вычисленного выражения используется для определения направления движения ИУ при устранении рассогласования, а модуль – величины перемещения ИУ. Сравнение упомянутых методов по количеству операций явно в пользу беспоискового. Так как быстродействие и точность – основные характеристики автоматических (автономных) БВС, то беспоисковый дифференциальный метод является актуальным для их сенсоров и навигационных систем.

В [6] приведены кривые нормированной корреляционной функции (НКФ) – $k(x)$ изображений местности (подстилающей поверхности), которые изменяются по экспоненциальному закону

$$k(x) = \exp(-\alpha |x|), \quad (1)$$

постоянная которой $\tau = 1/\alpha$. При смене изображений постоянная экспоненты τ колеблется примерно от 10 до 20 метров для различных видов местности (равнинная с крупными элементами, населённый пункт, промышленные предприятия и т.п.). Следует отметить, что приведенные измерения были сделаны на одной высоте, поэтому необходимы дополнительные исследования о характере изменений параметра τ для изображений упомянутых видов подстилающей поверхности и других, но с различных высот.

Авторы упомянутой работы сделали вывод, что плоское черно-белое изображение местности $B(x, y)$ представляет собой случайную функцию двух координат x и y с нормальной плотностью вероятности и экспоненциальным законом изменения корреляционной функции (КФ).

Для исследования особенностей дифференциального дискриминатора с экспоненциальной КФ следует выполнить математическое моделирование с исследованием на компьютере функционирования каналов x и y [10, 11, 12], измеряющих рассогласование между координатами точек пересечения линии визирования (ЛВ) с плоскостью изображения подстилающей поверхности – требуемыми $(x_{тр}, y_{тр})$ и текущими $(x_{тек}, y_{тек})$:

$$R_x = x_{тр} - x_{тек},$$

$$R_y = y_{тр} - y_{тек},$$

где R_x и R_y – рассогласования по осям x и y , измеряемые каналами x и y , соответственно.

Рассмотрим, упрощая процедуру исследования, функционирование одного канала, например – x . При построении пеленгационной (дискриминационной) характеристики (ПХ или ДХ) $D(x)$ дискриминатора, вычисляющего корреляционные функции изображений, как случайных функций, важно знать вид КФ – в данном она случае носит экспоненциальный характер (1).

Пеленгационная характеристика рассматриваемого дискриминатора, реализующего дифференциальный метод измерения рассогласования (дифференциального коррелятора), описывается формулой:

$$D(x) = k(x - \Delta_x) - k(x + \Delta_x),$$

где Δ_x – фиксированный сдвиг КФ в дифференциальном корреляторе по оси x . Раскрыв эту формулу в соответствии с (1), получим:

$$D(x) = \exp(-\alpha |x - \Delta_x|) - \exp(-\alpha |x + \Delta_x|). \quad (2)$$

Для исследования дискриминационной характеристики дифференциального коррелятора данную формулу можно упростить и выполнить аналитический анализ, но для студенческой аудитории более наглядным будет графическое представление, полученное с помощью математического пакета MathCAD и макросов табличного процессора MS Excel. На рисунке 1 приведены экспоненциальные НКФ изображения подстилающей поверхности, получаемые на борту летательного аппарата, с параметрами, согласно [4] $1/\alpha_1 = 10$ м, $1/\alpha_2 = 15$ м, $1/\alpha_3 = 20$ м.

При построении канала x с дифференциальным методом определения рассогласования графики обрабатываемых функций, смещением $\Delta_x = 15$ м и, соответственно, апертурой $2\Delta_x = 30$ м, принимают вид, представленный на рис. 2, учитывая свойство чётности КФ.

Визуальное сравнение графиков расчётных ДХ с идеальной (линейной) позволяет заметить наличие методических погрешностей при вычислении рассогласования R_x (рис. 3).

Величины методических погрешностей (МП) δ_{1x} , δ_{2x} , δ_{3x} канала x дифференциального коррелятора, вызванные отличием расчётных ДХ от идеальной можно оценить по графикам на рисунке 4. В рассматриваемом примере на границах апертуры МП изменяются от 12% до 20% и растут за пределами апертуры (рис. 4).

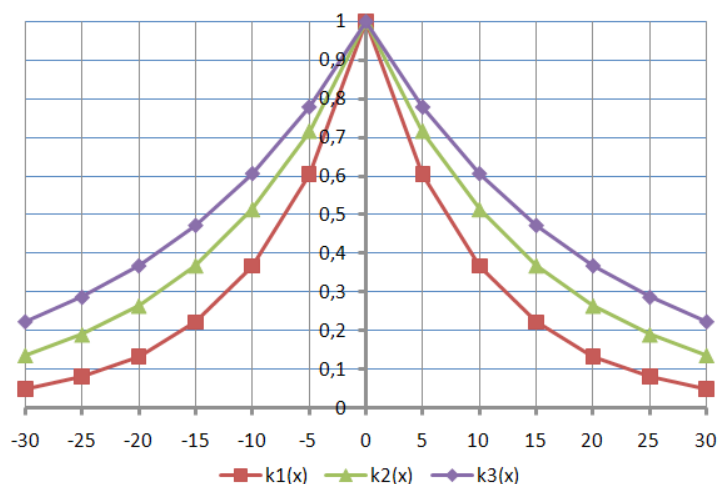


Рис. 1.

Корреляционные функции изображений, обрабатываемых каналом x коррелятора БВС.

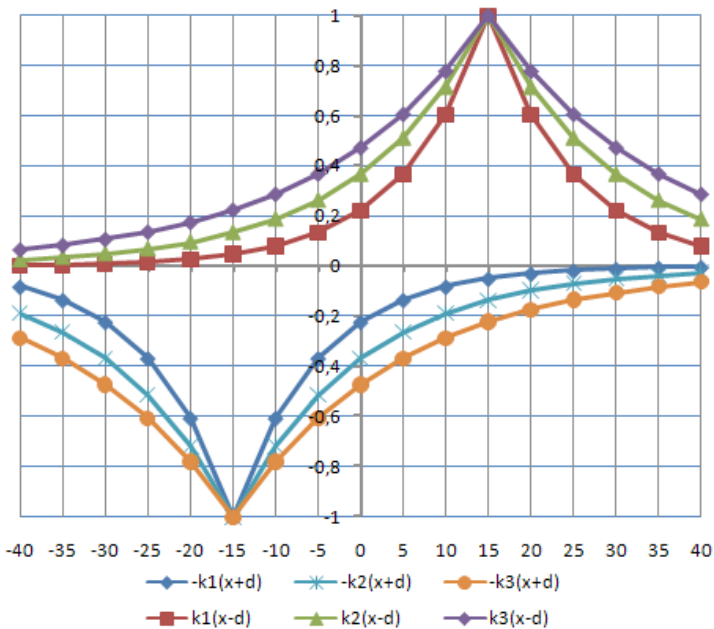


Рис. 2. Корреляционные функции изображений, подготовленные к формированию дискриминационных характеристик.

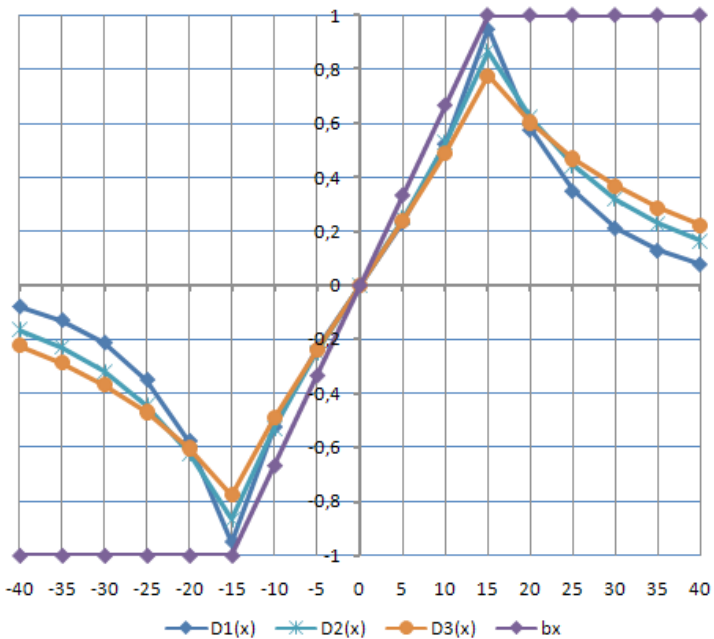


Рис. 3. Расчётные дискриминационные характеристики канала x для различных изображений D_{1x} , D_{2x} , D_{3x} и идеальная ДХ (b_x).

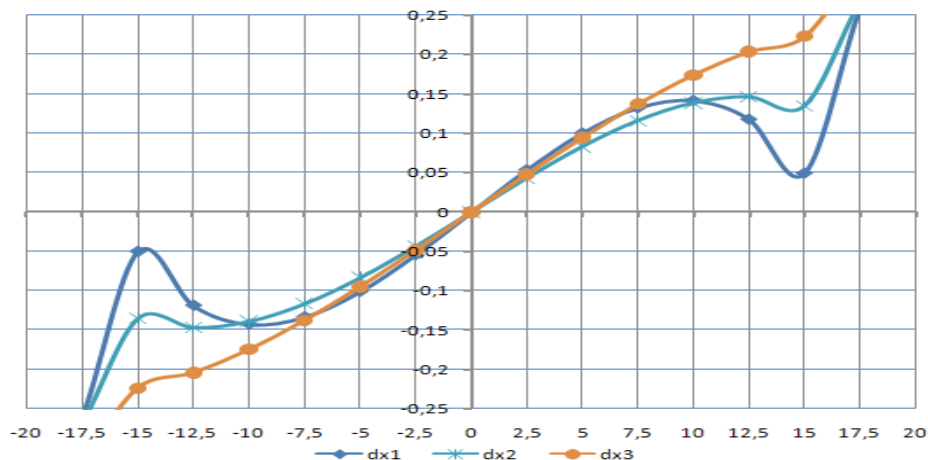


Рис. 4. Методические погрешности ДХ - δ_{1x} , δ_{2x} , δ_{3x}

Выводы

Актуальной и чрезвычайно важной задачей является техническое оснащение МЧС России роботами.

Знание причин возникновения методических погрешностей канала x дифференциального коррелятора, позволит разработать меры по их компенсации, максимально используя в сенсорах и КЭС БВС положительные качества данного метода.

Эффективным инструментом исследовательской лаборатории может стать авторское программное обеспечение [13, 14].

Библиографический список

1. Воропаев Н.П. Применение беспилотных летательных аппаратов в интересах МЧС России / «Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России». №4, 2014. С. 13-17
2. Герасимов В.П., Ковалёв В.Д., Закревский А.Б. Информационные технологии в борьбе с пожарами с помощью беспилотных летательных аппаратов. В сборнике: Информационные системы и технологии как фактор развития экономики региона / II Международная научно-практическая конференция. Ставрополь: SSAU. 2013. С. 21–25.
3. Герасимов В.П., Ковалёв В.Д., Закревский А.Б. Беспилотные летательные аппараты в борьбе с пожарами / Материалы Международной НПК «Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях». Ставрополь: СК ГТУ, 2012, С. 95-98
4. Сырякин В.И., Шидловский В.С. Корреляционно-экстремальные радионавигационные системы. Томск: Изд-во университета. 2010. 317 с.
5. Солунин В.Л., Гурский Б.Г., Спирин Э.П. Корреляционно-экстремальные системы для высокоточной навигации летательных аппаратов и компью-

- терной диагностики сложных заболеваний // Гирскопия и навигация. 2005. №2. С. 56–61.
6. Барсуков Ф.И., Величкин А.И. Телевизионные системы летательных аппаратов. М.: Советское радио, 1979.
 7. Ahmad Shafaati, Tao Lin, Gerard Lachapelle. Performance Comparison of Difference Correlator and Co-op Tracking Architectures under Receiver Clock Instability / Department of Geomatics Engineering University of Calgary / ION GNSS + 2015 Conference, Session E3, Tampa, FL, Sept 14–18, 2015. <http://plan.geomatics.ucalgary.ca>
 8. Thomas Pany, Hans-Juergen Euler, Jon Winkel. Difference Correlators Does Indoor Carrier Phase Tracking allow Indoor RTK? / Inside GNSS. May-June, 2012. Page 62-74
 9. Герасимов В.П., Даржания А.Ю., Ковалёв В.Д. Построение математической модели одномерного дифференциального коррелятора. Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2014. № 2 (47).
 10. Герасимов В.П., Ушакова Т.Н., Ковалёв В.Д. Математическое моделирование исходных данных для алгоритма слежения в видеовизире / Сб. «Производственные, инновационные и информационные проблемы развития региона». Ставрополь: SSAU, 2014.
 11. Герасимов В.П., Ковалёв В.Д., Герасимов С.В., Даржания А.Ю. Полунатурное моделирование в анализе дискриминационной характеристики видеосенсора с экспоненциальной корреляционной функцией // Наука. Инновации. Технологии. 2016. № 3. С. 7-16.
 12. Герасимов В.П., Даржания А.Ю., Ковалёв В.Д. Особенности обработки видеоинформации в корреляторе БПЛА. Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2014. № 4 (43).
 13. Казаченко А.И., Герасимов В.П. Программное обеспечение теле- и тепловизионных систем поддержки групповой работы комбайнов в ночное время / Сб. научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. Ставрополь: 2012. Т. 3. № 1-1. С. 8-10.
 14. Герасимов В.П., Герасимова Л.В., Журавлёв А.Б. Программное обеспечение для ТВ-визиров зерно- и кормоуборочной техники. // Сб. научн. статей по материалам VI Международной НПК «Модели управления производством и совершенствование информационных технологий». Ставрополь, СГГАУ, 2010, с. 39-42.

References

1. Voropaev N.P. Primenenie bespilotnih letatel'nykh apparatov v interesakh MChS Rossii (The use of unmanned aerial vehicles in the interests of EMERCOM of Russia) / «Vestnik Saint-Petersburgskogo universiteta gosudarstvennoy protivopozarnoy sluzbi MChS Rossii». #4, 2014. 13-17 p.
2. Gerasimov V.P., Kovalev V.D., Zakrevskiy A.B. Informacionnie tehnologii v borbe s pozharemi s pomoshchyu bespilotnih letatel'nykh apparatov (Information technology in the fight against fires using unmanned aerial vehicles). В сборнике: In the collection: "Information systems and technology as a factor of economic development of the region" / II International scientific-practical conference. – Stavropol: SSAU. 2013. P. 21-25.
3. Gerasimov V.P., Kovalev V.D., Zakrevskiy A.B. Bespilotnie letatel'nye apparati v borbe s pozharemi (Drones to fight fires) / Materials of International SPC "Actual

- problems of safety and protection of population and territories in emergency situations». – Stavropol: NC STU, 2012, P. 95-98
4. Siryamkin V.I., Shidlovskiy V.S. Korrelyacionno-extremalnie radionavigacionnie sistemi (Correlation-extreme radio navigation system). Tomsk: Publishing house of the University. 2010. 317 p.
 5. Solunin V.L., Gurskiy B.G., Spirin E.P. Korrelyacionno-extremalnie radionavigacionnie sistemi dlya visokotochnoy navigacii letatelnykh apparatov I komputernoy diagnostiki slozhnykh zabolevaniy (Correlation-extremal systems for precision navigation of aircraft and computer diagnostics of complex diseases) // Giroskopiya i navigatsiya. 2005. №2. P. 56-61
 6. Barsukov F.I., Velichkin A.I. Televisionnie sistemi letatelnykh apparatov (Television system for aircraft). M.: Sovetskoe radio, 1979.
 7. Ahmad Shafaati, Tao Lin, Gerard Lachapelle. Performance Comparison of Difference Correlator and Co-op Tracking Architectures under Receiver Clock Instability / Department of Geomatics Engineering University of Calgary / ION GNSS + 2015 Conference, Session E3, Tampa, FL, Sept 14-18, 2015. <http://plan.geomatics.ucalgary.ca>
 8. Thomas Pany, Hans-Juergen Euler, Jon Winkel. Difference Correlators Does Indoor Carrier Phase Tracking allow Indoor RTK? / Inside GNSS. May-June, 2012. Page 62-74
 9. Gerasimov V.P., Darzhania A.Y., Kovalev V.D. Postroenie matematicheskoy modeli odnomernogo differentsialnogo korrelyatora (The construction of a mathematical model of one-dimensional differential correlator). Vestnik Severo-Kavkazskogo federalnogo universiteta. 2014. # 2 (47)
 10. Gerasimov V.P., Ushakova T. N., Kovalev V.D. Matematicheskoe modelirovanie ishodnykh dannykh dlya algoritma slezheniya v videovizire (Mathematical modeling initial data for the algorithm of tracking in viewing device) \ Collection: «Production, innovation and information problems of development of the region». – Stavropol: SSAU, 2014
 11. Gerasimov V.P., Kovalev V.D., Gerasimov S.V., Darzhania A.Y. Polunaturnoe modelirovanie v analize diskriminatsionnoy harakteristiki videosensora s eksponentsialnoy korrelyatsionnoy funktsiei (Seminatural simulation in the analysis of the discriminatory characteristics of the image sensor with the exponential correlation function) // Science. Innovations. Technologies. 2016. # 3. P. 7-16
 12. Gerasimov V.P., Darzhania A.Y., Kovalev V.D. Osobennosti obrabotki videoinformatsii v korrelyatore BPLA (Features video-information processing in the correlator UAV). Vestnik Severo-Kavkazskogo federalnogo universiteta. 2014. №4 (43).
 13. Kazachenko A.I., Gerasimov V.P., Programmnoe obespechenie tele- i teplovizionnykh sistem podderzhki gruppovoy raboty kombaynov v nochnoe vremya (Software television and thermal imaging systems to support group work of the harvesters at night) / Collection of scientific works of the all-Russian scientific research Institute of sheep breeding and goat breeding. Stavropol: 2012. T. 3. №1-1. P. 8-10.
 14. Gerasimov V.P., Gerasimova L.V., Zhuravlev A.B. Programmnoe obespechenie dlya TV-vizirov zerno- i kormouborochnoy tekhniki (Software for TV viewing device of grain and forage harvesters). // Collection of scientific articles on materials of the VI International SPC «Model of production management and improvement of information technology (Models of production management and improvement of information technology)». Stavropol, SSAU, 2010, p. 39-42.

УДК 517.972:519.633 Наац И.Э., [Naats I. E.],
Наац В.И., [Naats V.I.],
Рыскаленко Р.А. [Ryskalenko R.A.]

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ НЕКОРРЕКТНО ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ДВУМЕРНОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ПЕРВОГО РОДА

**A numerical method for solving ill-posed problems
for two-dimensional integral equations of the first kind**

В работе предлагается метод численного решения двумерного интегрального уравнения первого рода. При этом предполагается, что исходные данные в уравнении могут быть заданы приближенно с погрешностями, а ядро интегрального уравнения может иметь особенности, что приводит к постановке так называемой некорректно поставленной задачи. Это в свою очередь требует построения регуляризирующих алгоритмов в соответствии с теорией решения некорректно поставленных задач вычислительной математики. Решение данной задачи имеет самостоятельное значение в вычислительной математике, чем и обусловлена ее актуальность. В работе подробно описывается постановка задачи с выделением существующих проблем, требующих своего разрешения, разрабатывается и обосновывается соответствующий численный метод. При этом используются теоретические основы и методы функционального анализа, вычислительной математики, теории решения некорректно поставленных задач, теории вариационного исчисления и методов оптимизации. Также в работе рассматривается возможность применения данного метода для решения соответствующей трехмерной задачи. При построении вычислительного метода выполняется постановка соответствующей вариационной задачи, которая затем решается методом наискорейшего спуска, осуществляется построение регуляризирующего алгоритма. В итоге, разработанный численный метод и алгоритм позволяют получать устойчивые решения исходной задачи с учетом погрешностей в исходных данных, что соответствует ситуации практического моделирования процессов в конкретных прикладных задачах.

Propose a method of numerical solution integral equations of the first kind. This assumes that the source data in the equation can be set approximately with errors, and the integral equation kernel may have features that leads to the formulation of so-called ill-posed problems. This in turn requires the construction of regularizing algorithms in accordance with the theory of solving ill-posed problems of computational mathematics. The solution to this problem is of primary importance in computational mathematics, hence its relevance. The paper describes the formulation of the problem, highlighting the existing problems that need to be resolved, developed and validated a suitable numerical method. It uses the theoretical bases and methods of functional analysis, computational mathematics, theory of solution of incorrectly formulated problems of the theory of calculus of variations and optimization methods. The work also examines the possibility of applying this method to the solution of the corresponding three-dimensional problem. When building a computing method performed, we state the corresponding variational problem, which is then solved by the method of steepest descent, the construction of the regularizing algorithm. In the end, the developed numerical method and algorithm allow to obtain a stable solution of the original problem taking into account the errors in the original data, which corresponds to a practical situation simulation of processes in specific applications.

Ключевые слова: интегральное уравнение, сингулярный интеграл, метод регуляризации, обобщенный обратный оператор, численные методы, вычислительный алгоритм.

Keywords: integral equation, singular integral regularization method, generalized inverse of an operator, numerical methods, computational algorithm.

Введение

В работе предлагается метод численного решения двумерного интегрального уравнения первого рода. При этом предполагается, что исходные данные в уравнении могут быть заданы приближенно с погрешностями, а ядро интегрального уравнения может иметь особенности, что приводит к постановке так называемой некорректно поставленной задачи. Это в свою очередь требует построения регуляризирующих алгоритмов в соответствии с теорией решения некорректно поставленных задач вычислительной математики. Решение данной задачи имеет самостоятельное значение в вычислительной математике, чем и обусловлена ее актуальность. В работе подробно описывается постановка задачи с выделением существующих проблем, требующих своего разрешения, разрабатывается и обосновывается соответствующий численный метод.

Материалы и методы исследований

В работе используются теоретические основы и методы функционального анализа, вычислительной математики, теории решения некорректно поставленных задач, теории вариационного исчисления и методов оптимизации.

Результаты исследований и их обсуждение

Предметом представленных в работе исследований является построение суммирующего аналога для интегрального уравнения вида

$$\iint_G Q_n(x, y; x', y') f(x', y') dx' dy' = S(x, y), \quad (1)$$

и его последующего обращения в предположении, что искомая функция $f(x, y)$ интегрируема в области $G \subset R_2$, ядра $Q_n(x, y; x', y')$ ($n = 1, 2, \dots$) могут иметь особенности в окрестности диагонали $x = x'$, $y = y'$ и правая часть $S(x, y)$ задана приближенно, скажем своим σ – приближением $S_\sigma(x, y)$. К подобной задаче могут быть сведены краевые задачи для дифференциальных уравнений в случае их некорректной постановки в силу приближенного характера исходных данных [1–2]. В последнем случае речь идет о нахождении так называемых слабых решений [3–4]. Заметим, что задача дискретизации для уравнения (1) при указанных выше ограничениях не может быть решена стандартными квадратурными формулами (квадратурными процессами), эффективность которых определяется степенью гладкости (дифференцируемостью) подынтегральных функций [5]. В данном случае определяющим является предположение об измеримости всякой интегрируемой функции [3].

Разработка и обоснование вычислительного метода решения задачи (1)

Изложение подхода к дискретизации уравнения (1) начнем с рассмотрения двух интегралов, а именно,

$$\int_{Y_1}^{Y_2} dy \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} f(x, y) dx \quad \text{и} \quad \int_{X_1}^{X_2} dx \int_{y_1(x)}^{y_2(x)} f(x, y) dy, \quad (2)$$

или что тоже самое вычисление двойного интеграла

$$\iint_G f(x, y) dG(x, y), \quad (3)$$

по области

$$G = \{(x, y) | X_1 \leq x \leq X_2, y_1(x) \leq y \leq y_2(x)\} = \{(x, y) | Y_1 \leq y \leq Y_2, x_1(y) \leq x \leq x_2(y)\}. \quad (4)$$

Пары функций $(x_1(y), x_2(y))$ и $(y_1(x), y_2(x))$ определяются из уравнения границы G , задаваемой обычно уравнением $F(x, y) = C$. Так, например, в случае эллипса имеем

$$F(x, y) = \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

и соответственно

$$x_1(y) = -a\sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}}, \quad x_2(y) = a\sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}}, \quad y_1(x) = -b\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}, \quad y_2(x) = b\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}.$$

Далее полагаем, что искомая функция $f(x, y)$ как решение интегрального уравнения (1) может быть охарактеризована с той или иной степенью приближения конечным набором чисел $\{f_{ij}\}$, связанных с покрытием конечной области G системой эллиптических прямоугольников $\{[x_i, x_{i+1}] \times [y_j, y_{j+1}]\}$ ($i = \overline{0, n+1}, j = \overline{0, m+1}$). Далее полагаем, что

$$[x_i, x_{i+1}] = \Delta_i(x) = x_{i+1} - x_i = h_x, \quad [y_j, y_{j+1}] = \Delta_j(y) = y_{j+1} - y_j = h_y, \quad \forall i, j.$$

Для измеримой (интегрируемой) функции $f(x, y)$ в области G в качестве системы $\{f_{ij}\}$ предпочтительно взять так называемые средние $\{\bar{f}_{ij}\}$, определяемые с помощью функции интервалов $\bar{f}(\Delta_i(x), \Delta_j(y)) = \bar{f}_{ij}$. Ясно, что при $\Delta_i(x)$ и $\Delta_j(y)$ стремящихся к нулю $f(\Delta_i(x), \Delta_j(y)) \rightarrow (x_i, y_j) = f_{ij}$. Для измеримой функции данное предельное соотношение выполняется почти всюду в области G . Подобный подход к дискретизации исходного интегрального уравнения особенно предпочтителен в ситуациях, когда его правая часть $S(x, y)$ представлена своим σ – приближением $S_\sigma(x, y)$, о чем подробно говорилось в работах авторов [1–2].

Зафиксируем линию $y = y_j$ и будем рассматривать внутренний интеграл в (2) по переменной x . Удобно, в целях упрощения последующих обозначений, рассматривать частную функцию $f^j(x|y_j)$ по переменной x , которая при фиксированном значении y_j (j – сечение области G по переменной $y = y_j$) меняется в пределах $\bar{x}_1(j) \leq x \leq \bar{x}_2(j)$. Внутренние точки указанного интервала обозначим через $\bar{x}_1(j) \leq x_{n_1(j)}, x_{n_1(j)+1}, \dots, x_{n_2(j)} \leq \bar{x}_2(j)$ ($x_{n_1(j)} \geq 1, x_{n_2(j)} \leq n$). Если исключить из рассмотрения граничные элементы покрытия $[\bar{x}_1(j), x_{n_1(j)}]$ слева и $[x_{n_2(j)}, \bar{x}_2(j)]$ справа, то однократный интеграл по сечению $y = y_j$ определяется интегральной суммой

$$I^{(j)} = \sum_{i=n_1(j)}^{n_2(j)-1} f^j(\Delta_i(x)) h_x. \quad (5)$$

Остается внести поправки в (5) за счет интервалов, прилегающих к граничным точкам $\bar{x}_1(j)$ и $\bar{x}_2(j)$. Соответственно имеем

$$\bar{I}_1^{(j)} = \bar{f}^j([\bar{x}_1(j), x_{n_1(j)}]) \cdot |\bar{x}_1(j), x_{n_1(j)}| = \bar{f}_1^{(j)}(x_{n_1(j)} - \bar{x}_1(j)), \quad (6a)$$

$$\bar{I}_2^{(j)} = \bar{f}^j([x_{n_2(j)}, \bar{x}_2(j)]) \cdot |x_{n_2(j)}, \bar{x}_2(j)| = \bar{f}_2^{(j)}(\bar{x}_2(j) - x_{n_2(j)}) \quad (6b)$$

В итоге, значение внутреннего интеграла в (2) для j – сечения области G по переменной $y = y_j$ будет иметь вид:

$$\hat{I}^{(j)} = \bar{f}_1^{(j)}(x_{n_1(j)} - \bar{x}_1(j)) + \sum_{i=n_1(j)}^{n_2(j)-1} f_i^j h_x + \bar{f}_2^{(j)}(\bar{x}_2(j) - x_{n_2(j)}). \quad (7)$$

Величины $\bar{f}_1^{(j)}$ и $\bar{f}_2^{(j)}$ играют роль так называемых значений искомых функций $f(x, y)$ на границе в рамках изложенного подхода. Подобное построение интегральной суммы адекватно соответствует случаю приближенного задания функциональных зависимостей, когда целесообразно отступить от принципа поточечного соответствия значений функции f и аргумента (x, y) . Речь идет о нечетком (поинтервальном) задании функциональных зависимостей, что естественно ведет к необходимости введения в расчетные соотношения метода функций множеств.

Сообразуясь со структурой интегралов (2), интегральную сумму (7) будем писать в виде

$$\hat{I}^{(j)} = \sum_{i=i_1(j)}^{i_2(j)} f_i^j h_x + \sum_{i=1}^2 \bar{f}_i^{(j)} \omega_i^{(j)} h_x, \quad (8)$$

где $\omega_1^{(j)} = \frac{x_{n_1(j)} - \bar{x}_1(j)}{h_x}$ и $\omega_2^{(j)} = \frac{\bar{x}_2(j) - x_{n_2(j)}}{h_x}$. Второе слагаемое в правой части (8) определяется граничными значениями исходной функции $f(x, y)$. Выделение подобного члена целесообразно в тех случаях, когда значения $f(x, y)$ определены на границе как исходные данные задачи. Это имеет место,

когда интегральное уравнение (1) возникает в результате сведения некорректно поставленной задачи для дифференциального уравнения к интегральному аналогу, каковым и является (1) [1–2]. Вместе с тем ясно, что уравнение (1) вполне определено относительно $f(x, y)$ при условии, что правая часть $S(x, y)$ задана в области G . В последнем случае интегральную сумму (8) можно писать в виде

$$\bar{I}^{(j)} = \sum_{i=i_1(j)}^{i_2(j)} \bar{f}_i^{(j)} \omega_i^{(j)} h_x, \quad (9)$$

расширив соответствующим образом границы $i_1(j)$ и $i_2(j)$ для переменного индекса i . Построенная интегральная сумма связана с внутренним интегралом в (2), то есть сечением $y = y_j$ области G . В соответствии с этим, интегральная сумма для полного (двойного) интеграла может быть записана в виде

$$I = \sum_{j=1}^m \bar{I}^{(j)} \Delta_j(y) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=i_1(j)}^{i_2(j)} \bar{f}_i^{(j)} \omega_i^{(j)} h_x h_y. \quad (10)$$

Формула (10) определяет некий квадратурный процесс при $m \rightarrow \infty$ и $n \rightarrow \infty$. Вопросы, связанные со сходимостью подобных процессов будут затронуты ниже, а пока лишь заметим, что проверка эффективности предлагаемого метода дискретизации интегралов может быть осуществлена расчетным путем, если функцию $f(x, y)$ заменить характеристической функцией области G . Значения двойной суммы (10) должны определить площадь G . В случае эллипса оно равно πab .

В соответствии с изложенным выше, интегральную сумму для уравнения (1) будем писать в виде

$$I(x, y) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=i_1(j)}^{i_2(j)} Q_n(x, y; x'_i, y'_j) f(x'_i, y'_j) h_x h_y + \bar{I}(x, y). \quad (11)$$

Здесь второе слагаемое в правой части составлено из членов суммы, определяемых граничными значениями искомой функции $\bar{f}(x, y)$ ($(x, y) \in G$). Напомним, что нас интересуют ситуации, в которых функции $Q_n(x, y; x'_i, y'_j)$ содержат особенности и прежде всего при $\left[(x - x'_i)^2 + (y - y'_j)^2 \right] \rightarrow 0$ (сингулярность в нуле). Последнее предполагает, что $Q_n(x, y; x'_i, y'_j) = Q_n(x - x'_i, y - y'_j)$. Нерегулярность в поведении подынтегральной функции требует введения методов предварительной регуляризации суммационных аналогов интегрального уравнения (1). В соответствии с предлагаемым подходом к дискретизации интегралов (метод интервальных средних) в целях регуляризации сходимости интегральных сумм можно ограничиться введением следующих условий:

$$Q_n(x - x'_i, y - y'_j) := Q_n(x - x'_i, h_y), \text{ если } |x - x'_i| \geq h_x, \quad |y - y'_j| < h_y$$

$$Q_n(x-x'_i, y-y'_j) := Q_n(h_x, y-y'_j), \text{ если } |x-x'_i| < h_x, |y-y'_j| \geq h_y \quad (12)$$

$$Q_n(x-x'_i, y-y'_j) := Q_n(h_x, h_y), \text{ если } |x-x'_i| < h_x, |y-y'_j| < h_y$$

$$Q_n(x-x'_i, y-y'_j) := Q_n(x-x'_i, y-y'_j) \text{ во всех остальных случаях.}$$

Ясно, что условия (12) определяют регуляризацию сходимости интегральных сумм вида $[(x-x'_i)^2 + (y-y'_j)^2] \geq \mu^2$ для всех пар $(x-x'_i)$ и $(y-y'_j)$ из области G . Главным при этом является выбор надлежащего значения параметра μ в зависимости от погрешности в задании как правой части $S(x, y)$, так и ядра $Q_n(x, x'; y, y')$. Стандартная задача теории квадратурных формул о влиянии гладкости (дифференцируемости) подынтегральных функции на скорость их сходимости при $h_x \rightarrow 0$ и $h_y \rightarrow 0$ для теории интегральных уравнений в практическом отношении мало интересна. Интегральное уравнение первого рода (1) в приложениях выступает как параметризованная модель для соответствующих функциональных уравнений [1–2].

Применение метода к решению трехмерной задачи.

Изложенный выше подход в полной мере применим и к трехмерным задачам, когда область интегрирования V лежит в R_3 . Соответствующий исходный интеграл типа (2) записывается в виде

$$\int_{z_1}^{z_2} dz \int_{\bar{y}_1(z)}^{\bar{y}_2(z)} dy \int_{\bar{x}_1(y,z)}^{\bar{x}_2(y,z)} f(x, y, z) dx = I, \quad (13)$$

В случае эллипсоида $F(x, y, z) = \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$ пределы интегрирования в (13) имеют следующие аналитические представления:

$$\bar{x}_{1,2}(y, z) = \pm a \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2}}, \quad \bar{y}_{1,2}(z) = \pm b \sqrt{1 - \frac{z^2}{c^2}}, \quad \bar{z}_{1,2}(y, z) = \pm c.$$

Подобный простой пример приводится с целью обратить внимание на следующее обстоятельство. Если в исходной задаче принято считать исходные данные приближенными (определенными нечетко), то и задание геометрии области интегрирования может допускать некую неопределенность. В подобной задаче эллипсоид с приближенно заданными параметрами (a, b, c) может считаться некоторой аппроксимационной моделью для области интегрирования в прикладных задачах.

Постановка вариационной задачи, построение регуляризующего алгоритма.

Остается указать способы коррекции решений интегральных уравнений с использованием тех или иных критериев и их последующей оптимизацией [6–7]. Суммирующий аналог для интеграла в уравнении (1) может быть записан в виде

$$I_n^{lq} = \sum_{j=1}^m I_{n,j}^{lq} h_y = \sum_{j=1}^m \sum_{i(j)} Q_{n,ij}^{lq} \bar{f}_{ij} h_x h_y + \sum_{j=1}^m \bar{I}_j^{lq} h_y, \quad (14)$$

и тогда итоговая алгебраическая система уравнений примет вид

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i_1(j)} Q_{n,ij}^{lq} \bar{f}_{ij} h_x h_y = g^{lq}, \quad (15)$$

где
$$g^{lq} = S^{lq} + \sum_{j=1}^m \bar{I}_j^{lq} h_y.$$

Обращение системы (15) в вычислительной математике является вполне стандартной задачей. Вместе с тем, с учетом вышеизложенного, можно сделать некоторые замечания. В виду возможных ошибок в правой части (15), а также зависимости матрицы $\hat{Q}_n$ от параметра регуляризации μ , для нахождения матрицы $\{\bar{f}_{ij}\}$ из уравнения (15) при заданной матрице $\{g^{lq}\}$, следует, применяя вариационный подход, искать так называемое нормальное решение линейной алгебраической системы. Последнее находится путем решения оптимизационной задачи для квадратичного функционала вида

$$T_\alpha(\hat{f}) = \rho^2(\hat{f}) + \alpha \cdot \Omega^2(\hat{f}), \quad \alpha > 0 \quad (16)$$

где через $\hat{f}$ обозначена матрица $\{\bar{f}_{ij}\}$. В последнем выражении

$$\rho^2(\hat{f}) = \sum_l \sum_q \left(\sum_{j=1}^m \sum_{i_1(j)} Q_{n,ij}^{lq} \bar{f}_{ij} h_x h_y - g^{lq} \right)^2, \quad (17)$$

$$\Omega^2(\hat{f}) = \sum_{ij} \left(\bar{f}_{ij} - \bar{f}_{ij}^{(0)} \right)^2, \quad (18)$$

и $\{\bar{f}_{ij}^{(0)}\}$ – некоторая опорная матрица [8]. Решение задачи минимизации функционала (16) можно осуществить методом наискорейшего спуска [5–7].

Построим соответствующие расчетные соотношения метода (алгоритм). Для большей легкости обратимся к задаче минимизации главного слагаемого в правой части (16), то есть функционала (невязки исходного уравнения (15)), вводя следующие обозначения:

$$\lambda = h_x h_y,$$

$$A^{lq}(\hat{f}) = \lambda \sum_{j=1}^m \sum_{i_1(j)}^{i_2(j)} Q_{n,ij}^{lq} \bar{f}_{ij} - g^{lq}, \quad (19)$$

$$\rho^2(\hat{f}) = F(\hat{f}) = \sum_l \sum_q \left(A^{lq}(\hat{f}) \right)^2. \quad (20)$$

Ясно, что $F(\hat{f})$ есть скалярная функция аргумента $\hat{f} = \{\bar{f}_{ij}\}$. Для вычисления градиента $F(\hat{f})$ следует найти значения

$$\frac{\partial F}{\partial f_{kp}}(\hat{f}) = 2\lambda \sum_l \sum_q A^{lq}(\hat{f}) Q_{pk}^{lq}, \quad (21)$$

которые по индексам k и p образуют матрицу $\{F'_{kp}(\hat{f})\} = F'(\hat{f})$. В соответствии с идеей метода наискорейшего спуска следует рассмотреть рекурсивное соотношение

$$\hat{f}^{(v+1)} = \hat{f}^{(v)} - \beta_v F'(\hat{f}^{(v)}), \quad (22)$$

или в координатной форме

$$\bar{f}_{ij}^{(v+1)} = \bar{f}_{ij}^{(v)} - \beta_v F'_{ij}(\bar{f}^{(v)}). \quad (23)$$

В выражении (22) β_v – коэффициент, определяемый на каждом шаге v – итерации наилучшим образом с точки зрения скорости сходимости данной итерационной схемы. Для решения этого вопроса рассмотрим вспомогательную функцию

$$\Psi^{(v)}(\beta) = F(\hat{f}^{(v)} - \beta F'(\hat{f}^{(v)})) = \sum_l \sum_q \left\{ A^{lq}(\hat{f}^{(v)} - \beta \cdot F'(\hat{f}^{(v)})) \right\}^2. \quad (24)$$

Правую часть равенства (24) можно привести к виду

$$\sum_l \sum_q \left\{ A^{lq}(\hat{f}^{(v)}) - \beta \cdot B^{lq}(\hat{f}^{(v)}) \right\}^2, \quad (25)$$

где

$$B^{lq}(\hat{f}^{(v)}) = \lambda \sum_{j=1}^m \sum_{i_1(j)}^{i_2(j)} Q_{ij}^{lq} F'_{ij}(\bar{f}^{(v)}). \quad (26)$$

В соответствии с (25) $\Psi^{(v)}(\beta)$ есть квадратичная парабола по параметру β и не составляет труда найти ее минимум. Вычисляя значение β^* , доставляющее функции $\Psi^{(v)}(\beta)$ наименьшее значение, найдем

$$\beta_v^* = \frac{\sum_l \sum_q A^{lq}(\hat{f}^{(v)}) \cdot B^{lq}(\hat{f}^{(v)})}{\sum_l \sum_q \left\{ B^{lq}(\hat{f}^{(v)}) \right\}^2}. \quad (27)$$

Выбор значения параметра β_v^* в соответствии с (27) обеспечивает выполнение основного условия в методе наискорейшего спуска, а именно $F'(\hat{f}^{(v)}) > F'(\hat{f}^{(v+1)})$. Тогда можно определенным образом сократить число операций, выполняемых решающим алгоритмом, что весьма важно для многомерных задач теории интегральных уравнений и их приложений.

Дальнейшее исследование рассмотренного метода требует разработки программно-алгоритмического обеспечения применительно к прикладным задачам и примерам, и соответствующие вопросы будут изложены в следующих работах авторов.

Выводы.

Таким образом, для двумерного интегрального уравнения первого рода разработан и обоснован соответствующий численный метод, приводится пример применения данного метода для решения соответствующей трехмерной задачи. При построении вычислительного метода выполняется постановка соответствующей вариационной задачи, которая затем решается методом наискорейшего спуска, осуществляется построение регуляризирующего алгоритма. В итоге, разработанный численный метод и алгоритм позволяют получать устойчивые решения исходной задачи с учетом погрешностей в исходных данных, что соответствует ситуации практического моделирования процессов в конкретных прикладных задачах.

Библиографический список

1. Наац И.Э., Наац В.И., Рыскаленко Р.А. Метод численного решения краевой задачи для уравнения в частных производных с эмпирическими функциями на основе интегрального уравнения Фредгольма первого рода // Наука. Инновации. Технологии. 2016. №3. С. 30–41.
2. Наац И.Э., Наац В.И., Рыскаленко Р.А. Вычислительная модель для дифференциального уравнения с эмпирическими функциями на основе интегрального уравнения Фредгольма первого рода // Наука. Инновации. Технологии. 2016. №2. С. 37–48.
3. Лебедев В.И. Функциональный анализ и вычислительная математика. М.: Физматлит. 1994.
3. Данфорд Н., Шварц Дж. Т. Линейные операторы: общая теория. М.: Изд-во иностранной литературы. 1962.
4. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука. 1977.
5. Сухарев А.Г. Минимаксные алгоритмы в задачах численного анализа. М.: Наука. 1989.

6. Ректорис К. Вариационные методы в математической физике и технике. М.: Изд-во иностранной литературы. 1985.
7. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Физматлит. 1979.

REFERENCES

1. Naac I.Je., Naac V.I., Ryskalenko R.A. Metod chislenного reshenija kraevoj zadachi dlja uravnenija v chastnyh proizvodnyh s jempiricheskimi funkcijami na osnove integral'nogo uravnenija Fredgol'ma pervogo roda (Method for the numerical solution of boundary value problems for partial differential equations with the empirical functions on the basis of the integral Fredholm equation of the first kind) // Nauka. Innovacii. Tehnologii. 2016. №3. S. 30–41.
2. Naac I.Je., Naac V.I., Ryskalenko R.A. Vychislitel'naja model' dlja differencial'nogo uravnenija s jempiricheskimi funkcijami na osnove integral'nogo uravnenija Fredgol'ma pervogo roda (Computational model for a differential equation with empirical functions on the basis of the integral Fredholm equation of the first kind) // Nauka. Innovacii. Tehnologii. 2016. №2. S. 37-48.
3. Lebedev V.I. Funkcional'nyj analiz i vychislitel'naja matematika (Functional analysis and computational mathematics). М.: Fizmatlit. 1994.
4. Danford N., Shvarc Dzh. T. Linejnye operatory: obshhaja teorija (Linear operators: General theory). М.: Izd-vo inostrannoј literatury. 1962.
5. Marchuk G.I. Metody vychislitel'noj matematiki (Methods of computational mathematics). М.: Nauka. 1977.
6. Suharev A.G. Minimaksnye algoritmy v zadachah chislenного analiza (Minimax algorithms in problems of numerical analysis). М.: Nauka. 1989.
7. Ректорис К. Variacionnye metody v matematicheskoј fizike i tehnike (Variational methods in mathematical physics and engineering). М.: Izd-vo inostrannoј literatury. 1985.
8. Tihonov A.N., Arsenin V.Ja. Metody reshenija nekorrektnyh zadach (Methods for solving ill-posed problems). М.: Fizmatlit. 1979.

УДК 536.242

Симоновский А.Я. [Simonovskij A. Ja.],
Гришанина О.А. [Grishanina O.A.],
Яновский А.А. [Janovskij A.A.],
Литвин Д.Б. [Litvin D.B.]

ГИДРОСТАТИКА МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В ОКРЕСТНОСТИ НАМАГНИЧИВАЮЩЕЙСЯ ПЛАСТИНЫ

Hydrostatics of a magnetic fluid in the vicinity of a magnetized plate

Предложена математическая модель, позволяющая описать формы свободной поверхности магнитной жидкости, окружающие тонкую плоскую намагничиваемую пластину с бесконечной магнитной восприимчивостью. Решены уравнения Максвелла и уравнения гидростатики для магнитной жидкости с соответствующими граничными условиями на свободной поверхности магнитной жидкости. Методами теории функций комплексной переменной найдены распределение магнитного поля и давления в магнитной жидкости, окружающей пластину. Выписано уравнение формы свободной поверхности магнитной жидкости вблизи пластины и приведены графики равновесных форм свободной поверхности магнитной жидкости в окрестности пластины для различных объемов жидкости, и угла между пластиной и вектором внешнего магнитного поля. Показано, что малые объемы магнитной жидкости сосредоточены вблизи краев пластины в виде капель. С увеличением объема жидкости вблизи центральной части плиты образуются воздушные полости. Размер полостей уменьшается при увеличении объема жидкости. Приведены результаты экспериментов, подтверждающие данную картину распределения полостей вблизи поверхности пластины.

The theory allowing to describe possible free surface shapes of the magnetic fluid surrounding the thin flat magnetizable plate with infinite magnetic susceptibility is presented. In order to solve the Maxwell's equations and hydrostatics equation for magnetic fluid together with appropriate boundary conditions at the magnetic fluid free surface the methods of the theory of complex variable are used. Distribution of the magnetic field and pressure in the magnetic fluid surrounding the plate are found. The equation describing the free surface shapes of the magnetic fluid is derived. The graphs of the free surface shapes of the magnetic fluid near the plate are given for various values of the volume of the fluid surrounding the plate. The angle between the plate and the applied external magnetic field vector in infinity is supposed to be equal to zero, 90°, 45° and 135°. The free surface shapes are shown to be dependent on the plate size, its orientation relative to the applied magnetic field vector, magnitude of the magnetic field and the magnetic fluid volume surrounding the plate. It is shown that the small volumes of the magnetic fluid is concentrated near the edges of the plate in the form of drops. As the fluid volume increases the size of the drops increases too. At the certain critical magnetic fluid volume the drops are linked at the certain distance from the plate. Near the central part of plate the vapor cavities are being formed. The size of the cavities is decreasing when the fluid volume is increasing.

Ключевые слова: магнитная жидкость, теплообмен, гидродинамика, стальная пластина, магнитное поле.

Key words: magnetic fluid, heat transfer, hydrodynamics, steel plate, magnetic field.

Введение

Экспериментальные исследования и теоретический анализ форм свободной поверхности магнитной жидкости, окружающей намагничивающиеся цилиндр и шар при наличии приложенного внешнего магнитного

поля проводились в работах [1–6]. Экспериментальное исследование формы свободной поверхности магнитной жидкости, окружающей намагничивающуюся пластину, частично описано в [5].

В данной работе сделана попытка математического моделирования распределения магнитной жидкости, вблизи намагничивающейся пластины, в приложенном внешнем магнитном поле и сравнения с экспериментальными наблюдениями этого распределения. Изучаемое распределение оказывает влияние на теплообменные и гидродинамические процессы при охлаждении пластины в магнитной жидкости и при стационарном кипении ее на плоской горизонтальной поверхности [6–10].

Найдено распределение магнитного поля и давления в магнитной жидкости, окружающей пластину. Выведено уравнение, описывающее формы свободной поверхности магнитной жидкости. Построены графики распределения свободной поверхности магнитной жидкости в окрестности пластины при различных объемах жидкости, окружающей пластину. Приведены данные экспериментов, подтверждающих найденные теоретически распределения свободной поверхности магнитной жидкости в окрестности пластины.

Материалы и методы

Постановка задачи. Рассмотрим задачу о распределении свободной поверхности магнитной жидкости в окрестности пластины с бесконечно большой магнитной проницаемостью. Пластина предполагается плоской неограниченной по высоте и шириной $2a$. Внешнее постоянное магнитное поле H_0 на удалении от пластины перпендикулярен вектору силы тяжести. Угол между вектором внешнего магнитного поля H_0 и плоскостью пластины, равен α . Ось x декартовой системы координат x, y направлена вдоль вектора магнитного поля H_0 . Начало декартовой системы координат x, y находится в центре пластины. Магнитное поле на удалении от пластины считается однородным. Силой тяжести пренебрегается. Задача, рассматривается как плоская относительно горизонтального сечения пластины.

Исходная система уравнений рассматривается в приближении феррогидродинамики и состоит из уравнений для магнитного поля H и магнитной индукции B , записанных для областей пространства, занятых магнитной жидкостью и граничащим с ней воздухом, и уравнения равновесия магнитной жидкости [11]

$$\operatorname{div} B = 0, \operatorname{rot} H = 0, B = \mu H, \quad (1)$$

$$-\nabla p + M \nabla H = 0. \quad (2)$$

Здесь $\mu = \mu(H)$ – магнитная проницаемость магнитной жидкости;

p – давление в магнитной жидкости;

M – вектор намагниченности магнитной жидкости.

В поле перпендикулярном к поверхности пластины с бесконечно большой магнитной проницаемостью тангенциальная компонента поля отсутствует. На поверхности раздела магнитная жидкость-воздух должны выполняться условия непрерывности нормальной и тангенциальной компонент полного тензора напряжений. Вдали от пластины величина и направление магнитного поля стремятся к вектору H_0 – вектору приложенного внешнего магнитного поля.

Непрерывность нормальной компоненты тензора напряжений на поверхности раздела магнитная жидкость-воздух приводит к соотношению [12]

$$p - p_a = -2\pi M_n^2 + \sigma(1/R_1 + 1/R_2). \quad (3)$$

Здесь p_a – давление в воздухе;
 p – давление в магнитной жидкости вблизи границы раздела магнитная жидкость-воздух;
 M_n – нормальная компонента намагниченности на свободной поверхности магнитной жидкости;
 σ – коэффициент поверхностного натяжения;
 R_1 и R_2 – главные радиусы кривизны поверхности магнитной жидкости.

Из соотношений (2) и (3) следует, что на свободной поверхности магнитной жидкости выполняется условие

$$\int_0^H M dH + 2\pi M_n^2 - \sigma(1/R_1 + 1/R_2) = const. \quad (4)$$

При намагниченности жидкости M малой по сравнению с приложенным внешним магнитным полем H_0 , вторым слагаемым в формуле (4) можно пренебречь по сравнению с первым.

При намагниченности жидкости равной M_S – намагниченность насыщения ($M_S \approx 10^4$ А/м). При значении коэффициента поверхностного натяжения $\sigma \approx 10^{-2}$ Н/м и характерных радиусах кривизны R_1 и $R_2 \approx 10^{-3}$ м слагаемые в левой части уравнения (4) относятся как $10^2 : 10 : 1$.

С учетом этих оценок, пренебрегая в левой части уравнения (4) двумя последними слагаемыми, запишем уравнение (4) для свободной поверхности магнитной жидкости в виде

$$\int_0^H M dH = const \text{ или } H = const$$

Отсюда следует, что в принятом приближении, линии свободной поверхности магнитной жидкости совпадают с линиями постоянства

модуля напряженности магнитного поля. Заметим также, что в этом приближении искажением поля магнитной жидкостью можно пренебречь, при этом $B = H$, $\mu = 1$.

Результаты и их обсуждение

С учетом сказанного, задача о распределении магнитного поля вблизи намагничивающейся пластины сводится к нахождению распределения магнитного поля пластины в отсутствие магнитной жидкости. Уравнения Максвелла [12] позволяют ввести потенциал φ для напряженности магнитного поля

$$H = -\nabla\varphi = 0 \quad (5)$$

удовлетворяющего уравнению Лапласа $\Delta\varphi = 0$. Отсутствие тангенциальной составляющей магнитного поля приводит к значению $\varphi = 0$ на обеих сторонах пластины. В последующем предполагаем, что все размеры картины распределения поля отнесены к полуширине пластины a .

Воспользуемся методами теории функций комплексного переменного, из которой потенциал φ удовлетворяет гармоническому уравнению. То есть, существует аналитическая функция $\Phi(z)$, где $z = x + iy\varphi$, вещественная часть которой совпадает с функцией φ . Тогда задача сводится к нахождению аналитической функции, вещественная часть которой равна нулю на отрезке, соединяющем точки $x = -\cos\alpha$, $y = -\sin\alpha$ и $x = \cos\alpha$, $y = \sin\alpha$, соответствующие концам пластины, а ее градиент при $z \rightarrow \infty$ стремится к H_0 .

После введения вспомогательной комплексной плоскости w по формулам

$$z = \frac{1}{2}(w + w^{-1})e^{ia},$$

$$w = ze^{-ia} + \sqrt{e^{-2ia} - z^2 - 1}. \quad (6)$$

конформное отображение (6) переводит внешность отрезка, соответствующего пластине, повернутой на угол α относительно оси x , на внешность круга единичного радиуса на плоскости w . Таким образом задача сводится к определению аналитической функции $\Phi[z(w)]$ с нулевой вещественной частью на единичной окружности $|w| = 1$. В качестве решения выберем функцию вида

$$\Phi(w) = A(w - w^{-1}) + iB(w + w^{-1}), \quad (7)$$

где A , B – произвольные вещественные постоянные. Возвращаясь в

плоскость z , получаем выражение для аналитической функции Φ вида

$$\Phi(z) = 2A\sqrt{e^{-2ia} - z^2 - 1} + 2iBze^{-ia}. \quad (8)$$

Компоненты H_x, H_y можно найти по формуле (H_x и H_y – компоненты магнитного поля в декартовой системе координат x, y):

$$H_x - iH_y = \frac{d\Phi}{dz}. \quad (9)$$

через комплексный потенциал Φ . Из условий на бесконечности

$$\left. \frac{d\Phi}{dz} \right|_{\infty} = H_0. \quad (10)$$

определяются постоянные A, B .

$$A = 1 / 2H_0 \cos \alpha, \quad B = -1 / 2H_0 \sin \alpha. \quad (11)$$

После введения декартовой системы координат ξ, η с началом находящимся в центре пластины и осью ξ направленной вдоль оси x , получим формулы связывающие координаты x, y и ξ, η .

$$\xi = x \cos \alpha + y \sin \alpha, \quad \eta = -x \sin \alpha + y \cos \alpha. \quad (12)$$

Зададим комплексную плоскость формулой

$$\zeta = \xi + i\eta = ze^{-ia}. \quad (13)$$

Компоненты магнитного поля H_ξ и H_η в системе координат ξ, η вычисляются по формуле

$$H_\xi - iH_\eta = \frac{d\Phi(z)}{d\zeta}, \quad z = \zeta e^{ia}. \quad (14)$$

Из формул (8), (13) и (14) следуют выражения для H_ξ и H_η

$$\begin{aligned} \frac{H_\xi}{H_0} &= \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{(\xi E + \eta F) \cos \alpha}{G}; \\ \frac{H_\eta}{H_0} &= \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{(\xi F - \eta E)}{G} - \sin \alpha. \end{aligned} \quad (15)$$

Здесь

$$\begin{aligned} G &= \sqrt{(\xi^2 - \eta^2 - 1)^2 + 4\xi^2\eta^2}; \\ E &= \operatorname{sign}(\xi)\sqrt{G + \xi^2 - \eta^2 - 1}; \\ F &= \operatorname{sign}(\eta)\sqrt{G - \xi^2 + \eta^2 + 1}. \end{aligned} \quad (16)$$

Множители $\operatorname{sign}(\xi)$ и $\operatorname{sign}(\eta)$ в выражениях (16) для E и F появляются вследствие непрерывности этих функций на плоскости ξ, η или x, y . Для модуля магнитного поля в системе координат ξ, η из соотношений (15) следует выражение

$$\frac{H^2}{H_0^2} = \frac{\cos^2 \alpha (\xi^2 + \eta^2)}{G} + \sin^2 \alpha - \frac{\sqrt{2}}{2} \sin 2\alpha \frac{\xi F - \eta E}{G}. \quad (17)$$

Задача распределения магнитного поля вблизи намагничивающейся пластины с бесконечной магнитной проницаемостью аналогична задаче о распределении поля скоростей при обтекании пластины идеальной несжимаемой жидкостью [13]. В последней задаче α – угол между пластиной и скоростью жидкости на бесконечности.

Компоненты магнитного поля H_x и H_y связаны с компонентами H_ξ и H_η формулами

$$\begin{aligned} H_x &= H_\xi \cos \alpha - H_\eta \sin \alpha, \\ H_y &= H_\xi \sin \alpha - H_\eta \cos \alpha. \end{aligned} \quad (18)$$

Из формул (15), (16), (12) или формул (9), (8) следуют выражения для составляющих магнитного поля H_x и H_y

$$\begin{aligned} \frac{H_x}{H_0} &= \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\cos \alpha}{G} [E(x \cos 2\alpha + y \sin 2\alpha) + F(y \cos 2\alpha - x \sin 2\alpha)] + \sin^2 \alpha; \\ \frac{H_y}{H_0} &= \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\cos \alpha}{G} [E(x \sin 2\alpha - y \cos 2\alpha) + F(x \cos 2\alpha + y \sin 2\alpha)] - \frac{1}{2} \sin 2\alpha. \end{aligned} \quad (19)$$

Здесь

$$\begin{aligned} G &= \left\{ \left[(x^2 - y^2) \cos 2\alpha + 2xy \sin 2\alpha - 1 \right] + \right. \\ &\quad \left. + 4 \left[(y^2 - x^2) \sin \alpha \cos \alpha + xy \cos 2\alpha \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= \operatorname{sign}(\xi) \sqrt{G + (x^2 - y^2) \cos 2\alpha + 2xy \sin 2\alpha - 1}; \\
 F &= \operatorname{sign}(\eta) \sqrt{G - (x^2 - y^2) \cos 2\alpha - 2xy \sin 2\alpha + 1}.
 \end{aligned} \quad (20)$$

Найдем формулу для модуля квадрата магнитного поля H^2 в плоскости x, y , которую будем использовать для анализа полученных экспериментальных данных по распределению свободной поверхности магнитной жидкости в окрестности пластины (функции E, F и G определяются формулами (20))

$$\begin{aligned}
 \frac{H^2}{H_0^2} &= \frac{\cos^2 \alpha}{G} (x^2 + y^2) + \\
 &+ \sin^2 \alpha - \frac{\sqrt{2}}{2} \sin 2\alpha \frac{(x \cos \alpha + y \sin \alpha) F + (x \sin \alpha - y \cos \alpha) E}{G}.
 \end{aligned} \quad (21)$$

Свободная поверхность магнитной жидкости совпадает с линией постоянной величины квадрата модуля магнитного поля, $H^2 = \text{const}$.

В частном случае, когда внешнее магнитное поле параллельно пластине, $\alpha = 0$, формула (21) для модуля магнитного поля упрощается и принимает вид

$$\frac{H^2}{H_0^2} = \frac{x^2 + y^2}{\sqrt{(x^2 - y^2 - 1)^2 + 4x^2 y^2}}. \quad (22)$$

Уравнение свободной поверхности магнитной жидкости в этом случае запишется в виде

$$\frac{x^2 + y^2}{\sqrt{(x^2 - y^2 - 1)^2 + 4x^2 y^2}} = C = \text{const}. \quad (23)$$

В полярных координатах, $x = \rho \cos \psi$, $y = \rho \sin \psi$, последнее уравнение можно записать в явном виде относительно ρ и полярного угла ψ :

$$\psi = \frac{1}{2} \arccos \frac{1}{2} \left[\rho^2 (1 - C^{-2}) + \rho^{-2} \right]. \quad (24)$$

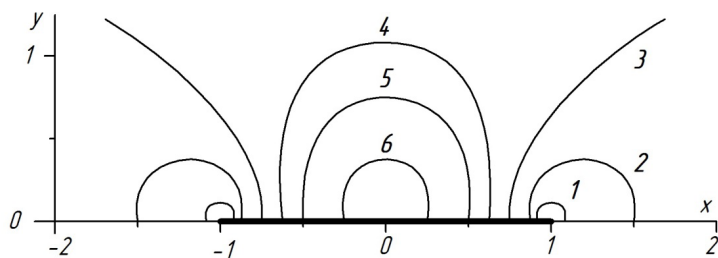


Рис. 1. Формы свободной поверхности магнитной жидкости, окружающей намагничивающуюся пластину. Пластина параллельна вектору приложенного внешнего магнитного поля и занимает на оси $0x$ отрезок $|a| = 2$. Все размеры на рис. 1 отнесены к полуширине пластины ($|a|/2 = 1$).

Формы свободной поверхности магнитной жидкости, окружающей пластину.

На рисунке 1 представлены описываемые уравнением (22) линии границы раздела магнитной жидкости и воздуха, образуемые плоскостью поперечного сечения объема жидкости, окружающей пластину, когда угол $\alpha = 0$. Вектор магнитного поля параллелен плоскости пластины и направлен вдоль оси абсцисс. Пластина занимает на оси абсцисс отрезок от -1 до $+1$. Масштаб изображения кривых 1–6 пропорционален полуширине пластины ($a/2 = 1$). Расчеты показали, что при малых объемах магнитной жидкости, жидкость концентрируется вблизи концов пластины – внутри областей, ограниченных линиями 1 и 2. Эта интерпретация расчетных линий соответствует наблюдаемых в экспериментах различным объемам магнитной жидкости, т.е. различным значениям константы C , в уравнении (23). С увеличением суммарного объема магнитной жидкости размер капель жидкости, сосредоточенных на концах пластины, увеличивается.

При неограниченном возрастании объема жидкости свободная поверхность капель магнитной жидкости, сосредоточенных на концах пластины, уходит в бесконечность. Сечение предельной линии 3 совпадает с линией гиперболы

$$x^2 - y^2 = 1/2$$

Если пластина, окруженная магнитной жидкостью, находится в ограниченном сосуде, то увеличение ее объема приводит к дальнейшему смещению границы жидкости. При некотором значении объема жидкости в кювете, порции сосредоточенные у концов пластины, смыкаются, образуя воздушные полости в окрестности центральной части пластины в

плоскости x, y . Внутренняя часть плоскости, ограниченная линиями 4, 5, 6 в окрестности центральной части пластины, соответствует воздушным полостям, образующимся после смыкания левой и правой частей жидкости, сосредоточенных у торцов пластины. Внешняя часть плоскости x, y , ограниченная линиями 4, 5 и 6, соответствует объему, занимаемому магнитной жидкостью. Дальнейшее увеличение объема жидкости приводит к уменьшению размера воздушных полостей – переход от области, ограниченной линией 4, к областям, ограниченными линиями 5 и 6.

Свободная поверхность магнитной жидкости вблизи поверхности намагничивающейся пластины в магнитном поле наблюдалась в эксперименте.

Пластина конечных размеров (длина $L = 20$ мм, высота $h = 15$ мм и толщина $t = 3$ мм), выполненная из ферромагнитной стали, укреплялась на дне немагнитной цилиндрической кюветы.

При включенном магнитном поле магнитная жидкость малыми порциями подавалась к торцам пластины. Распределение свободной поверхности магнитной жидкости, регистрировалось фотокамерой

Фотосъемка производилась в двух положениях: при виде сверху и под углом 75° к направлению вертикали. Это направление фотосъемки будем называть «видом сбоку».

На рисунке 2 а, б показаны фотографии пластины без магнитной жидкости; вид сверху – рис. 2 а и вид сбоку – рис. 2 б.



Рис. 2

В эксперименте отношение длины пластины к ее толщине $L/t < 10$. Вектор приложенного магнитного поля H_0 параллелен плоскости пластины.

На рис. 3 а, б приведены фотографии пластины, к боковым граням которой при включенном магнитном поле была подана магнитная жидкость общим объемом 2,3 мл. На рис. 3 а показана фотография распределения магнитной жидкости при виде сверху, на рис. 3 б – при виде сбоку.

Видно, что малый объем магнитной жидкости, как и в теории (рис. 1) скапливается у торцов пластины в виде капель.

Каплевидные образования магнитной жидкости на концах пластины расширяются в направлении силы тяжести. Магнитная жидкость начинает растекаться по дну кюветы в виде лужиц эллиптической формы (рис. 3 б).

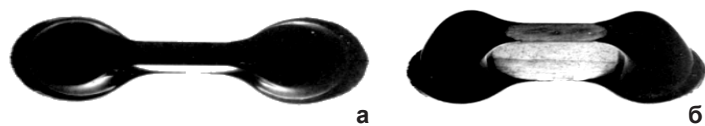


Рис. 3

На рисунке 4 а,б приведены фотографии пластины, окруженной магнитной жидкостью с суммарным объемом 28,3 мл. При таком объеме лужицы магнитной жидкости на дне кюветы слева и справа от пластины растекаются до границ кюветы, оставляя зоны эллиптической формы, свободные от магнитной жидкости.

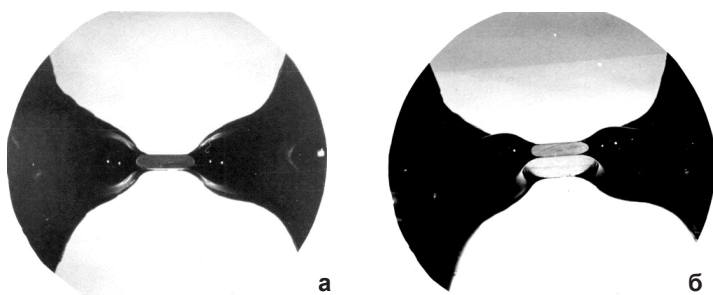


Рис. 4

На рисунке 4, это – светлые области в верхней и нижней частях фотографий; на рис. 4 а – вид сверху, рис. 4 б – вид сбоку.

Наконец, при суммарном объеме магнитной жидкости в кювете, равном 106 мл, левая и правая лужицы жидкости на дне кюветы смыкаются (рис. 5 а, б).

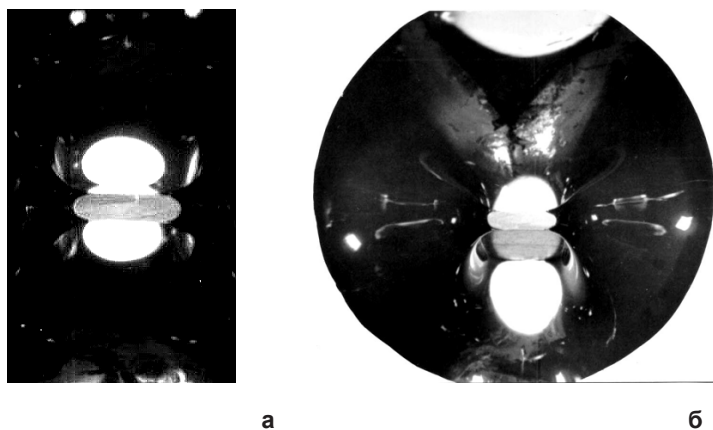


Рис. 5

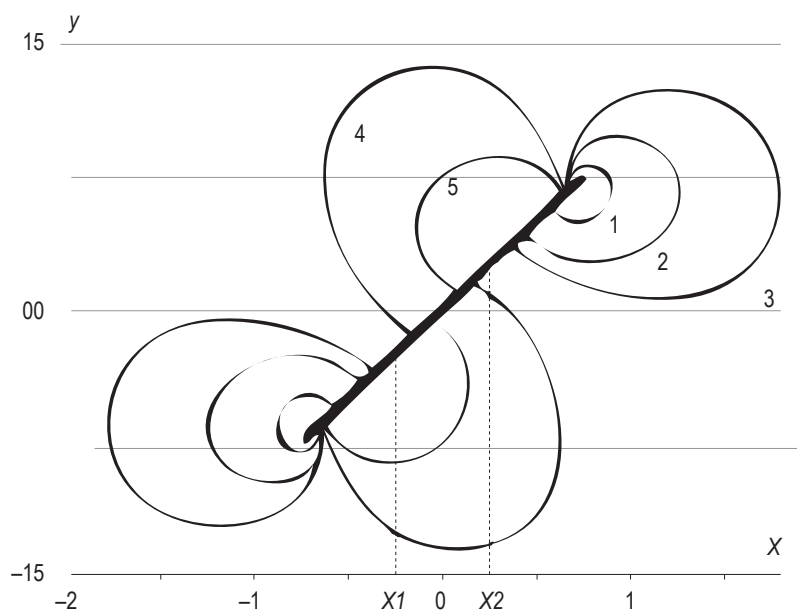


Рис. 6.

Формы свободной поверхности магнитной жидкости, окружающей намагничивающуюся пластину. Угол α между пластиной и вектором приложенного внешнего магнитного поля равен 45° .

При этом объеме магнитной жидкости в окрестности центральной части пластины образуются две воздушные полости, по одной на каждой стороне пластины. В эксперименте видно, что образовавшиеся воздушные полости имеют форму конусообразных воронок, сужающихся в направлении силы тяжести от верхней свободной поверхности магнитной жидкости до дна кюветы.

Представленные на рисунках 3–5 экспериментально наблюдаемые распределения свободной поверхности магнитной жидкости в окрестности намагничивающейся пластины и количественно и качественно соответствуют распределениям, полученным по предлагаемой математической модели, представленным на рисунке 1.

На рисунке 6 приведено распределение формы свободной поверхности магнитной жидкости, описываемой уравнением (21), при изменении объема жидкости, окружающей пластину, когда пластина повернута относительно вектора магнитного поля против часовой стрелки на угол $\alpha = 45^\circ$. В этом случае пластина лежит в первом и третьем квадратах декартовой системы координат x, y . Видно, что для пластины, наклоненной к магнитному полю, магнитная жидкость расположена несимметрично относительно плоскости

пластины. При малых объемах жидкость концентрируется у концов пластины внутри областей, ограниченных линиями 1, 2, 3, и примыкает к поверхности пластины. При достижении магнитной жидкостью некоторого критического объема внутри жидкости образуются воздушные полости, ограниченные линиями 4 и 5 и расположенные вблизи участков поверхности пластины, начиная от центральной части плоскости пластины до верхнего и нижнего ее концов по одной на каждой стороне пластины. Видно, что воздушные полости в верхней части пластины расположены над пластиной, а в нижней части – под пластиной. Увеличение номера линий соответствует увеличению объема магнитной жидкости и уменьшению объема воздушных полостей, примыкающих к пластине. При увеличении объема магнитной жидкости воздушные полости уменьшаются в размере.

На рисунке 7 показано распределение формы свободной поверхности магнитной жидкости, окружающей намагничивающуюся пластину, когда пластина повернута относительно вектора магнитного поля по часовой стрелке на угол $\alpha = 135^\circ$. В этом случае пластина лежит во втором и четвертом квадратах декартовой системы координат x, y . Видно, что рисунке 7 является зеркальным отражением рис. 6 относительно оси y системы координат x, y в соответствии с фор-

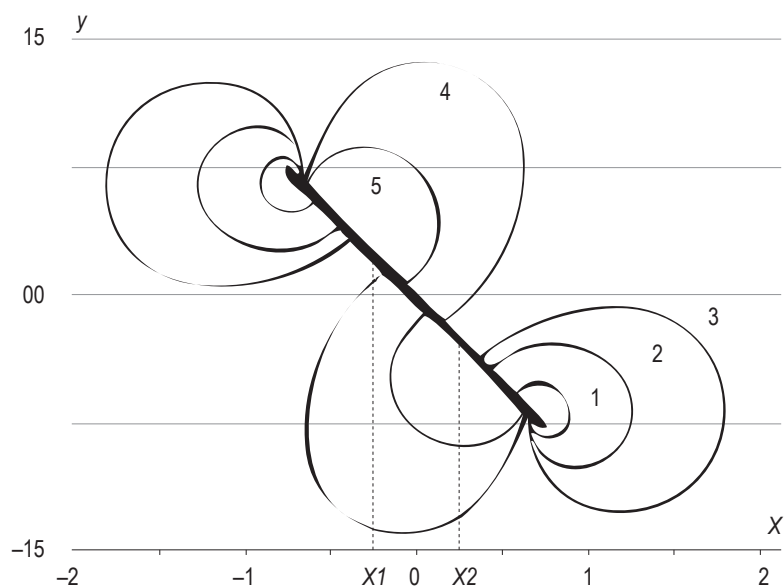


Рис. 7.

Формы свободной поверхности магнитной жидкости, окружающей намагничивающуюся пластину. Угол α между пластиной и вектором приложенного внешнего магнитного поля равен 135° .

мулой (21) и формулами (12), связывающими переменные ξ , η и x , y . По-прежнему линии 1, 2 и 3 ограничивают достаточно малые объемы магнитной жидкости, сосредоточенные в виде капель в окрестности концов пластины. Линии 4 и 5 ограничивают воздушные полости, примыкающие к верхней и нижней сторонам поверхности пластины. Видно, что и в этом случае воздушные полости в верхней части пластины расположены над пластиной, а в нижней части – под пластиной.

Концентрация магнитной жидкости при малых ее объемах вблизи концов пластины и образование воздушных полостей, примыкающих к пластине, при достаточно больших объемах магнитной жидкости качественно соответствуют результатам экспериментов, представленных в работе [5].

Из уравнения равновесия (2) следует формула для распределения давления в магнитной жидкости, окружающей пластину

$$p = \int M dH + C, \quad C = \text{const.} \quad (25)$$

В случае, когда жидкость намагничена до насыщения, $M = M_s$, распределение давления имеет вид

$$p = M_s H + C. \quad (26)$$

Если намагниченность жидкости можно считать подчиняющейся линейному закону $M = \chi H$ постоянной магнитной восприимчивостью χ , то

$$p = 1/2 \chi H^2 + C \quad (27)$$

На поверхности пластины $\eta = 0$, $H = H_\eta$ и, как следует из формулы (15),

$$\frac{H_\eta}{H_0} = \text{sign}(\eta) \cos \alpha \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} - \sin \alpha \quad (28)$$

Из формул (26)–(28) следует, что давление неограниченно возрастает при приближении к концам пластины. Давление минимально в точках x_1 и x_2 где $H^2 = H_\eta^2 = 0$. Из формулы (28) следует, что $x_1 = -\sin \alpha \cos \alpha$, $x_2 = \sin \alpha \cos \alpha$. В окрестности этих точек и образуются воздушные полости, ограниченные линиями 4, 5, 6 на рисунке 1 и линиями 4, 5 на рисунке 6, 7. На рисунке 1 точки x_1 и x_2 совпадают с центром пластины. Для случая, когда $\alpha = 45$ и 135° , расположение точек x_1 и x_2 указано на рисунке 6, 7.

Заключение

Разработана математическая модель распределения свободной поверхности магнитной жидкости в окрестности намагничивающейся пластины во внешнем однородном на бесконечности постоянном магнитном поле. Выполнена экспериментальная проверка расчетной картины распределения свободной поверхности магнитной жидкости. Показано хорошее качественное и количественное соответствие теории и эксперимента.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-01-00037).

Библиографический список

1. Гогосов В. В., Симоновский А. Я. О локально-неоднородном охлаждении при закалке в магнитной жидкости // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1989. № 2. С. 3.
2. Gogosov V. V., Simonovskii A. Ya., Smolkin R. D. Quenching and separation in magnetic fluids // JMMM. 1990. V. 85. №. 1-3. P. 227.
3. Mirkin L.I., Shesterikov S.A., Simonovski A.Y. Equipment and method for quenching steels in a magnetic liquid // 1993. V.U.Z. Mashinostr. V. 6 P. 1.
4. Bashtovoi V.G., G. Challant, Volkova O.Yu. Boiling Heat Transfer in Magnetic Fluids // JMMM. 1993. V. 122. P. 305.
5. Гришанина О.А., Симоновский А.Я., Яновский А.А. Гидродинамика и теплообмен в процессах охлаждения намагничивающейся пластины в магнитной жидкости в магнитном поле // Наука. Инновации. Технологии. 2017. №3. С. 7–20.
6. Гогосов В.В., Гришанина О.А., Кирюшин В.В., Симоновский А.Я. Теоретическое описание форм свободной поверхности магнитной жидкости, окружающей намагничивающуюся пластину во внешнем магнитном поле // Магнитная гидродинамика. 1998. №1. С. 58–69.
7. Кобозев М.А., Симоновский А.Я. Метод измерения, экспериментальная установка и результаты измерения частоты образования пузырьков пара при кипении магнитной жидкости на одиночном центре парообразования // ЖТФ. 2007. Т. 77. №11. С. 31.
8. Симоновский А.Я., Яновский А.А. Влияние однородного магнитного поля на теплообмен при кипении магнитной жидкости на неограниченной поверхности // Наука. Инновации. Технологии. 2011. №6. С. 272–278.

9. Yanovskii A.A., Simonovskii A.Ya., Klimenko E.M. On the Influence of the Magnetic Field upon Hydrogasdynamic Processes in a Boiling Magnetic Fluid // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2014. V. 50. № 3. P. 260.
10. Yanovskiy A. A., Simonovsky A. Ya., Kholopov V. L., Chuenkova I. Yu. Heat Transfer in Boiling Magnetic Fluid in a Magnetic Field // Solid State Phenomena. 2015. № 233-234. P. 339.
11. Khoshmehr H.H., Saboonchi A., Shafii M.B., Jahani N. The study of magnetic field implementation on cylinder quenched in boiling ferro-fluid // Applied Thermal Engineering. 2014. V. 64. № 1–2. P. 331.
12. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. М. 1982. 624 с.
13. Милн-Томсон Л. М. Теоретическая гидродинамика. М., 1964. 55 с.

References

1. Gogosov V. V., Simonovskij A. Ya. O lokalno-neodnorodnom oxlazhdenii pri zakalke v magnitnoj zhidkosti (On locally inhomogeneous cooling during quenching in a magnetic fluid) // Izv. an sssr. mexanika zhidkosti i gaza. 1989. № 2. p. 3.
2. Gogosov V. V., Simonovskii A. Ya., Smolkin R. D. Quenching and separation in magnetic fluids // JMMM. 1990. V. 85. №. 1-3.P. 227.
3. Mirkin L.I., Shesterikov S.A., Simonovski A.Y. Equipment and method for quenching steels in a magnetic liquid // 1993. V.U.Z. Mashinostr. V.6 P. 1.
4. Bashtovoi V.G., G. Challant, Volkova O.Yu. Boiling Heat Transfer in Magnetic Fluids// JMMM. 1993. V. 122. P.305.
5. Grishanina O.A., Simonovskij A.Ja., Janovskij A.A. Gidrodinamika i teploobmen v processah ohlazhdenija namagnichivajushhejsja plastiny v magnitnoj zhidkosti v magnitnom pole (Hydrodynamics and heat transfer in cooling processes of a magnetizing plate in a magnetic fluid in a magnetic field) // Nauka. Innovacii. Tehnologii. 2017. №3. S. 7–20.
6. Gogosov V.V., Grishanina O.A., Kirjushin V.V., Simonovskij A.Ja. Teoreticheskoe opisanie form svobodnoj poverhnosti magnitnoj zhidkosti, okruzhajushhej namagnichivajushhujusja plastinu vo vneshnem magnitnom pole (A theoretical description of the shapes of the free surface of a magnetic fluid surrounding a magnetizing plate in an external magnetic field) // Magnitnaja gidrodinamika. 1998. №1. S. 58–69.
7. Kobozev M.A., Simonovskij A.Ya. Metod izmereniya, eksperimentalnaya ustanovka i rezultaty izmereniya chastoty obrazovaniya puzyrkov para pri kipenii magnitnoj zhidkosti na odinochnom centre paroobrazovaniya (The method of measurement, the experimental setup and the results of measuring the frequency of the formation

- of bubbles of vapor upon boiling of a magnetic fluid at a single vaporization center) // ZHTF. 2007. V. 77. № 11. p. 31.
8. Simonovskij A.Ya., Yanovskij A.A. Vliyanie odnorodnogo magnitnogo polya na teploobmen pri kipenii magnitnoj zhidkosti na neogranichennoj poverxnosti (Influence of a homogeneous magnetic field on heat transfer upon boiling of a magnetic fluid on an unbounded surface) // Nauka. Innovacii. Tekhnologii. 2011. №6-1. P. 272-278.
 9. Yanovskii A.A., Simonovskii A.Ya., Klimenko E.M. On the Influence of the Magnetic Field upon Hydrogasdynamic Processes in a Boiling Magnetic Fluid // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2014. V. 50. № 3. P. 260.
 10. Yanovskiy A. A., Simonovsky A. Ya., Kholopov V. L., Chuenkova I. Yu. Heat Transfer in Boiling Magnetic Fluid in a Magnetic Field // Solid State Phenomena. 2015. № 233–234. P. 339.
 11. Khoshmehar H.H., Saboonchi A., Shafii M.B., Jahani N. The study of magnetic field implementation on cylinder quenched in boiling ferro-fluid // Applied Thermal Engineering. 2014. V. 64. № 1–2. P. 331.
 12. Landau L.D., Lifshic E. M. Elektrodinamika sploshnyh sred (Electrodynamics of Continuous Media). M., 1982. 624 p.
 13. Miln-Tomson L. M. Teoreticheskaya gidrodinamika (Theoretical hydrodynamics). M., 1964. 55 p.

УДК 681.3

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

МЕТОД ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

**Method of parallel implementation of wavelet
transform using residue number system**

В статье рассматривается применение вейвлетных фильтров на основе системы остаточных классов для комплексного улучшения технических характеристик устройств вейвлет обработки сигналов с использованием системы остаточных классов. Важной проблемой практического использования систем с низким энергопотреблением являются искажения сигнала, которые могут существенно повлиять на качество обрабатываемого сигнала и вызвать ошибку в работе системы. Предложена концепция реализации цифровых устройств на основе системы остаточных классов и вейвлет-обработки сигналов с целью повышения быстродействия и снижения энергопотребления. Проведено моделирование на программируемых логических интегральных схемах различных семейств. Предлагаемая концепция позволяет улучшить параметры энергопотребления на 24% и быстродействия на 21% для цифровых фильтров в системах с низким энергопотреблением на основе системы остаточных классов.

The paper considers the use of wavelet filters based on the residue number system for complex improvement of the technical characteristics of wavelet signal processing devices using the residue number system. An important problem in the practical use of systems with low power consumption are signal distortions, that can significantly affect the quality of the signal being processed and cause an error in the operation of the system. The concept of implementing digital devices based on the residue number system and wavelet processing of signals is proposed with the aim of increasing the speed and reducing power consumption. Modeling on programmable logic integrated circuits of various families is carried out. The proposed concept allows to improve energy consumption parameters by 24% and speed by 21% for digital filters in systems with low power consumption based on the residue numbersystem.

Ключевые слова: система остаточных классов, цифровая обработка сигналов, модулярная арифметика, дискретное вейвлет-преобразование.

Key words: Residue Number System, Digital Signal Processing, Modular Arithmetic, Discrete Wavelet Transform.

Введение

На сегодняшний день методы цифровой обработки сигналов играют значительную роль в медицине, космических и научных исследованиях, промышленности, информационных системах и во многих других областях деятельности человека [1]. Одними из наиболее распространенных методов обработки сигналов являются преобразование Фурье и вейвлет-пре-

образование. 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 отражены в работах [3], [5–7].

Особенно важным этот вопрос является для мобильных энергозависимых устройств и устройств спутниковой связи. Ключевыми параметрами приложений, использующих ЦОС, являются скорость работы и величина затраченного энергопотребления [8]. В свою очередь, приложения цифровой обработки сигналов должны быть энергоэффективными и обладать достаточно большой скоростью выполнения арифметических операций [2]. Арифметика системы остаточных классов может обеспечить выполнение данных требований [14, 15]. Целью данной статьи является исследование вопроса применения модулярной арифметики в задачах вейвлет-обработки сигналов [7].

Материалы и методы

1. Вейвлет-преобразование в цифровой обработке сигналов

Наиболее популярным преобразованием, являющимся хорошей альтернативой традиционного преобразования Фурье, при применении методов цифрового сжатия и обработки изображений, является вейвлет-преобразование.

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 что [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 настоящее время основным методом вейвлет обработки сигналов является использование ДВП, на основе которого построены КИХ-фильтры.

Основным методом применения дискретного вейвлет-преобразования для цифровой обработки сигналов является последовательная (итерационная) фильтрация входного сигнала при помощи двух фильтров – высокочастотного и низкочастотного. При этом обрабатываемый сигнал обрабатывался параллельно и независимо каждым из этих фильтров. Такие системы обработки сигналов, состоящие из нескольких каналов с цифровыми фильтрами, получили название наборов фильтров (банков фильтров, filter bank).

Самой простой разновидностью наборов фильтров является двухканальный набор фильтров, изображенный на рисунке 1.

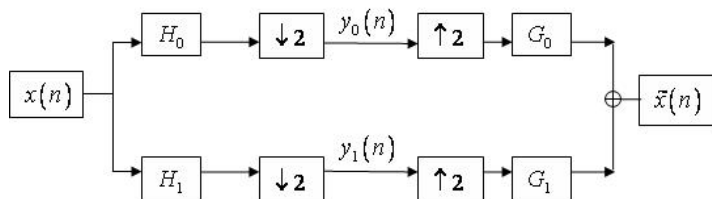


Рисунок 1. Двухканальный набор фильтров преобразования сигнала.

Входной сигнал $x(n)$ поступает на вход набора фильтров, после чего обрабатывается параллельно и независимо по двум каналам. На верхнем канале рисунка 1 сигнал обрабатывается анализирующим фильтром H_0 , после чего

происходит децимация сигнала – удаление каждого второго отсчета. Оператор децимации обозначен на рисунке как $\downarrow 2$. В результате такой обработки получается последовательность $y_0(n)$. Аналогично происходит работа и второго канала, в котором сигнал фильтруется анализирующим фильтром H_1 , в результате чего, после децимации его ответа получается последовательность $y_1(n)$.

Для восстановления исходного сигнала по полученным последовательностям $y_0(n)$ и $y_1(n)$ используются операторы прореживания, которые на рисунке 1 обозначены как $\uparrow 2$, и синтезирующие фильтры G_0 и G_1 . Кроме того, для восстановления сигнала необходимо просуммировать результаты работы каждого из каналов. В результате выполнения указанных операций на выходе набора фильтров получается сигнал $\tilde{x}(n)$.

2. Метод повышения технических характеристик вычислительных систем

Существуют различные методы повышения производительности систем цифровой обработки сигналов. К ним относятся регулировка коэффициентов фильтра, гибридные архитектуры, применение нечеткой логики и искусственных нейронных сетей и многие другие [12, 14]. Одним из перспективных путей повышения производительности цифровых фильтров является применение арифметики системы остаточных классов (СОК) [15, 13]. В СОК числа представляются в базисе взаимно-простых чисел, называемых модулями $\beta \beta = \{m_1, \dots, m_k\}$, $\text{НОД}(m_i, m_j) = 1$, для $i \neq j$. Произведение всех модулей СОК $M = \sum_{i=1}^k m_i$ называется динамическим диапазоном системы. Любое целое число $0 \leq X < M$ может быть единственным образом представлено в СОК в виде вектора $\{x_1, x_2, \dots, x_k\}$, где $x_i = |X|_{m_i} = X \bmod m_i$ [12].

Динамический диапазон СОК обычно делится на две примерно равные части, таким образом, чтобы примерно половина диапазона представляла положительные числа, а оставшая часть диапазона – отрицательные. Таким образом, любое целое число, удовлетворяющее одному из двух соотношений:

$$-\frac{M-1}{2} \leq X \leq \frac{M-1}{2}, \text{ для нечетных } M,$$

$$-\frac{M}{2} \leq X \leq \frac{M}{2}, \text{ для четных } M,$$

может быть представлено в СОК.

Операции сложения, вычитания и умножения в СОК определяются формулами

$$A \pm B = (|a_1 \pm b_1|_{m_1}, \dots, |a_k \pm b_k|_{m_k}), \quad (5)$$

$$A \times B = (|a_1 \times b_1|_{m_1}, \dots, |a_k \times b_k|_{m_k}). \quad (6)$$

Равенства (5) – (6) показывают параллельную природу СОК, свободную от поразрядных переносов.

Восстановление числа X по остаткам $\{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ основано на Китайской Теореме об Остатках (КТО)

$$X = \left| \sum_{i=0}^k \gamma_i x_i \right|_{m_i} M_i \Big|_M, \quad (7)$$

где $M_i = \frac{M}{m_i}$, $\gamma_i = \left| M_i^{-1} \right|_{m_i}$. Элемент $\left| M_i^{-1} \right|_{m_i}$ означает мультипликативный обратный для M_i по модулю m_i .

Другим методом преобразования числа из СОК в позиционную форму, является переход к обобщенной позиционной системе счисления (ОПСС, MRC) [9]. Число $X < M$ имеет вид $\{x'_1, x'_2, \dots, x'_k\}$, $0 < x'_i \leq m_i$ в обобщенной позиционной системе счисления, если:

$$X = x'_1 + x'_2 m_1 + x'_3 m_1 m_2 + \dots + x'_k \prod_{i=1}^{k-1} m_i, \quad (8)$$

где $x'_i \in [0, m_j)$ цифры числа X в обобщенной позиционной системе счисления,

$$\begin{aligned} x'_1 &= x_1 \bmod m_1 \\ x'_2 &= (x_2 - x'_1) c_{12} \bmod m_2 \\ x'_3 &= ((x_3 - x'_1) c_{13} - x'_2) c_{23} \bmod m_3 \\ &\dots \\ x'_k &= (..((x_k - x'_1) c_{1k} - x'_2) c_{2k} - \dots - x'_{k-1}) c_{k-1,k} \bmod m_k \end{aligned}$$

Константы c_{ij} являются мультипликативными обратными элементами для m_j по модулю m_i для всех $1 \leq i \leq j \leq k$, то есть $c_{ij} \cdot m_j = 1 \bmod m_i$ для $1 \leq i \leq n$, и могут быть вычислены, например, с помощью алгоритма Евклида.

Таким образом, можно выделить два основных преимущества модулярной арифметики:

1. Арифметические операции сложения, вычитания и умножения выполняются с меньшим количеством переносов, в отличие от позиционного представления чисел. На рисунке 2 показана операция сложения двух 8 битных чисел в ПСС и СОК с модулями (5, 7, 8), обеспечивающими диапазон, равный 280, что превышает любое значение 8-битного числа. Нетрудно заметить, что при выполнении сложения в по-

зиционной системе счисления, требуются переносы, которые препятствуют параллельному вычислению и увеличивают время выполнения операции. Кроме того, в отличие от модулярного сложения, в двоичном представлении используется больше разрядов, в том числе и в случае переполнения из-за переносов, что приводит к подаче напряжения на большее количество элементов памяти, что в конечном итоге приводит к повышению энергопотребления, в отличие от представления тех же чисел в СОК.

перенос

1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1	
0	1	1	1	0	0	1	1	
1	0	0	0	0	0	0	1	0

а) б)

$$\begin{array}{r} \begin{array}{r} + \begin{pmatrix} 3, 3, 7 \\ 0, 3, 3 \end{pmatrix} \\ \hline \begin{pmatrix} 3, 6, 2 \end{pmatrix} \end{array} \qquad \begin{array}{r} + \begin{pmatrix} 011, 011, 111 \\ 000, 011, 011 \end{pmatrix} \\ \hline \begin{pmatrix} 011, 110, 010 \end{pmatrix} \end{array} \\ \text{B)} \qquad \qquad \qquad \Gamma) \end{array}$$

Рисунок 2. Операция сложения: а) в десятичной системе; б) двоичной системе счисления; в) системе остаточных классов ; г) двоичное представление остатков.

2. Для каждого значения модуля m_i арифметические операции выполняются с парой соответствующих вычетов параллельно, при этом вычеты имеют гораздо меньшую разрядность, чем исходные операнды X и Y .

Основной проблемой СОК является сложность выполнения операции деления и сравнения двух чисел. Однако, несмотря на указанные недостатки, модулярная арифметика может быть эффективно реализована в приложениях, где основная доля вычислений приходится на операции умножения в сочетании со сложением и вычитанием [11]. Как будет видно далее, фильтрация сигналов является именно таким приложением.

СОК обладает большим потенциалом для улучшения скорости цифровых устройств, благодаря замене операций сложения, вычитания и умножения чисел большой длины, на параллельную обработку остатков гораздо меньшей разрядности [9, 10]. Кроме того, СОК позволяет весьма эффективно проектировать и реализовывать различные цифровые устройства на программируемых логических интегральных схемах (FPGA) и интегральных схемах специального назначения (ASIC) [7].

Применение СОК для фильтрации сигналов позволяет максимально использовать преимущество модулярной арифметики перед ПСС, так как сложение и умножение являются модульными операциями. В то же время фильтрация сама по себе не требует выполнения немодульных операций, о которых было сказано выше. Практически это означает, что недостатки СОК, связанные с медленным выполнением немодульных операций, не замедляют работу фильтров [15, 6]. Принцип обработки сигналов в системе остаточных классов показан на рисунке 2. Поступивший на вход системы сигнал x_i преобразуется в модулярный код (блок ПСС $\rightarrow$ СОК). Далее происходит параллельная обработка сигнала по каждому из модулей. Выходной сигнал y_i получается при помощи обратного преобразования СОК $\rightarrow$ ПСС.

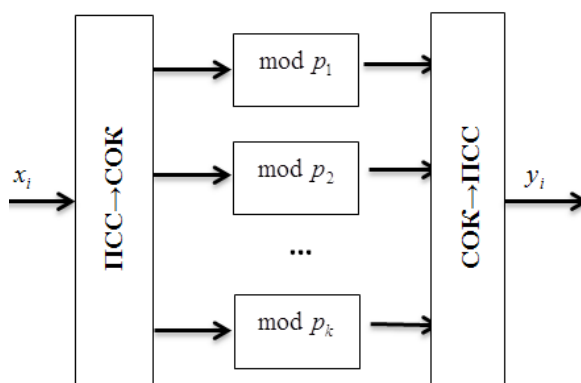


Рисунок 2. Цифровая обработка сигнала в системе остаточных классов.

Результаты и их обсуждения

1. Моделирование цифровых фильтров в системе остаточных классов на программируемых логических интегральных схемах

На рисунке 3 изображена схема вейвлетного фильтра в СОК. Структура фильтра в СОК аналогична структуре фильтра в двоичной системе счисления.

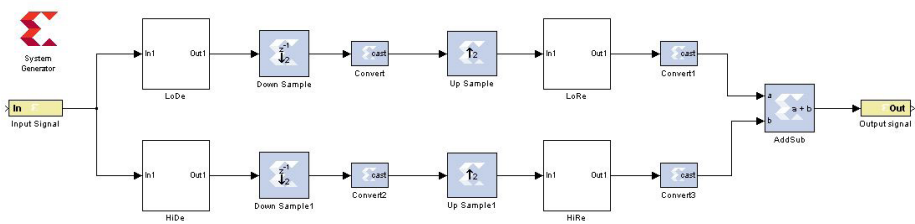


Рисунок 3. **Схема вейвлетного фильтра в СОК в Simulink MATLAB с подключенным Xilinx System Generator.**

Отличительной особенностью вейвлетного фильтра в СОК является наличие блоков преобразования сигналов из СОК в ПСС и из ПСС в СОК, замена сумматоров и умножителей на аналогичные модулярные элементы. Для моделирования использовалась ПЛИС разных моделей.

Сравнение результатов моделирования вейвлетных фильтров в двоичной системе счисления и в системе остаточных классов на ПЛИС разных моделей приведено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение результатов моделирования вейвлет фильтров в двоичной системе счисления и СОК на П....

Модель FPGA	СОК			ПСС		
	Частота, МГц	Задержка, нс	Энергопотребление, Ватт	Частота, МГц	Задержка, нс	Энергопотребление, Ватт
Virtex 7 xc7vx550tl-ffg1927	73.486	13.478	0.180	59.025	17.045	0.237
Artix 7 xc7a200tl-ffg1156	52.780	18.456	0.055	42.394	23.342	0.072
Kintex 7 xc7k70tl-fbg676	57.175	17.691	0.039	45.924	22.37	0.051
Spartan 6 xc6slx9l-cpg196	35.628	27.502	0.018	28.617	34.78	0.024
Zynq xc7z045-ffg900	73.913	13.268	0.141	59.368	16.78	0.186

Сравнение результатов полученных технических характеристик проиллюстрировано на рисунках 4–6.

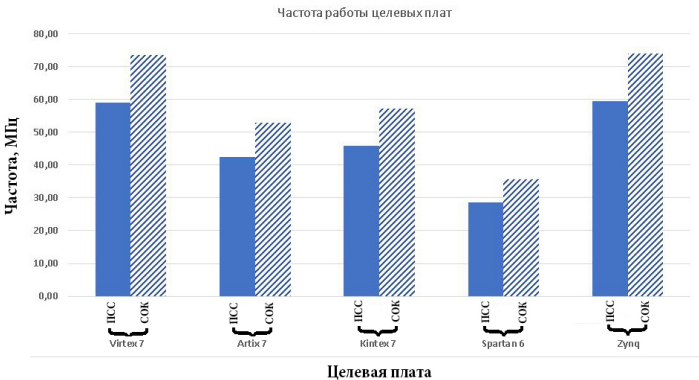


Рисунок 4. Сравнение результатов рабочей частоты вейвлет фильтров в двоичной системе счисления и СОК на FPGA.

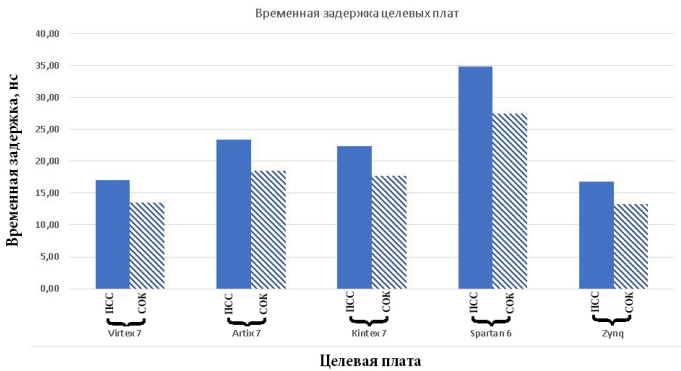


Рисунок 5. Сравнение результатов временной задержки вейвлет фильтров в двоичной системе счисления и СОК на FPGA.

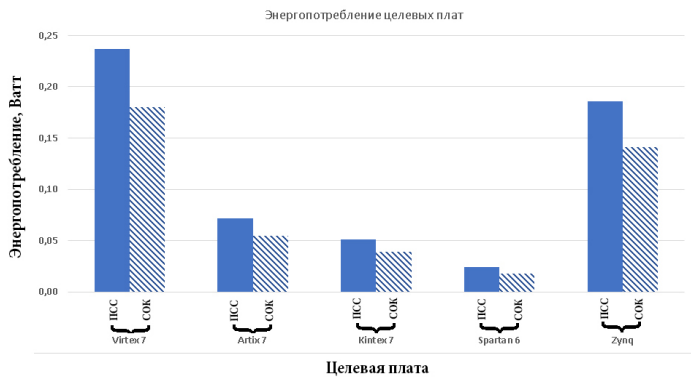


Рисунок 6. Сравнение результатов энергопотребления вейвлет фильтров в двоичной системе счисления и СОК на FPGA.

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что применение СОК для устройств цифровой обработки сигналов позволяет увеличить скорость работы на 21% и снизить энергопотребление на 24%.

Выводы

Применение цифровых фильтров на основе СОК в системах с низким энергопотреблением позволяет повысить скорость работы, уменьшить аппаратные затраты, снизить потребляемую мощность, повысить помехоустойчивость и получать информацию о неисправности. Показано, что применение модулярной арифметики для вейвлетных фильтров позволяет снизить энергопотребление на 24% и повысить скорость работы на 21%. Перспективным направлением для дальнейшего исследования является разработка адаптивных цифровых фильтров с динамическим изменением коэффициентов в СОК.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № 14-07-31004-мол-а.

Литература

1. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов (статистические проблемы обучения) / В.Н. Вапник, А.Я. Червоненкис. М.: Наука, 1974. 415 с.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание / С. Хайкин. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
3. Червяков Н.И. Модулярные параллельные вычислительные структуры нейропроцессорных систем / Н.И. Червяков, П.А. Сахнюк, А. В. Шапошников, С.А. Ряднов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 288 с.
4. Червяков Н.И. Реализация высокоэффективной модулярной цифровой обработки сигналов на основе программируемых логических интегральных схем / Н.И. Червяков // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2006. № 10. С. 24–36.
5. Chervyakov N.I. Digital filtering of images in a residue number system using finite-field wavelets / N.I. Chervyakov, P.A. Lyakhov, M.G. Babenko // Automatic Control and Computer Sciences. 2014. № 3. P. 180–189.
6. Червяков, Н.И. Принцип сжатия изображений на основе дискретного вейвлет-преобразования / Н.И. Червяков, П.А. Ляхов, Д.И. Калита, К.С. Шульженко // Наука. Инновации. Технологии. 2016. №3. С. 97–118.
7. Червяков Н.И. Цифровые фильтры в двухступенчатой системе остаточных классов с модулями специального вида / Н.И. Червяков, П.А. Ляхов, К.С. Шульженко // Наука. Инновации. Технологии. 2014. № 1. С. 41–55.

8. Фомин, Я.А. Распознавание образов: теория и практика. Издание третье, дополненное / Я. А. Фомин. М.: ФАЗИС, 2014. 460 с.
9. Стемповский, А.Л. Особенности реализации устройств цифровой обработки сигналов в интегральном исполнении с применением модулярной арифметики / А.Л. Стемповский, А.И. Корнилов, М.Ю. Семенов // Информационные технологии. 2004. №2. С. 2–9.
10. Shahana, T.K. Performance Analysis of FIR Digital Filter Design: RNS Versus Traditional / T.K. Shahana, R.K. James, B.R. Jose, K.P. Jacob, S. Sasi / ISCIT 2007 International Symposium on Communications and Information Technologies Proceedings. Sidney, 2007. P. 1–5.
11. Omondi, A. Residue Number Systems: Theory and Implementation / A. Omondi, B. Premkumar / Imperial College Press. Singapore, 2007. 296 p.
12. Juxian, M. Based on the fourier transform and the wavelet transformation of the digital image processing / M. Juxian / 2012 International Conference on Computer Science and Information Processing (CSIP). Xian, Shaanxi, 2012. P. 1232–1234.
13. Goh, V.T. Multiple Error Detection and Correction Based on Redundant Residue Number Systems / V.T. Goh, M.U. Siddiqi // IEEE Transactions on Communications. 2008. № 3. Vol. 56. P. 325–330.
14. Goswami, J.C. Fundamentals of Wavelets. Theory, Algorithms, and Applications / J.C. Goswami, A.K. Chan // Wiley. 2011. Vol. 2. 359 p.
15. Taleshmekaeil, D.K. The use of residue number system for improving the digital image processing / D.K. Taleshmekaeil, A. Mousavi / In Proc. of 10th International Conference on Signal Processing. Pecin, 2010. P. 775–780.

References

1. Vapnik V.N., Teoriya raspoznavaniya obrazov (Pattern recognition theory). V. N. Vapnik, A.Ya. Chervonenkis. M.:Nayka, 1974. 415 p.
2. Xaikin C. Neyronnye seti: polnyi kyrs, 2-e izdanie (Neural networks: a comprehensive foundation, 2nd ed.). C. Xaikin. M.: Vil'yams, 2006. 1104 p.
3. Chervyakov N.I. Modylyarnye parallel'nye vychislitel'nye stryctyry neyroprocessornyx system (Modular parallel computing structures of neuroprocessor systems). N.I. Chervyakov, P.A. Saxnuk, A.V. Shaposhnikov, C.A. Ryadnov. M.: FIZMATLIT, 2003. 288 p.
4. Chervyakov N.I. Realizaciya vysokoeffektivnoi modylyarnoy cifrofoy obrabotki signalov na osnove programmiryemyx logicheskix integral'nyx sxem (Implementation of high-efficiency modular digital signal processing based on FPGA). N.I. Chervyakov, Neyrokomp'utery: razrabotka, primenenie. 2006. № 10. P. 24–36.
5. Chervyakov N.I. Digital filtering of images in a residue number system using finite-field wavelets. N.I. Chervyakov, P.A. Lyakhov, M.G. Babenko, Automatic Control and Computer Sciences. 2014. № 3. P. 180–189.

6. Chervyakov N.I. Princip sgatiya izobrazhenii na osnove diskretnogo veivlet-preobrazovaniya (Principle of image compression based on discrete wavelet transform). N.I. Chervyakov, P.A. Lyaxov, D.I. Kalita, K.S. Shul'genko, Nauka. Innovacii. Texnologii. 2016. №3. P. 97–118.
7. Chervyakov N.I. Cifrovii fil'try v dvuxstupenchatoi sisteme ostatochnyx klassov s modulyami special'nogo vida (Digital filters in two-stages residue number system with special moduli). N.I. Chervyakov, P.A. Lyaxov, K.S. Shul'genko, Nauka. Innovacii. Texnologii. 2014. № 1. P. 41–55.
8. Fomin, Y. A. Raspoznavanie obrazov: teoriy i praktika. Izdanie tret'e, dopolnennoe (Pattern recognition: theory and practice, 3rd ed.). Y.A. Fomin. M.: Fazis, 2014. 460 p.
9. Stempkovskii A.L. Osobennosti realizacii ytroystv cifrovoy obrabotki signalov v integral'nom ispolnenii s primeneniem modulyarnoy arifmetiki (Features of implementation of digital signal processing devices in the integrated version with the use of modular arithmetic). A.L. Stempkovskii, A.I. Kornilov, M.U. Semenov, Informacionnye texnologii. 2004. № 2. P. 2–9.
10. Shahana, T.K. Performance Analysis of FIR Digital Filter Design: RNS Versus Traditional. T.K. Shahana, R.K. James, B.R. Jose, K.P. Jacob, S. Sasi, ISCIT 2007 International Symposium on Communications and Information Technologies Proceedings. Sidney, 2007. P. 1–5.
11. Omondi, A. Residue Number Systems: Theory and Implementation. A. Omondi, B. Premkumar, Imperial College Press. Singapore, 2007. 296 p.
12. Juxian, M. Based on the fourier transform and the wavelet transformation of the digital image processing. M. Juxian, 2012 International Conference on Computer Science and Information Processing (CSIP). Xian, Shaanxi, 2012. P. 1232–1234.
13. Goh, V.T. Multiple Error Detection and Correction Based on Redundant Residue Number Systems. V.T. Goh, M.U. Siddiqi, IEEE Transactions on Communications. 2008. № 3. Vol. 56. P. 325 – 330.
14. Goswami, J.C. Fundamentals of Wavelets. Theory, Algorithms, and Applications. J.C. Goswami, A.K. Chan, Wiley. 2011. Vol. 2. 359 p.
15. Taleshmekaeil, D.K. The use of residue number system for improving the digital image processing. D.K. Taleshmekaeil, A. Mousavi, In Proc. of 10th International Conference on Signal Processing. Pecin, 2010. P. 775–780.

УДК 911.3

Антипов С.О. [Antipov S.O.],
Супрунчук И.П. [Suprunchuk I.P.]

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ ГОРНОЛЫЖНЫХ КУРОРТОВ РОССИИ

Gis analysis of the transport accessibility of ski resorts in Russia

На основе ГИС-технологий проведен анализ транспортной доступности десяти самых посещаемых горнолыжных курортов России: Шерегеш, Красная Поляна, Сочраны, Домбай, Игора, Бобровый лог, Приэльбрусье, Солнечная долина, Свияжские холмы, Архыз. Для каждого курорта построены зоны транспортной доступности: от одного до пяти часов. Проведен анализ численности населения, проживающего в каждой из зон транспортной доступности. Выведена формула потенциала туристского спроса, которая учитывает показатель времени в пути на автомобиле до горнолыжных курортов. На основе полученной формулы проанализирован потенциал туристского спроса и выделены три группы горнолыжных курортов: с высоким, средним и низким показателем спроса. Определены проблемы и выделены наиболее перспективные территории для развития горнолыжного туризма.

On the basis of GIS technologies, the transport accessibility of the ten most visited ski resorts in Russia was analyzed: Sheregesh, Krasnaya Polyana, Sorochany, Dombai, Igor, Bobrov Log, Elbrus, Solar Valley, Sviyazhsky Hills, Arkhyz. For each resort built transport access zones: from one to five hours. The analysis of population size of transport accessibility living in each of the zones is carried out. The formula of the potential of tourist demand is derived, which takes into account the time index in the way by car to the ski resorts. Based on the received formula, the potential of tourist demand was analyzed and three groups of ski resorts were identified: c high, medium and low demand. Problems are identified and the most promising areas for the development of ski tourism are identified.

Ключевые слова: транспортная доступность, горнолыжные курорты, туристический спрос, геоинформационные технологии в туризме.

Key words: transport accessibility, ski resorts, travel demand, GIS technology in tourism.

Введение

В России активно развивается горнолыжный туризм. По данным Национального туристического портала построен 181 горнолыжный комплекс [6]. На создание и улучшение инфраструктуры, до конца 2018 г. в Федеральной целевой программе «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2011–2018 гг.)» предусмотрено субсидирование горнолыжных комплексов в размере 24 675 млн рублей.

Однако, одним из главных препятствий развития туристских кластеров является проблема транспортной составляющей [1]. При размещении туристских комплексов не достаточно учитывается транспортная доступность и туристский спрос. В результате, затраты на перевозку туристов достигают 70% от себестоимости турпродукта [5]. По мнению П.Н. Якунина: «изучение транспортной доступности должно являться неотъемлемой частью комплексной оценки туристско-рекреационного потенциала территории наряду с оценкой географических, климатических, экологических, социально-экономических факторов» [4].

Существует множество показателей характеризующих транспортную доступность территорий: наличие железнодорожных вокзалов и аэропортов, протяженность автомобильных дорог, плотность и густота дорожной сети. Кроме перечисленных показателей, необходимо учитывать стоимость и время поездки от места проживания до места отдыха.

Материалы и методы исследований

На основе рейтинга аналитического агентства «ТурСтат» мы выбрали десять самых посещаемых горнолыжных курортов России (табл. 1) [7]. Отметим, что в рейтинге не учитывались горнолыжные комплексы г. Москвы.

Геоинформационный анализ проводился в системе ArcGIS Pro версии 2.0. Для построения зон транспортной доступности использовался модуль ArcGIS Network Analyst, инструмент «Service area». В качестве импеданса сети было выбрано время в пути на автомобиле (Driving Time).

Допустимые затраты времени определены для внутрирегионального туризма. По мнению Ступиной Н.М. они не должны превышать 5 часов на автотранспорте в один конец, если продолжительность отдыха составляет два дня [3].

Расчет численности населения, проживающего в зонах транспортной доступности, проводился с помощью инструмента «Summarize Within» и данных переписи населения РФ (рис. 1).

Для расчета показателя потенциала спроса использована формула:

$$P_j = A/R^2$$

где R – среднее расстояние,
 A – численность населения проживающего в зоне транспортной доступности [2].

Таблица 1. ПОСЕЩАЕМОСТЬ ГОРНОЛЫЖНЫХ КУРОРТОВ РОССИИ

Название курорта	Регион	Количество туристов
Шерегеш	Кемеровская область	1 млн
Красная Поляна	Краснодарский край	1 млн 200 тыс.
Сорочаны	Московская область	500 тыс.
Домбай	Карачаево-Черкесская Республика	400 тыс.
Игора	Ленинградская область	400 тыс.
Бобровый лог	Красноярск	300 тыс.
Приэльбрусье	Кабардино-Балкарская Республика	250 тыс.
Солнечная долина	Челябинская область	200 тыс.
Свияжские холмы	Республика Татарстан	200 тыс.
Архыз	Карачаево-Черкесская Республика	170 тыс.

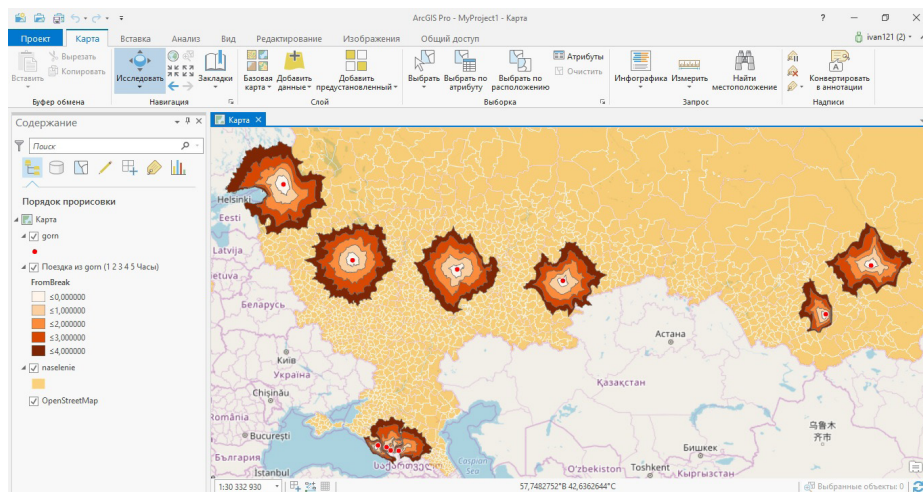


Рис. 1. Построение зон транспортной доступности и расчет численности населения в ArcGIS Pro.

Исходя из того, что горные и равнинные дороги имеют разный скоростной режим, переменная среднего расстояния была заменена на среднее время в пути. В итоге была получена формула:

$$P_j = A/T^2$$

где Т – среднее время в пути,
А – численность населения проживающего в зоне транспортной доступности.

Показатель потенциала туристского спроса показывает, что взаимодействие между населенным пунктом и курортом прямо пропорционально численности населения и обратно пропорционально расстоянию между ними. Чем ближе к городу находится место отдыха, тем выше в нем потенциал и тем сильнее притягиваются в него отдыхающие [2]. Некоторая минимальная величина потенциала спроса может рассматриваться как ограничивающий фактор роста и функционирования туристического центра.

Результаты исследований и их обсуждение

По абсолютной численности населения, проживающего в зоне пятичасовой автомобильной транспортной доступности, лидируют Сорочаны (26 567 тыс. человек), Игора (8 378 тыс. человек), Свияжские холмы

Таблица 2. ЧИСЛЕННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В ЗОНАХ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ ГОРНОЛЫЖНЫХ КУРОРТОВ, ТЫС. ЧЕЛОВЕК

Горнолыжный курорт	Зоны транспортной доступности					
	1 час	2 часа	3 часа	4 часа	5 часов	Всего
Бобровый лог	1160,106	290,597	293,273	289,357	278,118	2311,451
Шерегеш	40,425	11,056	624,666	528,24	291,733	1496,12
Приэльбрусье	46,1	216,8	841,5	1455,6	1296,2	3856,2
Домбай	16,5	54	278	836,3	2927,9	4112,7
Красная Поляна	99,3	386,9	187	190,5	181,9	1045,6
Игора	1445,33	5573,915	606,176	456,833	296,124	8378,378
Архыз	22,8	129,2	523,5	1372,6	2396,8	4444,9
Сорочаны	1288,762	15215,38	3293,368	3501,623	3267,997	26567,13
Свияжские холмы	1186,465	705,382	2248,58	997,407	2052,055	7189,889
Солнечная долина	306,265	271,964	1849,516	723,334	4031,808	7182,887

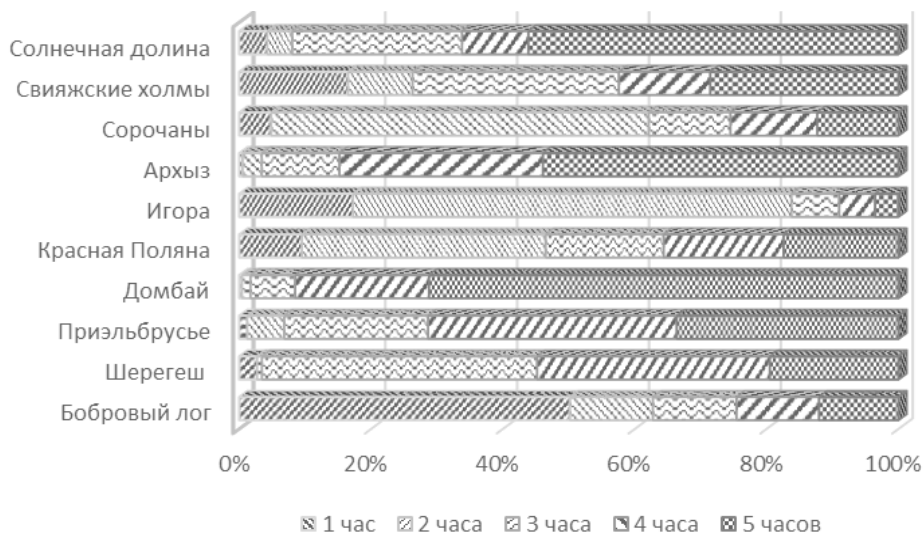


Рис. 2. Доля населения, проживающая в зонах транспортной доступности горнолыжных курортов.

(7 189 тыс. человек) и Солнечная долина (7 182 тыс. человек). Меньше всего людей проживает в зонах доступности горнолыжных курортов Красная Поляна и Шерегеш – 1 045 тыс. и 1 496 тыс. человек соответственно (табл. 2).

В среднем 41,9% населения проживает в крупных городах, которые расположены в пятичасовой зоне доступности от горнолыжных курортов: Сорочаны (Москва), Бобровый лог (Красноярск), Шерегеш (Новокузнецк, Кемерово), Свияжские холмы (Казань, Ульяновск, Набережные Челны, Чебоксары), Солнечная долина (Уфа, Челябинск, Екатеринбург, Магнитогорск) Красная Поляна (Сочи, Туапсе).

В одночасовой зоне транспортной доступности проживает меньше всего населения – 4,5%. Минимальные показатели в этой зоне у Домбая (0,4%) и Архыза (0,5%). Исключение составляет Бобровый лог (50,1%), который расположен в границах г. Красноярска (рис. 2).

Самая дальняя зона – пятичасовой транспортной доступности. В ней проживает 24,0% от общей численности населения. На фоне всех курортов выделяется Домбай (71,1%), Солнечная долина (56,1%) и Архыз (53,9%). Фактически, их внутрирегиональный спрос ограничен и развитие возможно только за счет привлечения туристов из других регионов страны.

В зависимости от показателя потенциала туристского спроса горнолыжные курорты можно разделить на три группы: с высоким, средним и низким показателем спроса (табл. 3).

Таблица 3. ГРУППЫ ГОРНОЛЫЖНЫХ КУРОРТОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ПОТЕНЦИАЛА ТУРИСТСКОГО СПРОСА

Потенциал туристского спроса	Горнолыжные Курорты	Показатель потенциала туристского спроса
Высокий	Сорочаны	11,3
	Игора	5,4
Средний	Свияжские холмы	3,0
	Бобровый лог	2,2
	Солнечная долина	1,3
Низкий	Шерегеш	0,3
	Домбай	0,3
	Красная Поляна	0,4
	Архыз	0,5
	Приэльбрусье	0,6

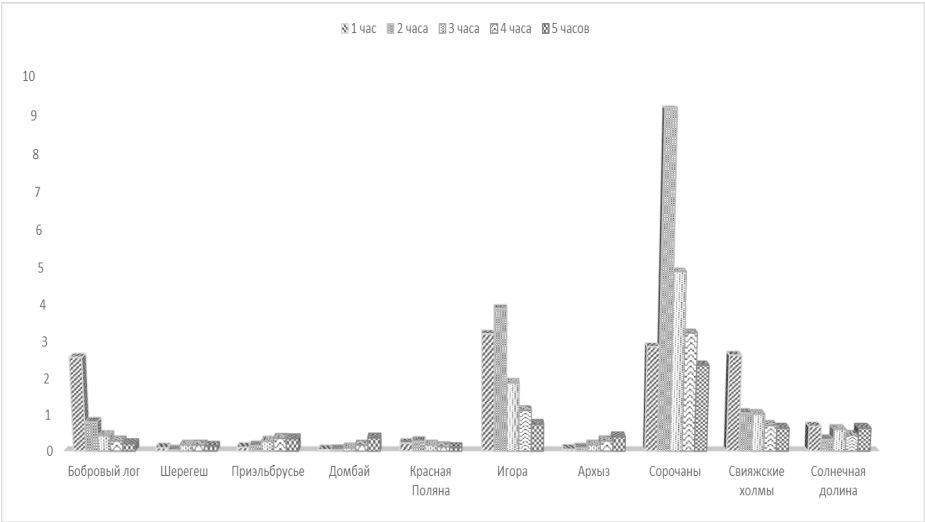


Рис. 3. Показатель потенциала спроса горнолыжных курортов по зонам транспортной доступности.

Высоким потенциалом спроса обладают курорты, расположенные вблизи городов федерального значения – Москвы и Санкт-Петербурга. Их показатель спроса составляет 11,3 и 5,4 соответственно.

Вторую группу, со средним показателем потенциала спроса, образуют курорты, расположенные вблизи городов-миллионеров: Свияжские холмы (3,0), Бобровый лог (2,2), Солнечная долина (1,3).

В группу с низким показателем потенциала спроса попали следующие курорты: Шерегеш (0,3), Приэльбрусье (0,6), Красная Поляна (0,4), Домбай (0,3), Архыз (0,5).

По всем зонам транспортной доступности высокий показатель спроса фиксируется у горнолыжных курортов Сорочаны, Игора и Свияжские холмы, низкий у Северокавказских курортов (Домбай, Архыз, Красная Поляна) и Шерегеш (рис. 3).

Выводы

Геоинформационный анализ транспортной доступности и потенциала спроса представляется перспективным направлением в туризме, особенно в условиях дефицита статистической информации.

Население, проживающее в пятичасовой зоне транспортной доступности, не составляет основной туристический поток на курорты. Это подтверждает сравнение статистики посещений горнолыжных курортов России с показателем потенциала спроса, полученного в ходе исследования. Сорочаны, к примеру, обладают самым высоким показателем потенциала спроса, но по количеству посещений уступают курортам Шерегеш и Красной Поляне.

На наш взгляд, большую часть туристского потока привлекают другие факторы: имидж курорта, затраты на дорогу, наличие транспортных узлов, разнообразие туристско-рекреационных занятий.

Библиографический список

1. Гуриева Л.К., Созиева З.И. Туристский кластер региона: проблемы и перспективы создания // Региональная экономика: теория и практика. 2009. № 22. С. 72–80.
2. Преображенский В.С. Территориальная организация отдыха населения Москвы и Московской области. М.: Наука, 1986.
3. Ступина Н.М. Примеры методик изучения отдельных свойств // Теоретические основы рекреационной географии. 1975. С. 90–101.
4. Якунин П.Н. Оценивание транспортной доступности для целей организации предпринимательской деятельности по доставке туристов в удаленные дестинации // Вестник ЛГУ им. А. С. Пушкина. 2011. № 4. С. 160–170.
5. Заседание президиума Государственного совета // Kremlin.ru URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/50138> (дата обращения: 11.08.2017).
6. Национальный туристический портал // Russia.travel URL:

https://russia.travel/guide/?group=roster_active&types=26 (дата обращения: 11.08.2017).

7. Рейтинг горнолыжных курортов России 2018 // ТурСтат URL: <http://turstat.com/bestskiresortrussia2018> (дата обращения: 11.08.2017).

References

1. Gurieva L.K., Sozieva Z.I. Turistskiy klaster regiona: problemy i perspektivy sozdaniya (Tourist cluster of the region: problems and prospects of creating) // Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika. 2009. № 22. С. 72–80.
2. Preobrazhenskiy V.S. Territorial'naya organizatsiya otdykha naseleniya Moskvy i Moskovskoy oblasti (The territorial organization of the rest of the population of Moscow and Moscow region). М.: Nauka, 1986.
3. Stupina N.M. Examples of methods of studying the individual properties (Examples of methods of studying the individual properties) // Theoretical foundations of recreational geography. 1975. С. 90-101.
4. Yakunin P.N. Otsenivanie transportnoy dostupnosti dlya tseley organizatsii predprinimatel'skoy deyatel'nosti po dostavke turistov v udalennye destinatsii (Evaluation of transport accessibility for the purpose of organizing business activities for sending tourists to remote destinations) // Vestnik LGU im. A. S. Pushkina. 2011. № 4. С. 160-170.
5. Zasedanie prezidiuma Gosudarstvennogo soveta (A meeting of the Presidium of the State Council) // Kremlin.ru URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/50138> (data obrashcheniya: 11.08.2017).
6. Natsional'nyy turisticheskiy portal (The national tourist portal) // Russia.travel URL: https://russia.travel/guide/?group=roster_active&types=26 (data obrashcheniya: 11.08.2017).
7. Reyting gornolyzhnykh kurortov Rossii 2018 (A ranking of ski resorts in Russia 2018) // TurStat URL: <http://turstat.com/bestskiresortrussia2018> (data obrashcheniya: 11.08.2017).

УДК 911.3+323.11

Амбурцев Р.А. [Amburtsev R.A.],
Хрущев С.А. [Khrushchev S.A.]

ЭТНОПОЛИТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ДАГЕСТАНА

Ethnopolitic problems of modern Dagestan

Многонациональный состав населения Дагестана объективно обуславливает необходимость проведения действенной государственной национальной политики. В политической сфере это привело к созданию системы негласной иерархии этносов в органах государственной власти, которая в современных условиях требует своей модернизации. До сих пор открытым остаётся вопрос о реальном, а не формальном выделении коренных малочисленных этносов Дагестана. Важной проблемой является наличие разделённых этносов государственной границей с Азербайджаном. При росте доли автохтонных этносов в населении Дагестана происходит усиление их миграционного оттока за пределы Республики. Массовый миграционный отток и депопуляция русского населения привели к практической ликвидации некогда представительно русской общины в Дагестане.

The multinational structure of the population of Dagestan objectively causes need to lead effective state national policy. In the political sphere it has led to creation of system of informal ethnic hierarchy in public authorities which in modern conditions demands its modernization. Still open is a question of real, but not formal allocation Dagestan's autochthonous minorities. Important problem is presence of the divided ethnoses by frontier with Azerbaijan. With a growth of a share of autochthonous ethnoses in the population of Dagestan there is strengthening of their migratory outflow from Republic. Mass migratory outflow and depopulation of the Russian population have led to practical elimination of once representatively Russian community in Dagestan.

Ключевые слова: Республика Дагестан, этническая география, этническая политика, автохтонные этносы Дагестана, коренные малочисленные этносы Дагестана.

Key words: Republic of Dagestan, ethnic geography, ethnic policy, Dagestan's autochthonous ethnoses, Dagestan's autochthonous minorities.

20 января 2016 года исполнилось 95 лет Дагестанской АССР/Дагестанской ССР/Республики Дагестан (РД) в составе РСФСР/РФ. На момент своего создания Дагестан был уже не первым национально-территориальным образованием в составе РСФСР, имеющим многонациональный состав и названный по географическому, а не этническому принципу¹. После выхода Туркестана из состава РСФСР в 1924 году и реорганизации в 1945 году Крымской АССР в область Дагестан до 18.3.2014 года был единственным национально-территориальным образованием², название которого не со-

1 Первым таким образованием была Туркестанская АССР, существовавшая с 30.4.1918 по 24.10.1924. Через 10 месяцев, после образования Дагестана на карте РСФСР появился ещё один национально-территориальный субъект, названный по географическому принципу – Крымская АССР (18.10.1921). Республика Крым была восстановлена в составе РФ 18.3.2014 года.

2 В 1930-х гг. в составе РСФСР было два национальных округа с географическими, а не титульными названиями – Аргаяшский (1934 г., титульный этнос – башкиры) и Витимо-Олёкминский (1930-1938 гг., титульный этнос – эвенки), но они не были административно-территориальными единицами первого порядка.

держит титульного этнонима (либо двух этнонимов), что, конечно, связано с его «уникальностью этнического состава населения» [11, ст. 1]. Следует отметить, что полиэтничность Дагестана не есть результат статистики³, а обусловлена его разнообразными природно-географическими условиями, географическим положением и историческим развитием, что сделало его пространство месторазвитием (кормящим ландшафтом) для различных этносов. Таким образом, уникальность этнического состава Дагестана состоит в наличии большого количества автохтонных этносов, у которых с его пространством неразрывно связаны их этногенез, этническая история, традиционная хозяйственная деятельность, культурные традиции и межэтнические отношения. Многочисленность автохтонных этносов является не только имманентной чертой Дагестана, но и обуславливает наличие ряда этнополитических и этногеографических проблем, требующих либо своего решения, либо учёта при проведении социально-экономической и региональной политики. Выделим наиболее значимые из них.

1. Какие этносы являются автохтонными для Дагестана.

Ответ на этот вопрос в советское время имел практическое этнополитическое значение, ибо автохтонный этнос – это титульный этнос, который соответственно должен быть представлен в органах партийной, советской, исполнительной и судебной власти. При этом ещё задолго до изобретения на западе позитивной дискриминации, в советских национально-территориальных образованиях в рамках «коренизации» советского и партийного аппарата принадлежность к титульному этносу давала негласные, но неоспоримые преимущества не только в номенклатурной карьере, но и во всех сферах общественной жизни. В постсоветское время титульный дискурс не исчез, а трансформировался в проблему представительства в выборных органах власти, влияния этнических элит на принятие решений, развитие предпринимательства и т.д.

Формально на законодательном уровне этот вопрос в Дагестане был решён 16 лет назад Постановлением № 191 от 18.10.2000 года Государственного совета РД «Об особенностях применения Федерального закона «О гарантиях прав коренных малочисленных народов Российской Федерации» в Республике Дагестан». В нём было определено 14 коренных (автохтонных) для Дагестана этносов: аварцы, агулы, азербайджанцы, даргинцы, кумыки, лакцы, лезгины, таты, табасаранцы, ногайцы, рутульцы, русские, цахуры, чеченцы-акинцы [17, ст. 1]. Оставив пока за скобками тезис «о малочисленности» перечисленных этносов, отметим, что цифра 14 здесь не случайна и генетически связана с практикой избрания Конституционного Собрания и формирования Государственного Совета РД. Однако, ни в Законе РД «О Конституционном Собрании» от 10.6.1994 года, ни в Законе РД «О Государственном Совете РД» от 16.8.1994 года нет перечисления коренных народов Дагестана,

а есть лишь замечание, что в состав Государственного Совета из 14 человек «не может входить более одного представителя одной и той же национальности» [12, ст. 2].

Не вступая в полемику с авторами Постановления № 191, насколько коренными для Дагестана являются русские, азербайджанцы и таты, в данной статье к автохтонным этносам Дагестана отнесены:

- Аварский кластер – аварцы, 13 андо-цезских этносов (андийцы, ахвахцы, багулалы, ботлихцы, годоберинцы, каратины, тиндалы, чамалалы, цезы (дидойцы), бежтины, гунзевцы, гинухцы, хваршины) и арчинцы;
- Даргинский кластер – даргинцы и два их субэтноса (кубачинцы и кайтагцы);
- Лезгинский кластер – лезгины, табасараны, агулы, рутульцы, цахуры;
- Лакцы;
- Тюркский кластер – кумыки, ногойцы.

Итого 24 этноса и 2 субэтноса общей численностью 2543,6 тыс. человек или 87,4% всего населения Дагестана⁴.

Вывод. Тривиальный для большинства национально-территориальных субъектов РФ вопрос в условиях Дагестана требует более чёткого и обоснованного решения, особенно это касается реальных (а не по Постановлению № 191) коренных малочисленных этносов.

2. Негласная иерархия этнических элит в представительных органах и органах государственной власти Дагестана.

В советское время при «коренизации» партийного, советского и государственного аппарата сложилась негласная иерархия среди автохтонных этносов Дагестана в представительстве высших руководящих органов Республики, которая только до 1948 года нарушалась представителями других этносов (табл. 1).

В первые десять лет существования Республики партийное руководство было не только интернациональным, но и быстросменяемым, поэтому фактически высшим руководителем Дагестана в 1921-1931 гг. был выдающийся политический деятель Председатель СНК ДАССР кумык Джелал-Эд-Дин Асельдерович Коркмасов (1887-1937). В 1930-е гг. и особенно в воен-

3 Фиксируя при проведении переписи почти 200 этносов и субэтносов, отечественная этнодемографическая статистика формально делает многонациональными почти все субъекты РФ.

4 Рассчитано по данным ВПН 2010 года [5]. По данным федерального статистического наблюдения «Социально-демографическое обследование (микроперепись населения) 2015 года» (далее – микроперепись-2015) доля автохтонных этносов достигла 90,3% (рассчитано по [20]).

Таблица 1. ЭТНИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУКОВОДСТВА ДАГЕСТАНА В 1921-2017 ГГ.*

Годы	1	2	3
1921-1922	азербайджанец	кумык	лезгин
1922-1923	азербайджанец	кумык	даргинец
1923-1924	русский	кумык	даргинец
1924	осетин	кумык	лезгин
1924-1927	даргинец	кумык	лезгин
1927-1928	еврей	кумык	армянин
1928-1931	русский	кумык	даргинец
1931	еврей	кумык	даргинец
1932-1934	еврей	азербайджанец	даргинец
1934-1937	лезгин	азербайджанец	даргинец
1937-1939	русский	даргинец	кумык
1939-1940	еврей	даргинец	кумык
1940-1942	еврей	аварец	кумык
1942-1948	азербайджанец	аварец	кумык
1948-1951	аварец	лезгин	кумык
1951-1967	аварец	даргинец	кумык
1967-1978	даргинец	кумык	аварец
1978-1983	даргинец	аварец	кумык
1983-1987	аварец	даргинец	кумык
1987-1991	аварец	кумык	даргинец
1991-1994	даргинец	кумык	см. № 1
1994-2006	даргинец	кумык	аварец
2006-2010	аварец	кумык	даргинец
2010-2013	даргинец	аварец	кумык
2013-	аварец	даргинец	кумык

1 – Глава Республики (с 1921 по 1991 год – первый секретарь Дагестанского обкома РКП(б) / ВКП(б) / КПСС; 1991-1994 гг. – Председатель Верховного Совета ДАССР-РД; 26.7.1994-20.2.2006 – Председатель Государственного совета РД; 20.2.2006-31.12.2013 – Президент РД; с 1.1.2014 г. – Глава РД).

2 – Глава Правительства (1921-1948 гг. – Председатель СНК ДАССР; 1948-1994 гг. – Председатель Совета министров ДАССР/ДССР/РД; с 26.7.1994 г. – Председатель Правительства РД).

3 – Глава Парламента (1921-1938 гг. – Председатель ДагЦИКа; 1938-1990 гг. – Председатель Президиума Верховного Совета ДАССР; 24.4.1990-24.2.1995 – Председатель Верховного Совета ДАССР/ДССР/РД; с 18.4.1995 – Председатель народного собрания РД).

* Составлено по [4, 7, 19, 21].

ные годы, когда обком ВКП(б) Дагестана возглавил азербайджанец А.М. Алиев (дед по материнской линии нынешнего Президента Азербайджана), вертикаль власти в Дагестане оформилась окончательно.

С 3 декабря 1948 года, когда на посту Первого секретаря Дагестанского обкома ВКП(б) А.М. Азизова сменил аварец А.Д. Даниялов в высшем руководстве Республики находятся только представители автохтонных этносов Дагестана. С сентября 1951 года, когда пост Председателя Совета Министров ДАССР оставил лезгин С.М. Айдинбеков, на протяжении 66 лет высшее руководство Республики представлено этнической триадой – аварцы, даргинцы, кумыки. За 1951-2016 гг. высший руководящий пост в Республике даргинцы занимали 34 года, а аварцы – 31. С одной стороны, это формально отражает этническую структуру населения Дагестана, где эти этносы занимают первые три строчки по численности. Однако если взять весь лезгинский кластер, то он по численности⁵ будет существенно превосходить и даргинцев, и кумыков вместе с ногайцами. Но в современной негласной системе этнического квотирования кадров Дагестана лезгины занимают лишь четвёртый пост в иерархии руководящих должностей – Первого заместителя Председателя правительства РД. Устойчивость сложившейся в РД иерархии этнических элит в представительных органах и органах государственной власти ярко иллюстрирует тот факт, что для назначения в 2016 году аварца Р.М. Алиева (видимо необходимого по своим деловым качествам) на пост Первого заместителя Председателя правительства РД [16], Главе РД необходимо было сначала изменить структуру исполнительных органов власти Республики, введя ещё одну должность Первого заместителя Председателя правительства [10], чтобы лезгин А.Ш. Карибов остался при должности по этнической квоте.

Выводы. Негласное квотирование высших должностных постов по этническому признаку в РД является своеобразным, ещё одним дополнительным и пока действенным инструментарием сдержек и противовесов не только среди ветвей власти, но между властными притязаниями этнических элит. Учитывая многочисленность лезгинского кластера в самой РД, наличие автохтонного ареала расселения этносов этого кластера в Азербайджане, где проживает 226 тыс. лезгин, рутульцев и цахуров⁶, а также его обширную диаспору за пределами Дагестана в РФ и на постсоветском пространстве, делает всё более необходимым постепенное трансформирование этнической триады в квартет.

5 610,2 тысяч человек или 24% от численности всех автохтонных этносов РД. Рассчитано по данным переписи 2010 года [5].

6 Оценка на начало 2016 года.

3. Проблемы институционализации малочисленных автохтонных этносов Дагестана

Среди почти ста автохтонных этносов России, для которых её пространство является их этнической родиной и месторазвитием, всегда особое место занимали малочисленные коренные (автохтонные) народы. Ещё задолго до появлений Конвенций МОТ № 107 и № 169⁷ в двадцатые годы прошлого века в РСФСР были разработаны правовые основы проведения государственной политики по отношению к народам Севера и законодательно были выделены 26 малочисленных северных этносов [18, ст. 1].

Уже в постсоветский период был принят специальный федеральный закон о коренных малочисленных народах России (далее – КМН), определяющий не только правовые гарантии, но и значительно расширивший их географию и номенклатуру на основе чётко сформулированных принципов выделения [11, ст. 1]:

- проживание на территориях традиционного расселения своих предков;
- сохранение традиционного образа жизни, хозяйствования и промыслов;
- численность в РФ менее 50 тысяч человек;
- осознание себя самостоятельными этническими общностями.

По представлению органов государственной власти субъектов РФ, на территориях которых проживают этносы, соответствующие этим признакам, в номенклатуру КМН вошли не только уже до этого законодательно выделяемые все малочисленные северные народы, но и этносы Северо-Запада, Среднего Поволжья, Южного Урала и Северного Кавказа. Для Республики Дагестан, «учитывая уникальность этнического состава населения по числу проживающих на её территории народов», федеральным законом (ФЗ-82) в статье 1 было специально определено, что «Государственный Совет Республики Дагестан определяет количественные и иные особенности её коренных малочисленных народов, а также устанавливает перечень этих народов с последующим включением его в Единый перечень коренных малочисленных народов Российской Федерации» [11, ст. 1]. В результате, как уже указывалось выше, появилось Постановление № 191 от 18.10.2000 года Государственного совета РД, в котором законодательно были определены 14 коренных малочисленных народов Республики Дагестан [17, ст. 1]. При этом анализ Постановления № 191 показывает:

1) Постановление не «определяет количественные и иные особенности её коренных малочисленных народов», что требует ФЗ-82 от руководства Дагестана. Косвенно в литературных источниках указывается, что принци-

пом выделения являлось лишь «наличие официальной письменности на соответствующих языках» [10]. В рамках данного подхода в 1926 году ВЦИК и СНК РСФСР не выделил бы ни одного малочисленного северного этноса. В результате, например, младописьменные ороки входят в номенклатуру КМН РФ, а андийцы, дидойцы и все другие андо-цезские этносы – нет.

2) В Постановлении смешаны понятия «коренные малочисленные народы» и «этнические меньшинства». В результате в список попали этносы:

- автохтонные для РФ, но демографически не малочисленные – русские;
- не автохтонные для РФ и не малочисленные (азербайджанцы);
- не автохтонные для РФ, но малочисленные (таты).

3) Так как по Постановлению Правительства РФ от 28 марта 2001 г. № 236 перечень коренных малочисленных народов Республики Дагестан является частью Единого перечня коренных малочисленных народов РФ [13], то Единый перечень de-jure включает не 47, а 61 этнос, из которых 11 не соответствуют (либо качественно, либо количественно) принципам их выделения согласно ФЗ-82.

Всё это делает неприменимой имплементацию Постановления № 191 для включения КМН Дагестана в «Единый перечень коренных малочисленных народов Российской Федерации»⁸, а также косвенно содержит ирредентистский потенциал для геополитического проекта «Большой Азербайджан».

Выводы. Постановление № 191 не отражает фактической этнодемографической и этнополитической ситуации в РД, фактически блокирует включение в «Единый перечень коренных малочисленных народов Российской Федерации» почти два десятка этносов Дагестана, соответствующих критериям КМН РФ (агулы, рутульцы, цахуры, 13 андо-цезских этносов и арчинцы⁹). В связи с этим неотлагательно необходимо провести обновление содержательной части Постановления № 191, убрав из него устаревшие этнополи-

7 Соответственно «О защите и интеграции коренного и другого населения, ведущего племенной и полуплеменной образ жизни, в независимых странах» от 26.6.1957 года и «О коренных народах и народах, ведущих племенной образ жизни в независимых странах» от 27.6.1989 года.

8 В статье С.М. Шапиева [22] говорится, что «данное решение после многочисленных консультаций и обсуждений, в том числе и на уровне Президента Российской Федерации, было поддержано Правительством Российской Федерации». Но Правительство РФ уже пять раз после выхода Постановления № 191 модифицировало Единый перечень КМН РФ, но так и не включило в него не только русских, аварцев, азербайджанцев, но и агулов, рутульцев и цахуров, которые de-facto полностью соответствуют положениям ФЗ-82.

9 Вопрос о включении в «Единый перечень...» чеченцев-аккинцев Терско-Сулакского междуречья Дагестана (116 человек по переписи 2002 года и 15 человек по переписи 2010 года) требует дальнейшего специального этногеографического изучения и этнополитической оценки.

тические принципы, что, с одной стороны, даст возможность КМН Дагестана из de-facto стать de-jure, а с другой – станет действенным механизмом по гармонизации межнациональных отношений и элиминирует локальные межэтнические напряжения в аварском и лезгинском кластерах.

4. Разделённые автохтонные этносы Дагестана (лезгинский и аварский кластеры).

Проблемы разделённых автохтонных этносов Дагестана находятся в сфере национальной политики Республики. На заседании Изборского клуба в Махачкале в октябре 2013 года Первый заместитель министра по национальной политике РД З.З. Ильясов отметил: «У нас есть проблема разделённых народов: это лезгины, аварцы, цахуры, которые оказались по ту сторону государственной границы» [8, с. 2]. Несовпадение этнических и политических границ при превалировании барьерных, а не контактных функций государственных границ, создаёт не только гуманитарные проблемы, но и приводит к возникновению ирредентистских тенденций. Кроме того, у разделённых этносов возникает возможность сравнения уровня социально-экономического и этнокультурного развития по другую сторону границы¹⁰.

Этнополитическая ситуация у всех трёх указанных З.З. Ильясовым этносов, разделённых государственной границей РФ и Азербайджана, имеет существенные различия.

1. Доля проживающих в автохтонных ареалах на территории Азербайджана¹¹ относительно РД у аварцев составляет 6,2%; лезгин – 46,8% и цахуров – 125,9%, т.е. большая часть этого народа проживает в Азербайджане.
2. В Кусарском районе лезгины составляют абсолютное большинство населения (90,6%); доля аварцев в Балаканском и Загатальском районах превышает 1/4, тогда как доля цахуров в Загатальском районе из-за их абсолютной малочисленности составляет всего 9,5%.
3. Аварский кластер, представлен только аварцами, а андоцезские народы в Азербайджане практически не проживают.
4. Лезгинский кластер представлен не только лезгинами (191 тыс. человек по оценке на начало 2016 года, т.е. это второй по численности этнос в Азербайджане) и цахурами (18 тыс. человек), но и не имеющими автохтонных ареалов проживания в РД крызами (4,4 тыс. человек), удинами (4,0 тыс. человек) и будухами (1,1 тыс. человек). Кроме того, в Азербайджане (Шекинский и Кахский районы) проживает значительная часть рутульцев (по оценкам – 17 тыс. человек

или 55% от их населения в Дагестане), что, правда, не фиксируется азербайджанскими переписями населения [23, р. 54] и соответственно остаётся за пределами внимания властей РД.

5. Этнополитическое положение лезгин в Азербайджане обуславливает их устойчивую эмиграцию, прежде всего в Дагестан. Так за 1997-2007 гг. в горной зоне Северного Кавказа по иммиграционному приросту лезгины уступали среди кавказских этносов только осетинам [2, с. 83].

Выводы. Лезгины не только количественно выделяются на фоне других меньшинств Азербайджана, но и de-jure обоснованно могут претендовать на особое положение и в этногеографическом аспекте, составляя большинство населения в Кусарском районе¹². Пока у официальных властей Азербайджана нет даже проекта национально-культурной автономии лезгин, не говоря уже о создании автономии территориальной. Такое положение лишь усиливает осознание национального ущемления по обе стороны реки Самур. Расположение автохтонного ареала расселения лезгин, где они численно преобладают, на стратегическом транспортном коридоре между РФ и Азербайджаном делает лезгинский фактор важной составляющей в реализации интересов России в регионе.

Что касается рутульцев, проживающих Азербайджана, то их пример наглядно иллюстрирует ассимиляционную составляющую в национальной политике этой страны.

5. Диаспоры автохтонных этносов Дагестана (регионы РФ, постсоветское пространство, дальнейе зарубежье).

В 2013 году в специальном Указе Президента Республики Дагестан были сформулированы 10 приоритетных проектов её развития [15]. Для их реализации (прежде всего проекта «Инвестиции в Дагестан») как центр сопровождения ключевых институциональных реформ, а также центра компетенций, экспертизы и подготовки проектов Стратегического совета при Президенте РД был создан Фонд «Диаспора – сила Дагестана». Появление фонда с таким названием не случайно и отражает объективно высокую значимость общин автохтонных этносов Дагестана за его пределами для раз-

10 Например, у эскимосов в РФ и в США, Канаде и Гренландии; алеутов в РФ и в США, саамов в РФ и в Финляндии, Швеции и Норвегии.

11 У аварцев это Загатальский район; у лезгин – Кусарский, Габалинский и Хачмасский районы; у цахуров – Загатальский район.

12 Следует отметить, что Кусарский район является единственным районом в Азербайджане (за исключением районов Арцаха/Нагорного Карабаха), где азербайджанцы по численности являются меньшинством.

Таблица 2. ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ АВТОХТОННЫХ ЭТНОСОВ ДАГЕСТАНА, тыс. чел.*

	19261	1989	2010	2016
Дагестан	586,3	1444,8	2543,6	2722
РФ вне Дагестана	20,6	304,3	445,5	540
% к Дагестану	3,5	21,1	17,5	19,8
СССР/постсоветское пространство вне РФ	76,8	314,8	...	353,9
% к Дагестану	13,1	21,8	...	13,0

* – Составлено и рассчитано по [1, 3, 5, 9, 20].

1 – в современных границах РФ

вития экономики и предпринимательской деятельности в РД. С другой стороны, отток населения из РД в перспективе может привести не только к росту денежных переводов и прямых инвестиций, но и обусловить нехватку трудовых ресурсов.

Особенности социально-экономического и демографического развития Дагестана как в советское, так и в постсоветское время, когда темпы развития экономики не всегда поспевали за темпами роста численности населения, обусловили наличие постоянного оттока автохтонного населения из Дагестана, который особенно усилился с 1980-х годов. Всё это сделало неизбежным формирование и рост общин этносов Дагестана за его пределами в пределах РФ, а в советское время – в республиках СССР (табл. 2).

В настоящее время за пределами Дагестана проживает почти 900 тыс. человек, относящихся к автохтонным этносам этой Республики, что составляет 1/3 от их численности. Ещё около 15 тыс. человек проживает за пределами постсоветского пространства, главным образом в Румынии (ногайцы) и Турции (аварцы).

На численность и географическое распределение общин автохтонных этносов Дагестана за его пределами оказывает, прежде всего, несовпадение этнических и административных/государственных границ. Так на постсоветском пространстве по численности населения дагестанских этносов лидирует Азербайджан – 282 тыс. человек или 4/5 от всей постсоветской диаспоры. В РФ, так как значительная часть автохтонного ареала ногайцев находится за пределами РД¹³, то вне Дагестана ногайцев проживает в 1,6 раза больше, чем в самой Республике. По данным переписи населения 2010 года большую долю диаспоры в пределах РФ, чем у автохтонных этносов в целом по РД (17,5%), имели (кроме ногайцев) цахуры – 30,7%; рутульцы – 26,5%; табасараны – 23,1%; лезгины – 23%; агулы – 21,8% и даргинцы – 20,2%. С учётом

постсоветского пространства самый «диаспорный» по численности этнос в РД – это лезгины. За пределами Республики их проживает 269 тыс. человек или 70% от их численности.

Выводы. Общины автохтонных этносов Дагестана за его пределами могут играть важную роль в социально-экономическом развитии РД, а при определённых обстоятельствах внести вклад в реализацию приоритетного проекта развития «Бренд Нового Дагестана». В диаспоральной компоненте существенную часть играет расселение этносов Дагестана в пределах своих автохтонных ареалов, но за пределами Республики.

6. Дерусификация этносферы Дагестана.

Дерусификация не является эксклюзивным процессом, происходящим только в Дагестане, среди республик Северного Кавказа [2, с. 78]. В сложившихся в РД этнополитических и социально-экономических условиях главным фактором этого процесса выступает, прежде всего, миграционный отток русского населения¹⁴. Динамика русской общины в Дагестане за 1926-2016 гг. представлена в таблице 3.

Таблица 3. ДИНАМИКА РУССКОЙ ОБЩИНЫ В ДАГЕСТАНЕ ЗА 1926-2016 ГГ.*

	1926	1959	1989	2010	2016
Тыс. чел.	98,2	213,9	165,9	104,0	91,1
Удельный вес, %	12,5	20,1	9,2	3,6	3,0

* Составлено и рассчитано по [3, 5, 6, 9, 20].

Сокращение русской общины в РД началось ещё в 1960-х гг., но наиболее интенсивно этот процесс проходил в конце XX – в начале XXI в. Сейчас численность русских в РД меньше, чем 90 лет назад, и поэтому показательно их превзошли чеченцы, которых в 1926 году было меньше русского населения 4,5 раза. Безусловно, современное руководство РД осознаёт негативные последствия сокращения русской общины, которая всегда здесь выступала этнокультурным мостом между народами Дагестана и остальной частью Рос-

13 Нефтекумский район в Ставропольском крае и Ногайский район в Карачаево-Черкесской Республике.

14 В специальной статье, посвящённой этническим миграциям на Северном Кавказе, авторы для миграции русских используют эмфатическое выражение «исход», тогда как для евреев, немцев и армян – «отток» [2, с. 78].

сии. В рамках реализации приоритетного проекта развития РД «Человеческий капитал» в подпроекте «Просвещённый Дагестан» отдельно выделен раздел «Русскоязычный Дагестан» [14], где в качестве источников финансирования планируется привлечение диаспоральных благотворительных фондов (БФ «Пери» и Suleyman Kerimov Foundation). Следует отметить, что даже широкое привлечение современных методов и технологий дистанционного обучения, безусловно, даст возможность улучшить качество образования учителей по обучению русскому языку как неродному, но вряд ли увеличит число носителей русского языка как родного.

Выводы. По данным переписи 2010 года и микропереписи-2015 по доле русского населения Дагестан занимал в России третье место с конца после Чечни и Ингушетии, что позволяет заключить о закате носителей русской цивилизации в этой Республике. В этих условиях первое место по сохранению русских традиций теперь принадлежит русскому языку, который продолжает использоваться как *lingua franca* в межнациональной коммуникации у народов Дагестана и Северного Кавказа.

Библиографический список

1. 25 лет Содружеству Независимых Государств 1991-2015. Статистический сборник. М.: Межгосударственный статистический комитет, 2016. 500 с.
2. Белозеров В.С., Чихичин В.В., Глуценко И.В. Региональные особенности этнических миграций на Северном Кавказе // Наука. Инновации. Технологии. 2016. № 1. С. 71-92.
3. Всесоюзная перепись населения 1926 г. Окончательные итоги. Отдел I. Народность. Родной язык. Возраст. Грамотность. Т. IX. РСФСР. М.: ЦСУ СССР, 1929. VI, 228 с.
4. История Дагестана с древнейших времен до наших дней. В 2-х томах. Том 2. XX век. Махачкала, 2005. 392 с.
5. Итоги Всероссийской переписи населения 2010 года. Т. 4: Национальный состав и владение языками, гражданство. Кн. 1. М.: ФСГС, 2012. 847 с.
6. Итоги Всесоюзной переписи населения 1959 г. РСФСР. М.: Госстатиздат, 1963. 456 с.
7. Казанбиев М.А. Национально-государственное строительство в Дагестанской АССР (1920-1940). Махачкала: Дагестанское книжное издательство, 1960. 144 с.
8. Мой Дагестан. Заседание Изборского клуба в Махачкале и Дербенте // Завтра. – 2013. – 10 октября. – № 41 (1038). – С. 2.
9. Национальный состав населения РСФСР по данным ВПН 1989 г. М.: Госкомстат РСФСР, 1990. 747 с.
10. О внесении изменения в Указ Президента Республики Дагестан

- от 13 сентября 2013 г. № 257 [Текст]: Указ Главы Республики Дагестан от 1 февраля 2016 г. № 26 [Электронный ресурс] – <http://president.e-dag.ru/dokumenty?start=660>
11. О гарантиях прав коренных малочисленных народов Российской Федерации [Текст]: Федеральный закон от 30 апреля 1999 года № 82-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1999. – № 18. – Ст. 2208.
 12. О Государственном Совете Республики Дагестан [Текст]: Закон Республики Дагестан от 16 августа 1994 года. [Электронный ресурс] – <http://pravo.levonevsky.org/bazazru/texts24/txt24895.htm>
 13. О постановлении Государственного Совета Республики Дагестан от 18 октября 2000 г. № 191 [Текст]: Постановление Правительства РФ от 28 марта 2001 г. № 236. [Электронный ресурс] – <http://base.garant.ru/183401/#ixzz4jPCgu285>
 14. О реализации приоритетных проектов Президента Республики Дагестан [Текст]: Постановление Правительства Республики Дагестан от 4 июля 2013 г. № 340. [Электронный ресурс] – <http://e-dag.ru/2013-05-27-06-54-30/postanovleniya-pravitelstva-rd.html?start=1490>
 15. О реализации приоритетных проектов Президента Республики Дагестан [Текст]: Указ Президента Республики Дагестан от 19 апреля 2013 г. № 134. [Электронный ресурс] – <http://president.e-dag.ru/dokumenty/ukazy?start=1200>
 16. Об Алиеве Р.М. [Текст]: Указ Главы Республики Дагестан от 1 февраля 2016 г. № 27 [Электронный ресурс] – <http://president.e-dag.ru/dokumenty?start=660>
 17. Об особенностях применения Федерального закона «О коренных малочисленных народах Российской Федерации» в Республике Дагестан [Текст]: Постановление Государственного Совета РД от 18 октября 2000 г. № 191 // Собрание законодательства Республики Дагестан. – 2000. – № 10. – Ст. 922.
 18. Об утверждении Временного Положения об управлении туземных народностей и племен северных окраин РСФСР [Текст]: Постановление ВЦИК и СНК РСФСР от 25.10.1926 [Электронный ресурс] – <http://bsk.nios.ru/content/dekret-vcik-snk-rsfsr-ot-25-10-1926-goda-ob-utverzhdenii-vremennogo-polozheniya-ob>
 19. Репрессии 30-х годов в Дагестане / отв. ред. А.И. Османов. Махачкала: «Юпитер», 1997. 528 с.
 20. Социально-демографическое обследование (микрореперпись населения) 2015 года. [Электронный ресурс] – http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/demo/micro-perepis/finish/micro-perepis.html
 21. Справочник по истории Коммунистической партии и СССР. 1989-1991. [Электронный ресурс] – <http://www.knowbysight.info/25.10.1926> года // Собрание узаконений РСФСР. – 1926. – № 73. – Ст. 575.
 22. Шапиев С.М. Полиэтничность и обеспечение представительс-

тва во власти» (на примере Республики Дагестан). [Электронный ресурс] – <http://www.rcoit.ru/news/detail/16555/>

23. Demographic indicators of Azerbaijan. Statistical yearbook. Baku: State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan, 2016. 477 p.

References

1. 25 let Sodruzhestvu Nezavisimyykh Gosudarstv 1991-2015. Statisticheskij sbornik (25 years of the Commonwealth of Independent States 1991-2015. Statistical compilation). M.: Mezhgosudarstvennyj statisticheskij komitet, 2016. 500 s.
2. Belozеров V.S., Chikhichin V.V., Glushchenko I.V. Regional'nye osobennosti etnicheskikh migratsij na Severnom Kavkaze (Regional features of ethnic migration in the North Caucasus) // Nauka. Innovatsii. Tekhnologii. 2016. № 1. S. 71-92.
3. Vsesoyuznaya perepis' naseleniya 1926 g. Okonchatel'nye itogi. Otdel I. Narodnost'. Rodnoj yazyk. Vozrast. Gramotnost' (All-Union Population Census of 1926. Final results. Division I. Nationality. Native language. Age. Literacy). T. IX. RSFSR. M.: TSSU SSSR, 1929. VI, 228 s.
4. Istoriya Dagestana s drevnejshikh vremen do nashikh dnei. V 2-kh tomakh. Tom 2. XX vek (The history of Dagestan from ancient times to our days. In 2 volumes. Volume 2. XX century.). Makhachkala, 2005. 392 s.
5. Itogi Vserossijskoj perepisi naseleniya 2010 goda. T. 4: Natsional'nyj sostav i vladenie yazykami, grazhdanstvo (Results of the All-Russia Population Census of 2010. T. 4: National composition and language proficiency, citizenship). Kn. 1. M.: FSGS, 2012. 847 s.
6. Itogi Vsesoyuznoj perepisi naseleniya 1959 g. RSFSR (Results of the All-Union Population Census of 1959 in the RSFSR). M.: Gosstatizdat, 1963. 456 s.
7. Kazanбиеv M.A. Natsional'no-gosudarstvennoe stroitel'stvo v Dagestan-skoj ASSR (1920-1940) (National-state construction in the Dagestan ASSR (1920-1940)). Makhachkala: Dagestanskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1960. 144 s.
8. Moj Dagestan. Zasedanie Izborskogo kluba v Makhachkale i Derbente (My Dagestan. Meeting of the Izborsk club in Makhachkala and Derbent). // Zavtra. – 2013. – 10 oktyabrya. – № 41 (1038). – S. 2.
9. Natsional'nyj sostav naseleniya RSFSR po dannym VPN 1989 g. (National composition of the population of the RSFSR according to the 1989 APC data) M.: Gos-komstat RSFSR, 1990. 747 s.
10. O vnesenii izmeneniya v Ukaz Prezidenta Respubliki Dagestan ot 13 sentyabrya 2013 g. № 257 [Tekst]: Ukaz Glavy Respubliki Dagestan ot 1 fevralya 2016 g. (Decree of the Head of the Republic of Dagestan on February 1, 2016). № 26 [Elektronnyj resurs] – <http://president.e-dag.ru/dokumenty?start=660>

11. O garantiyakh prav korennykh malochislennykh narodov Rossijskoj Fede-ratsii [Tekst]: Federal'nyj zakon ot 30 aprelya 1999 goda № 82-FZ (On Guarantees of the Rights of Indigenous Peoples of the Russian Federation [Text]: Federal Law No. 82-FZ of 30 April 1999) // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federatsii. – 1999. – № 18. – St. 2208.
12. O Gosudarstvennom Sovete Respubliki Dagestan [Tekst]: Zakon Respub-lik Dagestan ot 16 avgusta 1994 goda (On the State Council of the Republic of Dagestan [Text]: Law of the Republic of Dagestan of August 16, 1994). [Elektronnyj resurs] – <http://pravo.levonevsky.org/bazazru/texts24/txt24895.htm>
13. O postanovlenii Gosudarstvennogo Soveta Respubliki Dagestan ot 18 oktyabrya 2000 g. № 191 [Tekst]: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 28 marta 2001 g. № 236. [Elektronnyj resurs] – <http://base.garant.ru/183401/#ixzz4jPCgu285>
14. O realizatsii prioritetnykh proektov Prezidenta Respubliki Dagestan [Tekst]: Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Dagestan ot 4 iyulya 2013 g. № 340. [Elektronnyj resurs] – <http://e-dag.ru/2013-05-27-06-54-30/postanovleniya-pravitelstva-rd.html?start=1490>
15. O realizatsii prioritetnykh proektov Prezidenta Respubliki Dagestan [Tekst]: Ukaz Prezidenta Respubliki Dagestan ot 19 aprelya 2013 g. № 134. [Elektronnyj resurs] – <http://president.e-dag.ru/dokumenty/ukazy?start=1200>
16. Ob Alieve R.M. [Tekst]: Ukaz Glavy Respubliki Dagestan ot 1 fevralya 2016 g. № 27 [Elektronnyj resurs] – <http://president.e-dag.ru/dokumenty?start=660>
17. Ob osobennostyakh primeneniya Federal'nogo zakona «O korennykh malo-chislennykh narodakh Rossijskoj Federatsii» v Respublike Dagestan [Tekst]: Po-stanovlenie Gosudarstvennogo Soveta RD ot 18 oktyabrya 2000 g. (On the peculiarities of the application of the Federal Law “On the indigenous small-numbered peoples of the Russian Federation” in the Republic of Dagestan [Text]: The formation of the State Council of the Republic of Dagestan of October 18, 2000). № 191 // Sobranie zakonodatel'stva Respubliki Dagestan. – 2000. – № 10. – St. 922.
18. Ob utverzhdenii Vremennogo Polozheniya ob upravlenii tuzemnykh na-rodnostej i plemen severnykh okrain RSFSR (On the Approval of the Provisional Regulations on the Management of Indigenous Peoples and Tribes of the Northern Regions of the RSFSR) [Tekst]: Postanovlenie VTSIK i SNK RSFSR ot 26.10.1926 [Elektronnyj resurs] – <http://bsk.nios.ru/content/dekret-vcik-snk-rsfsr-ot-25-10-1926-goda-ob-utverzhdenii-vremennogo-polozheniya-ob>
19. Repressii 30-kh godov v Dagestane (Repression of the 30s in Dagestan) / Otv. red. A.I. Osmanov. Makhachkala: «YUputer», 1997. 528 s.
20. Sotsial'no-demograficheskoe obsledovanie (mikroperepis' nasele-niya) 2015 goda (Social and demographic survey (microcensus of population) 2015.). [Elektronnyj resurs] – http://www.gks.ru/free_

doc/new_site/population/demo/micro-perepis/finish/micro-perepis.html

21. Spravochnik po istorii Kommunisticheskoy partii i SSSR.1989-1991. (Handbook on the history of the Communist Party and the USSR.1989-1991). [Elektronnyj resurs] – <http://www.knowbysight.info/> 25.10.1926 goda // Sobranie uzakonenij RSFSR. – 1926. – №73. – St. 575.
22. Shapiev S.M. Polietnichnost' i obespechenie predstavitel'stva vo vla-sti» (na primere Respubliki Dagestan) (Polyethnicity and provision of representation in power “(on the example of the Republic of Dagestan). [Elektronnyj resurs] – <http://www.rcoit.ru/news/detail/16555/>
23. Demographic indicators of Azerbaijan. Statistical yearbook. Baku: State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan, 2016. 477 p.

УДК 314.74 + 378.4

Белозеров В.С. [Belozarov V.S.],
Щитова Н.А. [Shchitova N.A.],
Чихичин В.В. [Chikhichin V.V.],
Соловьев И.А. [Soloviev I.A.]

ИНОСТРАННЫЕ СТУДЕНТЫ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ: РЕГИОНАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ И ПРОБЛЕМЫ АДАПТАЦИИ (на примере Северо-Кавказского федерального университета)*

Foreign students in the North Caucasus: regional differences and problems of adaptation (on the example of the North Caucasus Federal University).

В статье представлен анализ современного регионального распределения иностранных студентов на Северном Кавказе, выявлены регионы с большим количеством и высокой динамикой обучающихся из зарубежных стран и регионы, где этот процесс находится пока еще на стадии становления. Данная территория является новой для массовой образовательной миграции из-за рубежа, в основном из стран Средней Азии, Ближнего Востока и Африки. Показано место Северо-Кавказского федерального округа на российской карте иностранных студентов. Определены основные особенности принимающего местного северокавказского сообщества, главная из них – это полиэтничность населения всех образовательных центров макрорегиона, что придает определенные нюансы восприятию иностранных студентов местными жителями. На основании результатов социологических исследований на примере Северо-Кавказского федерального университета анализируются особенности адаптации иностранных студентов на Северном Кавказе. Основная проблема – это языковой барьер, с которым представители из разных стран справляются с разной степенью успешности. Наиболее продвинуты в этом плане выходцы из стран постсоветского пространства. От решения этой проблемы в основном зависят другие аспекты адаптации – социокультурного диалога, отношений с властными и сервисными структурами, преподавателями и другими студентами, в целом получение качественного высшего образования и искомой квалификации.

The analysis of the current regional distribution of foreign students in the North Caucasus is presented in the article, regions with a large number and high dynamics of students from foreign countries and regions where this process is still at the stage of formation are identified. This territory is new for mass educational abroad migration, mainly from the countries of Central Asia, the Middle East and Africa. The position of the North Caucasus Federal District on the Russian map of foreign students is shown. The main features of the host local North Caucasian community are determined, the main one is the population's polyethnicity of all the educational centers of the macroregion, which gives certain distinctiveness to the perception of foreign students by local residents. Based on the results of sociological research, the peculiarities of foreign students' adaptation in the North Caucasus are analyzed on the example of the North Caucasus Federal University. The main problem is the language barrier, with which representatives from different countries cope with varying degrees of success. The most advanced in this regard are immigrants from the countries of the post-Soviet space. From the solution of this problem, other aspects of adaptation like socio-cultural dialogue, relations with authorities and service structures, teachers and other students, and in general, the getting of competent higher education and the required qualification are depended on.

Ключевые слова: иностранные студенты, адаптация иностранных студентов в России, иностранные студенты на Северном Кавказе, Северо-Кавказский федеральный университет.

Key words: foreign students; adjustment of foreign students in Russia; foreign students in the North Caucasus; North-Caucasus Federal University.

* Статья подготовлена при государственной поддержке ведущих научных школ по гранту Президента Российской Федерации в рамках научно-исследовательского проекта «Иностранные мигранты в России: стратегии и практики интеграции и адаптации в региональные сообщества» (проект № НШ-9300.2016.6).

Введение

В России учебная миграция по своим масштабам выходит на ведущие позиции в перераспределении человеческого капитала. В структуре въезда в нашу страну этот вид переселения прочно занимает третье место после трудовых мигрантов и соотечественников. В отличие от других видов иммиграции приток студентов из зарубежных стран в основном оказывает положительное влияние на российскую экономику и социальную сферу, так как при грамотной постановке процесса может обеспечить развивающийся рынок труда высококвалифицированной рабочей силой. При этом, конечно, принимающая сторона должна быть заинтересована в успешной адаптации такого рода иностранных мигрантов с последующей возможной их полноценной интеграцией в российский социум. Немаловажен в данном случае и тот аргумент, что в современных демографических условиях России просто-напросто нужно население. И без миграционного притока здесь не обойтись. А именно через образовательную миграцию этот приток можно и нужно сделать более качественным.

Успешная адаптация, хотя бы на время обучения, иностранных студентов в Российской Федерации важна и с геополитической точки зрения. Высока вероятность, что выходцы из Южного Кавказа, Ближнего Востока, Центральной Азии и других регионов, получившие российское образование и вернувшиеся на родину, будут настроены, скорее всего, пророссийски не только сами, но и станут распространять симпатию к России среди местного населения. Это вероятно еще и потому, что довольно часто специалисты с советским/российским образованием в странах указанных регионов занимают руководящие должности и в целом высокое общественное положение.

Распределение иностранных студентов в российских регионах довольно неравномерно. Выделяются регионы – лидеры, в которых сконцентрировано более половины российской численности этой категории обучающихся: Москва, Санкт-Петербург, Омская, Томская, Новосибирская области и Республика Татарстан [2]. Северный Кавказ (в границах Северо-Кавказского федерального округа) выглядит на этом фоне достаточно скромно, по крайней мере, в первые десятилетия постсоветского времени. Но ситуация меняется, в 2010-е годы динамика притока выходцев из-з рубежа стала заметной. У этого макрорегиона даже появляется своего рода специализация по контингенту иностранных студентов.

Но готов ли Северный Кавказ к такому развитию событий, готовы ли к этому вузы и принимающее сообщество? Дело в том, что состав жителей этой территории и без того многонационален. Его пополнение представителями новых народов еще больше актуализирует необходимость гармонизации межэтнических отношений. В этой связи необходимо изучать не только географию иностранных студентов на Северном Кавказе, но и проблемы их

адаптации и дальнейшей возможной интеграции с учетом особого значения этого явления для демографического, социально-экономического, социокультурного и геополитического развития России. В данной статье предпринята попытка анализа указанных аспектов образовательной миграции в Северо-Кавказском федеральном округе.

Материалы и методы исследования

Проблемы иностранных студентов российскими учеными анализируются довольно часто. Большой пласт статистической информации в динамике с конца 1980-х гг. опубликован в работах Центра социологических исследований Минобрнауки России и Центра социального прогнозирования и маркетинга [3, 20]. На сайте последнего¹ размещены результаты исследований китайских, немецких, американских студентов в России, ежегодные статистические отчеты об обучении иностранных граждан в высших учебных заведениях. Проведены исследования общих проблем учебной миграции в российские вузы с определением инновационных стратегий развития [12], эффектов и роли в демографическом, социально-экономическом и политическом развитии [13, 17], потенциалов и перспектив [6].

Самым востребованным для изучения аспектом пребывания иностранных студентов в российских вузах является их адаптация к новым условиям. В рамках программы «Защита прав иностранных студентов в Российской Федерации» и Европейской молодежной кампании «Все различны – Все равны!» с помощью методов фокус-групп и глубинного интервью в 2007 г. проведено исследование проблем иностранных студентов, обучающихся Москве, Санкт-Петербурге, Воронеже, Владимире, Краснодаре, Ростове-на-Дону [15]. Опубликовано большое количество работ с результатами изучения особенностей обучения и адаптации иностранных студентов в конкретных вузах: Санкт-Петербургском государственном политехническом университете [7], Российском университете дружбы народов [5], Томском политехническом университете [1], Ярославском государственном техническом университете [10], Уральском [9] и Дальневосточном [18] федеральных университетах, Томском государственном университете [4], Высшей школе экономики [19], Курском государственном университете [8] и др. В этих работах акцент сделан на проблемах, с которыми сталкиваются иностранные студенты при вхождении в новое социокультурное пространство, также на факторы их адаптации, формулируются рекомендации по оптимизации этого процесса.

Знакомство с основными результатами перечисленных исследований помогло нам сформировать общее видение проблемы на уровне всей страны и ее отдельных регионов, а также ощутить главные особенности Север-

¹ <http://www.socioprognoz.ru>.

ного Кавказа с точки зрения структуры и адаптации иностранных студентов. Основными источниками, так называемой, объективной информации для нас были: статистические данные на сайте Минобрнауки России², Российский статистический ежегодник [16], количественные сведения из целого ряда аналитических материалов [2, 3, 20].

Проблемы адаптации иностранных студентов в крупнейшем вузе Северного Кавказа – Северо-Кавказском федеральном университете – выявлялись с помощью разнообразных социологических исследований (анкетирование, демокопическое интервью и фокус-группы), проводимых нами в 2014, 2016 и 2017 гг. На первом этапе была разработана программа исследования, включившая теоретико-методологическое обоснование и процедурный раздел с подготовкой инструментария. При составлении опросных листов и гайдов для проведения фокус-групп использовался исследовательский опыт отечественных авторов – Д. Полетаева [14], И.Н. Молодиковой [11], С.В. Рязанцева [17].

Анкета для проведения опросов была составлена таким образом, чтобы выявить возникающие затруднения на всех этапах учебной миграции, и включала вопросы о первоначальных и текущих проблемах адаптации и интеграции, будущих миграционных намерениях. Пилотный опрос 2014 года, в котором участвовали студенты из Туркменистана, Азербайджана, Узбекистана, Таджикистана позволил скорректировать структуру анкеты для последующего массового опроса.

В 2016 и 2017 гг. основную массу респондентов составили студенты из Туркменистана, Таджикистана, Узбекистана, Азербайджана, Анголы. На долю этих стран приходится 71% (75% в 2014 г.) всех обучающихся иностранцев в СКФУ. Удельный вес их представителей в выборочной совокупности составляет 71% (63% в 2014 г.), что соответствует структуре генеральной совокупности. Тип выборки можно определить как квотно-пропорциональный с высокой степенью репрезентативности результатов исследования. Объем выборки в целом составил более 20% иностранных студентов, обучающихся в вузе. Для определения погрешности и доверительной вероятности исследования использовалась формула расчета размера выборки:

$$SS = \frac{Z^2 * (p) * (1-p)}{C^2}$$

где: **Z** = Z фактор (1,96 для 95% доверительного интервала);
p = процент интересующих респондентов или ответов, в десятичной форме (0,5 по умолчанию);

2 Статистические данные на сайте Минобрнауки России. [Электронный ресурс] – URL: минобрнауки.рф/ministry/статистика.

s = доверительный интервал, в десятичной форме.

Точность выборки (доверительная вероятность) социологического опроса составила $\pm 5,89\%$ (2016 г.) и $\pm 7,68\%$ (2014 г.) от исходного значения. Таким образом, в 95% случаев получаемые ответы по законам статистики будут находиться в пределах выше указанной погрешности. Примерно сопоставимая точность выборки (в 1,79%) обоих опросов позволяет достаточно адекватно сравнивать их результаты.

Дополнительно, для уточнения некоторых вопросов, в 2016 г. было проведено две фокус-группы – среди студентов из государств Центральной Азии (Узбекистана, Таджикистана, Туркмении) и арабских стран (Сирии, Ирака, Йемена и др.).

Результаты исследования и их обсуждение

Динамика численности и география иностранных студентов на Северном Кавказе. Численность иностранных студентов в России в целом в 1991 г. составляла около 90 тыс. чел., из них более трети – это студенты из Монголии, Вьетнама, Афганистана, Кубы и Болгарии [3]. В то время вопрос об их интеграции с местным сообществом не ставился так остро. Во-первых, демографический потенциал страны был высок и эти мигранты почти не рассматривались как будущие советские граждане. Во-вторых, этот процесс был гораздо более контролируемым в виду крайне ограниченного перечня «проверенных» стран – поставщиков мигрантов и этнического однообразия самих переселенцев.

В 1996 г. в России обучалось намного меньше иностранных студентов – около 53 тыс. чел., в 2001 г. – всего на несколько тысяч больше. На советский уровень численности иностранных студентов Россия вышла в 2006–2007 гг. На Северном Кавказе эта категория обучающихся была представлена единичными выходцами из стран Южного Кавказа, Украины и Средней Азии. Вряд ли их образовательная траектория тогда была четко спланирована. Россию в целом и северокавказские образовательные центры в частности для своего профессионального обучения они выбирали в стрессовых условиях, возникших в результате социально-экономических и политических кризисов в странах их проживания – бывших союзных республиках. Этих студентов называли иностранными только по формальному признаку. Выделение большинства неформальных условий – знание русского языка, социокультурная и историческая связь с принимающим сообществом – первое постсоветское десятилетие было лишним. Да и по этнической принадлежности эти молодые мигранты были либо русскими, либо представителями тех народов, которые широко расселялись по территории России – армян, азербайджанцев, украинцев, казахов и т.д.

В 2008 г. в вузах Российской Федерации обучалось уже более 100 тыс. граждан, приехавших из-за границы, а в 2016 – более 242 тыс. чел. (табл.

1). Подавляющее большинство иностранных студентов приехало в России из стран бывшего СССР (около 78%), при этом наибольшее их количество – это уроженцы Казахстана (36% от общего числа студентов из бывших республик Советского Союза), Узбекистана (11%), Украины (11%), Туркменистана (9%) и Беларуси (8%). Наибольшее число иностранных студентов из стран, не входивших в состав СССР, прибывает из Азии (57% от числа студентов из этих стран), почти половина студентов из этого макрорегиона – выходцы из Китая (24,3% от всех студентов дальнего зарубежья), Индии (10,7%), Вьетнама (6,3%), Монголии (4,5%) и Малайзии (4,1%). Следующий по представленности географический макрорегион – Северная Африка и Ближний Восток (19%) [2].

В вузах Северо-Кавказского федерального округа в 2006 г. обучалось 1,2 тыс. иностранных студентов, в 2012 г. – 2,4 тыс., но все равно доля округа составляла всего 2% от общероссийского объема этой категории обучающихся [3]. В 2015–2016 учебном году в высших учебных заведениях СКФО было уже более 7,5 тыс. уроженцев из зарубежных стран. География прибытия образовательных мигрантов на Северный Кавказ охватывает, прежде всего, страны ближнего зарубежья (более 80%, Азербайджан, Узбекистан, Туркмению, Таджикистан, Армению, Украину), Индию (почти 8%), страны Ближнего Востока и Северной Африки (около 5%, Марокко, Ирак, Тунис), Африки южнее Сахары (Ангола, ЮАР).

Из северокавказских регионов контингент иностранных студентов наиболее многочислен в Ставропольском крае (3,5 тыс.), на втором месте – Республика Дагестан (почти 2 тыс.), на третьем – Карачаево-Черкесская Республика (0,8 тыс.). В остальных регионах – их значительно меньше, особенно в Чечне и Ингушетии (табл. 2). В соседних с СКФО территориях – в Ростовской и Астраханской областях, Краснодарском крае – иностранных студентов больше.

Почти для всех институтов и университетов Северного Кавказа такое большое количество иностранных студентов в новинку. Эта, на первый взгляд, заманчивая эксклюзивность вызывает целый ряд проблем, связанных с успешностью их адаптации. С одной стороны присутствие иностранцев среди обучающихся усиливает конкурентоспособность провинциальных образовательных центров, но с другой – обязывает их предоставлять более качественные образовательные услуги.

Ситуация осложняется еще и тем, что, в отличие от столичных городов, где такие студенты никого не удивляют, их появление в регионах стало некоторым экзотическим феноменом для местного населения. Но Северо-Кавказский федеральный округ в этом смысле также отличается. Иностранные студенты, приезжая в региональные центры СКФО, попадают в очень полиэтничную среду, делая ее еще более многонациональной. Для доказательства этого тезиса укажем долю славянских этносов в населении наиболее притягательных для иностранцев образовательных центров России: Санкт-Петербург

Таблица 1. ЧИСЛЕННОСТЬ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (КРОМЕ АСПИРАНТУРЫ, ВКЛЮЧАЯ ЛИЦ БЕЗ ГРАЖДАНСТВА)

Годы	Кол-во студентов иностранных студентов, тыс. чел.	Удельный вес иностранных студентов в общей численности студентов, %	Удельный вес студентов из стран бывшего СССР в общей численности иностранных студентов, %
2000/2001	58,9	1,4	58,5
2005/2006	78,1	1,3	52,0
2010/2011	160,9	2,3	72,5
2011/2012	159,9	2,4	76,3
2012/2013	171,6	2,8	74,3
2013/2014	205,7	3,6	76,0
2014/2015	224,6	4,3	78,1
2015/2016	242,5	5,1	77,5

Составлено по: Российский статистический ежегодник. 2016: Стат.сб./Росстат. – М., 2016 – 725 с.; Академическая мобильность иностранных студентов в России. Выпуск серии «Факты образования». – М.: НИУ ВШЭ, 2016. [Электронный ресурс] – URL: <https://ioe.hse.ru/data/2016/08/04/1119531130/%D0%A4%D0%9E7.pdf>.

Таблица 2. ЧИСЛЕННОСТЬ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ В РЕГИОНАХ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА, 2015 – 2016 УЧЕБНЫЙ ГОД

Регионы	Общее количество, чел.	Удельный вес иностранцев в общей численности студентов региона, %
Ставропольский край	3535	4,0
Карачаево-Черкесская Республика	885	6,8
Кабардино-Балкарская Республика	691	4,0
Республика Северная Осетия – Алания	449	1,7
Республика Ингушетия	105	1,2
Чеченская Республика	145	0,4
Республика Дагестан	1847	2,6

Составлено по: Статистические данные на сайте Минобрнауки России. [Электронный ресурс] – URL: минобрнау-ки.пф/ministry/статистика.

– 94%, Томск – 93%, Новосибирск – 94%, Воронеж – 98%, Иркутск – 93%, Ростове-на-Дону – 92%, Волгоград – 93%. Москва в данном случае исключение. Ситуацию с иностранными студентами, характерную для нее, просто некорректно сравнивать с другими городами.

А вот какова доля славянского населения в крупнейших образователь-

ных центрах Северного Кавказа: Ставрополь – 88%, Пятигорск – 71%, Черкесск – 54%, Нальчик – 29%, Владикавказ – 25%, Карачаевск – 11%, Махачкала – 5%, Грозный – 3%, Назрань – 0,2%³. Таким образом, жители северокавказских городов привыкли жить в полиэтничной среде. А студенты из-за рубежа, особенно из стран Южного Кавказа, Средней Азии и даже Ближнего Востока их не удивляют, по крайней мере, своим внешним видом.

Основные проблемы адаптации иностранных студентов на Северном Кавказе. Несмотря на указанные выше особенности этнической среды северокавказских городов, помогающие иностранным студентам быстрее адаптироваться к новым для них социокультурным условиям, в этих процессах не все так просто.

Основным препятствием для адаптации всех иностранных обучающихся, в том числе и из постсоветских стран, является трудности языковой коммуникации. Студенты из государств бывшего СССР (особенно из Узбекистана, Азербайджана, Армении, Украины и Киргизии) русским языком владеют, конечно, лучше, чем уроженцы дальнего зарубежья. На старших курсах знание языка улучшается, существенно сокращается доля лиц, очень плохо владеющих им. Среди студентов из стран СНГ она сокращается с 10 – 15% на первом курсе г. до 2% – не четвертом. Но все же возможность полноценного обучения на русском языке затруднена.

Исследование показало, что требуется серьезный пересмотр содержания и методики лингвистической подготовки иностранцев. В большинстве случаев для иностранных студентов единственной возможностью хотя бы частично освоить русский язык являются подготовительные курсы в России. Ответы интервьюируемых на эту тему были достаточно однотипны: «...Русский язык выучил за 6 месяцев в Липецке на подготовительных курсах при университете».

Безусловно, что для успешного обучения в университете знания разговорного русского языка недостаточно. Практика показывает, что нехватка лингвистических познаний характерна для обоих участников учебного процесса. Иностранные студенты в большинстве своем на начальном этапе не владеют или очень слабо владеют русским языком, а профессорско-преподавательский состав региональных вузов, зачастую впервые столкнувшись с такой категорией обучающихся, не владеет понятным им языком. Причем это характерно как для преподавателей русского языка, так и в большей степени для преподавателей профессиональных дисциплин и руководителей диплом-

3 По данным Всероссийской переписи населения 2010 г. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm (дата обращения 01.10.2016).

ных проектов.

Из менее важных проблем, с которыми сталкиваются иностранные студенты, отметим: привыкание к новым климатическим условиям (для 20%), коррупция (для 7% в 2014 г. и для 2% в 2017 г.), взаимоотношения с полицией (для 5% в 2014 г. и для 11% в 2017 г.), ксенофобия (для 4% в 2014 г. и для 2% в 2017 г.), незнание культуры, обычаев, норм поведения принимающего сообщества (для 4% в 2014 г. и для 7% в 2017 г.). Положительная динамика отмечается по снижению удельного веса проблем, связанных с коррупцией и ксенофобией. Актуальность остальных позиций возрастает. Более половины иностранцев очень сильно тоскуют по Родине, но разным причинам (экономическим, политическим, большие расстояния и др.) редко бывают дома.

Важной проблемой для уроженцев из-за рубежа, особенно из арабских стран, стало недоверие со стороны таможни. В частности, аспирант из Ирака возмутился по этому поводу: *«Еще есть такая проблема – таможня в аэропорту. Вы видите, что это студент, он первый раз приехал сюда, он не знает русский язык точно. Они смотрят на визу, там написано СКФУ, Ставрополь, все написано. Зачем они задают такие вопросы? Они боятся, потому что у нас такое происходит в стране. Боятся, конечно. Почему они уводят меня для того, чтобы задавать вопросы? У меня виза есть, все нормально. Сумку открывают, чтобы посмотреть, но там все нормально. Обычные продукты. И это не только меня, это всех арабских студентов так. И именно из Сирии или из Ирака».*

Материалы опроса свидетельствуют об обострении за последние два года проблем взаимоотношений иностранных студентов с полицией, что, возможно, связано с ухудшением общего геополитического фона в стране, усилением международной террористической активности на Ближнем Востоке, откуда родом многие иностранные студенты. Но, по свидетельствам опрошенных, на Северном Кавказе у них гораздо реже проверяют документы, чем в других российских городах.

Отношением местного населения к себе иностранные студенты в целом довольны, хотя приводились и негативные примеры. Иногда на них обращают внимание, так как они часто разговаривают на родном (арабском) языке. Респондент из Ирака по этому поводу сказал: *«Ну, по-разному. Есть разные люди, но вообще можно сказать, что русские люди добрые. Относятся нормально, честно. Отношения с девушкой трудно здесь завести. Но раньше было чуть-чуть лучше. Они просто боятся. Они слышали, что случилось там, в арабских странах. Они смотрят и боятся...».* Но, несмотря на указанные сложности, один из арабских аспирантов даже создал семью в России, женившись на русской девушке.

Большинство иностранных студентов, обучающихся в вузах Северного Кавказа, чаще всего не планируют оставаться в России. Самые продвинутые из них хотят уехать учиться или жить в Европу и США, а остальные вер-

нуться на родину. Среди последних в основном студенты из Туркменистана и арабских стран. Среди причин нежелания возвращаться на родину указывались проблемы с трудоустройством и с тем, что российские дипломы не копируются в Узбекистане. Более позитивно оценили возможное свое трудоустройство по специальности на родине студенты из Туркменистана, что и является одной из причин их стремления вернуться домой после обучения.

Большинство студентов из арабских стран планируют возвращаться в родную страну. Причина этому – сложный процесс языковой интеграции в России, а также наличие дома семей и работы. Некоторые участники беседы из стран (Сирия, Ирак, Йемен), где в настоящее время происходят военные конфликты, рассматривают возможность, при благоприятных обстоятельствах, остаться в России. В Европу и США в отличие от студентов из Средней Азии желающих ехать на учебу или жительство не выявлено.

Выводы

Количество иностранных студентов в вузах Северо-Кавказского федерального округа ежегодно увеличивается. И в России в целом, и на Северном Кавказе – в частности подавляющее большинство образовательных мигрантов приехало из государств бывшего СССР, при этом наибольшее их количество в стране – это уроженцы Казахстана, а в СКФО – из Азербайджана и Узбекистана.

Ключевой проблемой адаптации иностранных студентов на Северном Кавказе, как и в России в целом, являются языковой барьер, который мешает нормальному развитию образовательного процесса, ухудшает социально-психологическое самочувствие молодых людей, провоцируя замкнутость и разобщенность, усиливая ностальгические настроения. Среди остальных трудностей: незнание культуры, обычаев, норм поведения принимающей стороны, коррупция, подозрительность полиции. У студентов, успешно преодолевших языковые сложности, с каждым днем растет количество друзей – россиян, а в русскоязычной студенческой аудитории к ним наблюдается отношение, как к равным.

В целом, исследование выявило слабую динамику в развитии адапционно-интеграционных процессов иностранных студентов. Университетская среда требует некоторых трансформаций, связанных с созданием новых сегментов, направленных на взаимодействие с ними. Сложившиеся образовательно-воспитательные практики необходимо совершенствовать в соответствии с новыми вызовами, связанными с интеграцией быстро растущей численности и расширением географии прибывающих иностранных студентов.

Библиографический список

1. Абунавас Х.А., Берестнева О.Г. Исследование проблем адаптации иностранных студентов на примере Томского политехнического университета // Методология обучения и повышения эффективности академической, социально-культурной и пси-

- хологической адаптации иностранных студентов в российском вузе: теоретические и прикладные аспекты: материалы всерос. семинара. Томск, 2008. С. 7-12.
2. Академическая мобильность иностранных студентов в России. Выпуск серии «Факты образования». М.: НИУ ВШЭ, 2016. 15 с. [Электронный ресурс] – URL: <https://ioe.hse.ru/data/2016/08/04/1119531130/%D0%A4%D0%9E7.pdf>.
 3. Арефьев А.Л., Шереги Ф.Э. Иностранные студенты в российских вузах. Раздел первый: Россия на международном рынке образования. Раздел второй: Формирование контингента иностранных студентов для российских вузов / Министерство образования и науки Российской Федерации. М.: Центр социологических исследований, 2014. 228 с. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.socioprognoz.ru/files/File/2014/full.pdf>.
 4. Ваулина Т.А., Сахарова К.Н. Организационные аспекты адаптации иностранных студентов, обучающихся в российском вузе // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 400. С. 267-272.
 5. Витковская М.И., Троцук И.В. Адаптация иностранных студентов к условиям жизни и учебы в России (на примере РУДН) // Вестник РУДН. Сер. Социология. 2004. № 6–7. С. 56-75.
 6. Гаврилова К.А., Яценко Е.Б. (ред.) Учебная миграция из стран СНГ и Балтии: потенциал и перспективы для России. М.: Фонд «Наследие Евразии», 2012. 208 с.
 7. Иванова М.И. Социально-психологическая адаптация иностранных студентов к высшей школе России: дис. ... д-ра психол. наук. СПб., 2001. 353 с.
 8. Максимчук Е.Д. Социально-психологическое сопровождение межкультурной адаптации иностранных студентов // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2015. № 11 (164). С. 87-92.
 9. Меренков А.В., Антонова Н.Л., Дорожнинская Е.С. Проблемы социальной адаптации иностранных студентов в Уральском федеральном университете // Известия Уральского федерального университета. Серия 3: Общественные науки. 2013. Т. 121. № 4. С. 185-192.
 10. Моднов С.И., Ухова Л.В. Проблемы адаптации иностранных студентов, обучающихся в техническом университете // Ярославский педагогический вестник. 2013. № 2. С. 111-115.
 11. Молодикова И.Н. Мобильность выпускников СНГ и стран Балтии после учебы в западных университетах (воздействие территориальных особенностей) // Миграция в России 2000–2012 гг. Хрестоматия в 3 томах / главный ред. И. С. Иванов. Т. 1. Ч. 2. М.: Спецкнига, 2013. С. 32-59.
 12. Полетаев Д.В., Дементьева С.В. Инновационные стратегии развития международного образования в ракурсе учебной миграции в вузы России // Известия Томского политехнического университета. 2010. № 6. С. 128-134.
 13. Полетаев Д.В. Роль учебной миграции из зарубежных стран в

- социально-экономическом и демографическом развитии России // Демоскоп-Weekly. № 345. 28.09.2008. [Электронный ресурс] – URL: <http://demoscope.ru/weekly/2008/0345/analit07.php>.
14. Полетаев Д.В. Современные тенденции развития образовательной миграции // Миграция в России 2000–2012 гг. Хрестоматия в 3 томах / Главный ред. И. С. Иванов. Т. 1. Ч. 2. М.: Спецкнига, 2013. С. 390–406.
 15. Проблемы иностранных студентов в России: результаты исследования в рамках программы «Защита прав иностранных студентов в РФ». Воронеж: Изд-во Профсоюза Литераторов, 2008. [Электронный ресурс] – URL: http://www.citizens.ru/upload/iblock/923/book_inostudy_A5_2007_new.pdf.
 16. Российский статистический ежегодник. 2016: Стат. сб. / Росстат. М., 2016. 725 с.
 17. Рязанцев С.В., Письменная Е.Е. Эффекты иностранной учебной миграции для России // Миграция в России 2000–2012 гг. Хрестоматия в 3 томах / главный ред. И.С. Иванов. Т. 1. Ч. 2. М.: Спецкнига, 2013.
 18. Соколова Д.А. Адаптация иностранных студентов в поликультурной образовательной среде // Социологические исследования. 2013. № 3. С. 114–117.
 19. Хачатурова М.Р., Польшина О.А. Выбор иностранными студентами стратегий совладающего поведения с трудностями вхождения в новую образовательную среду // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Психология. 2015. Т. 9. № 2. С. 77–83.
 20. Численность обучающихся, педагогического и профессорско-преподавательского персонала, число образовательных организаций Российской Федерации. (Прогноз до 2020 года и оценка тенденций до 2030 года). М.: Институт социологии РАН, Центр социального прогнозирования и маркетинга, 2015. 270 с.

References

1. Abunavas H.A., Berestneva O.G. Issledovanie problem adaptacii inostrannyh studentov na primere Tomskogo politekhnicheskogo universiteta (Study of problems of adaptation of foreign students on the example of Tomsk Polytechnic University) // Metodologiya obucheniya i povysheniya ehffektivnosti akademicheskoy, social'no-kul'turnoj i psihologicheskoy adaptacii inostrannyh studentov v rossijskom vuze: teoreticheskie i prikladnye aspekty: materialy vseros. seminara. Tomsk, 2008. S. 7–12.
2. Akademicheskaya mobil'nost' inostrannyh studentov v Rossii (Academic mobility of foreign students in Russia). Vypusk serii «Fakty obrazovaniya». M.: NIU VSHEH, 2016. 15 s. [Elektronnyj resurs] – URL: <https://ioe.hse.ru/data/2016/08/04/1119531130/%D0%A4%D0%9E7.pdf>.
3. Aref'ev A.L., SHeregi F.EH. Inostrannye studenty v rossijskih vuzah. Razdel pervyj: Rossiya na mezhdunarodnom rynke obrazovaniya. Razdel vtoroj: Formirovanie kontingenta inostrannyh studentov dlya

- rossijskikh vuzov (Foreign students in Russian universities. Section One: Russia in the international education market. Section Two: Formation of a contingent of foreign students for Russian universities) / Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii. M.: Centr sociologicheskikh issledovanij, 2014. 228 s. [Elektronnyj resurs] – URL: <http://www.socioprognoz.ru/files/File/2014/full.pdf>.
4. Vaulina T.A., Saharova K.N. Organizacionnye aspekty adaptacii inostrannykh studentov, obuchayushchihsya v rossijskom vuze (Organizational aspects of adaptation of foreign students studying in a Russian university) // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. № 400. S. 267-272.
 5. Vitkovskaya M.I., Trocuk I.V. Adaptaciya inostrannykh studentov k usloviyam zhizni i ucheby v Rossii (na primere RUDN) (Adaptation of foreign students to the conditions of life and study in Russia (on the example of the RUDN) // Vestnik RUDN. Ser. Sociologiya. 2004. № 6–7. S. 56-75.
 6. Gavrilova K.A., YAcenko E.B. (red.) Uchebnaya migraciya iz stran SNG i Baltii: potencial i perspektivy dlya Rossii (Educational migration from the CIS and Baltic countries: potential and prospects for Russia). M.: Fond «Nasledie Evrazii», 2012. 208 s.
 7. Ivanova M.I. Social'no-psihologicheskaya adaptaciya inostrannykh studentov k vysshej shkole Rossii (Socio-psychological adaptation of foreign students to the higher school of Russia): dis. ... d-ra psihol. nauk. SPb., 2001. 353 s.
 8. Maksimchuk E.D. Social'no-psihologicheskoe soprovozhdenie mezhkul'turnoj adaptacii inostrannykh studentov (Socio-psychological support of intercultural adaptation of foreign students) // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. 2015. № 11 (164). S. 87-92.
 9. Merenkov A.V., Antonova N.L., Dorozhinskaya E.S. Problemy social'noj adaptacii inostrannykh studentov v Ural'skom federal'nom universitete (Problems of social adaptation of foreign students in the Ural Federal University) // Izvestiya Ural'skogo federal'nogo universiteta. Seriya 3: Obshchestvennye nauki. 2013. T. 121. № 4. S. 185-192.
 10. Modnov S.I., Uhova L.V. Problemy adaptacii inostrannykh studentov, obuchayushchihsya v tekhnicheskome universitete (Adaptation problems of foreign students studying at a technical university) // YArslavskij pedagogicheskij vestnik. 2013. № 2. S. 111-115.
 11. Molodikova I.N. Mobil'nost' vypusnikov SNG i stran Baltii posle ucheby v zapadnykh universitetah (vozdejstvie territorial'nyh osobennostej) (Mobility of graduates of the CIS and the Baltic States after studying at Western universities (impact of territorial features)) // Migraciya v Rossii 2000–2012 gg. Hrestomatiya v 3 tomah / glavnyj red. I. S. Ivanov. T. 1. CH. 2. M.: Spekniga, 2013. S. 32-59.
 12. Poletaev D.V., Dement'eva S.V. Innovacionnye strategii razvitiya mezhdunarodnogo obrazovaniya v rakurse uchebnoj migracii v vuzy Rossii (Innovative strategies for the development of international education in the context of educational migration to Russian

- universities) // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2010. № 6. S. 128-134.
13. Poletaev D.V. Rol' uchebnoj migracii iz zarubezhnyh stran v social'no-ehkonomicheskom i demograficheskom razvitii Rossii (The role of educational migration from foreign countries in the socio-economic and demographic development of Russia) // Demoskop-Weekly. № 345. 28.09.2008. [EHlektronnyj resurs] – URL: <http://demoscope.ru/weekly/2008/0345/analit07.php>.
 14. Poletaev D.V. Sovremennye tendencii razvitiya obrazovatel'noj migracii (Current trends in the development of educational migration) // Migraciya v Rossii 2000–2012 gg. Hrestomatiya v 3 tomah / Glavnyj red. I. S. Ivanov. T. 1. CH. 2. M.: Spekniga, 2013. S. 390-406.
 15. Problemy inostrannyh studentov v Rossii: rezul'taty issledovaniya v ramkah programmy «Zashchita prav inostrannyh studentov v RF» (Problems of foreign students in Russia: the results of the research in the framework of the program “Protection of the Rights of Foreign Students in the Russian Federation”). Voronezh: Izd-vo Profsoyuza Literatorov, 2008. [EHlektronnyj resurs] – URL: http://www.citizens.ru/upload/iblock/923/book_inostudy_A5_2007_new.pdf.
 16. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik (Russian Statistical Yearbook). 2016: Stat.sb./Rosstat. M., 2016. 725 s.
 17. Ryazancev S.V., Pis'mennaya E.E. EHffekty inostrannoj uchebnoj migracii dlya Rossii (Effects of foreign educational migration for Russia) // Migraciya v Rossii 2000–2012 gg. Hrestomatiya v 3 tomah. / glavnyj red. I. S. Ivanov. T. 1. CH. 2. M.: Spekniga, 2013.
 18. Sokolova D.A. Adaptaciya inostrannyh studentov v polikul'turnoj obrazovatel'noj srede (Adaptation of foreign students in a multicultural educational environment) // Sociologicheskie issledovaniya. 2013. № 3. S. 114-117.
 19. Hachaturova M.R., Pol'shina O.A. Vybory inostrannyimi studentami strategij sovladayushchego povedeniya s trudnostyami vhozhdeniya v novuyu obrazovatel'nyuyu sredu (The choice of coping behavior strategies by foreign students with difficulties in entering a new educational environment) // Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Psihologiya. 2015. T. 9. № 2. S. 77-83.
 20. CHislennost' obuchayushchihsya, pedagogicheskogo i professorskoprepodavatel'skogo personala, chislo obrazovatel'nyh organizacij Rossijskoj Federacii. (Prognoz do 2020 goda i ocenka tendencij do 2030 goda). (Number of students, pedagogical and teaching staff, the number of educational organizations of the Russian Federation. (Forecast to 2020 and assessment of trends until 2030)). M.: Institut sociologii RAN, Centr social'nogo prognozirovaniya i marketinga, 2015. 270 s.

УДК 574.2/.9

Бондарь Е.В. [BondarE. V.],
Харин К.В. [KharinK.V.]

РЕИНТРОДУКЦИЯ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА *CERVIDAE* В ЗАКАЗНИКАХ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Reintroduce species of the family Cervidae in the reserves of the Stavropol territory

Рассмотрены основные этапы реинтродукции оленьих на территории Ставропольского края. Раскрыты исторический, ландшафтный и экологический принципы в размещении копытных. Дана экологическая характеристика косули, благородного и пятнистого оленей. Рассмотрено современное состояние реинтродуцированных видов семейства Cervidae. Проанализирована динамика численности оленьих за пятилетний период (2013–2017) в природных заказниках края. Проведен расчет оптимальной численности изучаемых видов для заказников Ставропольского края по I классу бонитета угодий. Проанализированы, нормативны допустимого изъятия охотничьих ресурсов и методики их расчетов. По результатам расчетов предложены пути оптимизации численности реинтродуцированных видов для заказников: «Сафонова дача», «Стрижамент» и «Александровский». В качестве основных мер по перераспределению поголовья предложена как возможность расширения площади существующих вольеров в сторону увеличения площади лесных угодий, так и переселения на другие участки заказников.

The main stages of the reintroduction of reindeer in the territory of Stavropol region. Reveals the historical, landscape and environmental principles in the location of prey. Given the ecological characteristics of Roe deer, red and Sika deer. Considers the current state reintroducing species of the family Cervidae. Analyzed the population dynamics of deer over a five year period (2013–2017) in natural reserves of the region. The calculation of the optimal number of the studied species for the protected areas of the Stavropol territory for the first class of bonitet land. Analyzed regulatory permissible withdrawal of hunting resources and methods of their calculations. The calculations suggested ways to streamline the number of reintroducing species for the protected areas: «Safonova a summer residence», «Strizhament» and «Alexander». The main measures for the redistribution of livestock is proposed as an opportunity to expand the area of the existing enclosures in the direction of increasing the area of forest land, and resettlement to other areas of the sanctuaries.

Ключевые слова: косуля, благородный олень, пятнистый олень, численность, бонитет, заказник.

Key words: Roe deer, red deer, Sika deer, abundance, capability, reserve.

Введение

В соответствии с законодательством Российской Федерации на территории Ставропольского края сформирована строгая система природоохранных мер и в первую очередь в сфере контроля численности редких и исчезающих животных. При этом возрастает интерес к охотничьим ресурсам, которые в крае рассредоточены по общедоступным охотничьим угодьям хозяйствам, охотничьим хозяйствам и в рамках сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ). В связи с реформированием системы охотничьего хозяйства края на территории 26 муниципальных районов края создано 86 обособленных охотничьих угодий, которые закреплены за различными

охотпользователями, а так же 26 общедоступных угодий (по одному в каждом районе). Все это требует строгого соблюдения лимитов и квот на добычу охотничьих видов.

Одной из привлекательных для охотников групп являются копытные животные. Начиная с середины XX в. в крае стали проводиться работы по реинтродукции копытных, так в 1956 г. 15 особей косуль (8 самок) из Приморского края и Киргизии были выпущены в урочище Темный лес. В 1973 г. 8 особей из Воронежской области были расселены в Георгиевском районе [4]. Этот опыт считается наиболее успешным по разведению косуль в нашей стране. В настоящее время косули стали неотъемлемой частью экосистем лесостепных ландшафтов Ставропольского края. Ее сегодня вполне можно считать аборигенным видом.

В конце прошлого века на территорию краевого заказника «Александровский» была выпущена партия пятнистых оленей. Часть пятнистых оленей, в настоящее время, содержится в полувольных условиях (вольер в лесу) на территории заказника «Стрижамент».

В начале XXIV в. заказник «Сафонова дача» завезена партия благородных оленей, поголовье содержится в полувольных условиях – вольере.

Для успешного проведения программы по реинтродукции представителей семейства оленей *Cervidae* огромную роль играет соблюдение целого ряда принципов позволяющих сохранить баланс между видами и популяциями реинтродуцентами и представителями местной флоры и фауны.

Стоит отдельно отметить исторический, ландшафтный и экологический принципы в размещении копытных.

В основе первого лежит создание новых популяций в пределах исторического ареала вида, но, как правило, такие территории в Ставропольском крае подвергнуты сегодня глубокой трансформации, поэтому чаще используются иные пригодные территории, где вид в историческое время и не обитал. Таким образом, речь идет о создании искусственно расширенного ареала и здесь важно учесть интересы современных обитателей данного биотопа.

Ландшафтный принцип заключается в поиске нового для вида ландшафта по свойствам полностью идентичного исходному. В данном случае необходимо полнить об экологической пластичности представителей семейства *Cervidae*. Следовательно, в определенных пределах различия ландшафтных условий не являются ведущим критерием при определении степени пригодности той или иной территории для освоения новым родом семейства.

Третий принцип – экологический. Именно выявление экологической пригодности территории является важнейшим условием сохранения динамического равновесия в экосистеме при создании новой популяции или ее развитии. Экологические возможности территории в каждом конкретном случае различны, но характеристика их обязательно включает сведения о наличии, запасах и доступности кормов, об убежищах, условиях необходимых для раз-

множения вида, о возможных врагах, конкурентах и болезнях, а также о максимальных и средних климатических параметрах. С экологических позиций необходимо учесть возможности воздействия новой популяции на биоценозы ведь она выступает как эволюционно новое звено, а это может привести, по крайней мере, к нежелательным последствиям (в виде конкуренции с аборигенными видами) или даже к нарушению биологического равновесия. Особенно остро такая проблема может быть выражена при создании новых популяций на охраняемых территориях, где охраняются особо ценные экосистемы.

Целью работы является расчет оптимальной численности представителей семейства *Cervidae* обитающих на территории ООПТ Ставропольского края.

Материалы и методы исследования

Род настоящие олени (*Cervus*) на территории края представлен двумя видами: Благородный олень (*Cervus elaphus*) и Пятнистый олень (*Cervus nippon*).

Благородный олень следует считать эвритопным видом. Он потребляет сравнительно много пищи и весьма существенно влияет на фитоценозы, повреждая подрост и подлесок на высоте 0,8-2 м. В весенне-летний период в его рационе 70% составляют травянистые растения, предпочитая злаки и бобовые, 17% древесно-кустарниковые породы, и 10 % – остальные. Охотно поедают побеги дуба, бука, граба, ивы, клена.

В зимний период маралы переключаются на питание древесно-кустарниковой растительностью, поедая древесную кору, почки и побеги бука, клена, ясеня, осины, дуба, липы, черемухи, ивы, бересклета, калины. Животные данного вида потребляют также оملы и плющи.

В целом, по сравнению трофических спектров пятнистого оленя и систематически близкого ему оленя благородного (*Cervus elaphus*), следует отметить большую «травоядность» настоящего оленя и более выраженную дендрофагию пятнистого оленя.

В искусственном ареале возникает проблема сохранения в чистоте генофонда двух близкородственных видов – пятнистого и благородного оленя, свободно скрещивающихся между собой, что приведет к образованию гибридных особей. Охотничьи организации Ставропольского края в недалеком будущем окажутся перед выбором разведения лишь одного из этих видов оленей.

Род косуль (*Capreolus capreolus*) в целом можно характеризовать как лесостепной вид. Животные избегают больших лесных массивов, предпочитая опушки. Передвижение прыжками длиной до 7 м с периодическими подпрыгиваниями вверх до 2 м. более роднит их с обитателями саван чем с лесными жителями. В агрокультурном безлесом ландшафте звери отсутствуют

или их плотность их популяции мала. Она многочисленна там, где поля имеют сеть полевых защитных полос или мозаику лесов.

Косуля, по сравнению с оленями, проявляет более высокую степень экологической пластичности по отношению к условиям обитания. Заселяя лесные угодья и прилегающие к ним участки степей, косуля хорошо адаптировалась также к обитанию в агроценозах и лесополосах. Искусственно созданная сеть лесополос, служащих миграционными путями, во многом способствовала восстановлению ареала этого вида. Плотность населения косули распределена по территории края неравномерно. В полупустынной зоне данный вид практически не встречается.

Распределение косули по станциям подвижно и зависит в первую очередь от доступности кормовых угодий и их пищевой ценности. Несмотря на то, что косули имеют в своем рационе очень широкий спектр кормов, предпочтение все же отдают легкоусвояемой пище, богатой питательными веществами и водой отсюда и предпочитаемые местообитания.

При бонитировке угодий для косули оцениваются как лесные, так и открытые угодья, примыкающие к лесу на расстояние до 0,5 км. Наиболее благоприятны для обитания косули: старые смешанные широколиственные и хвойные леса с сомкнутостью не более 0,7 и наличием большого числа полян и прогалин; смешанные молодняки с ясенем, дубом и т.д. В подлеске обязательно растут бересклет, крушина, а покров представлен богатым разнотравьем.

Леса Ставропольского края представлены тремя типами: плакорными, байрачными и пойменными. Современные леса являются вторичными, в их состав входят: граб кавказский (*Caprinus caucasica* Grossh.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) и клен полевой (*Acer campestre* L.) (Кононов, 1962). Помимо основных пород встречаются: груша кавказская (*Pyrus caucasica* Fed.), яблоня восточная (*Malus orientalis* Uglitzk.), изредка вишня птичья (дикая черешня) (*Prunus avium* (L.) L.). Подлесок представлен такими кустарниками, как боярышник пятипестичный (*Crataegus pentagyna* Waldst. Et Kit), кизил обыкновенный (*Cornus mas* L.), бирючина обыкновенная (*Ligustrum vulgare* L.), свидина южная (*Swida australis* (S. A. Mey) Pojarkex Grossh.), сирень (*Syringa* L.), калина обыкновенная (*Viburnum lantana* L.), шиповник (*Rosa canina* L.), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosa* Scop.) и другие. На опушках леса растут слива колючая (*Prunus spinosa* L.) и крушина ломкая (*Frangula alnus* Mill.), алыча (*Prunus cerasifera* Ehrh.). На влажных территориях вдоль ручьев, у выходов травертиновых родников, произрастают реликты неогена – толстостенка крупнолистная (*Pachyphragma macrophyllum* (Hoffm.) N. Bush). Жесткие хвощи (*Equisetum* L.), белокопытник белый (*Petasites albus* (L.) Gaertn.) и борщевик сибирский (*Heracleum sibiricum* L.) образуют на дне балок непроходимые заросли [2].

Травянистый покров лесов представлен, в основном, пролеской сибирской (*Scilla sibirica* Haw.), хохлаткой кавказской (*Corydalis caucasica* DC.), зубянской пятилистной (*Dentaria quinquefolia* Bieb.), фиалкой душистой (*Viola odorata* L.), птицемлечником понтийским (*Ornithogalum ponticum* Zahar); реже встречаются подснежник кавказский (*Galanthus caucasicus* (Baker) Grossh.), кандык кавказский (*Erythronium caucasicum* Woronow), ландыш закавказский (*Convallariatrans caucasica* Utkinex Grossh.). В долинах рек растут пойменные леса, представленные тополем белым (*Populus alba* L.), кленом полевым (*Acer campestre* L.), бересклетом бородавчатым (*Euonymus verrucosus* Scop.) и европейским (*Euonymus europaeus* L.), сливой колючей (*Prunus spinosa* L.).

В лесополосах доминируют такие породы деревьев, как гледичия (*Gleditsia triacanthos* L.), ильм граболистный (*Ulmus carpinifolia* Ruprex Suckow), дуб (*Quercus* L.), абрикос (*Prunus armeniaca* L.), лох узколистный (*Elaeagnus angustifolia* L.), клен полевой (*Acer campestre* L.), орех грецкий (*Juglans regia* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), алыча и груша кавказская. В междурядьях встречаются слива колючая, боярышник пятипестичный, бересклет бородавчатый, свидина южная и другие.

Все эти растения в той или иной степени, в зависимости от сезона и стадии входят в рацион и выступают стадиями обитания для представителей семейства оленей, обитающих в заказниках края.

Экологические ниши изучаемых животных перекрываются, так как это близкородственные виды, а также следует помнить, что в рассматриваемых биотопах для косули серьезными конкурентами могут выступать и зайцы.

Косули из всех рассмотренных животных более остро нуждаются в наиболее питательном и легкопереваримом корме, тогда как другие жвачные в состоянии обходиться более грубой пищей. Именно по причине конкуренции из-за качественных кормов косули оказываются в менее выгодном положении, чему еще способствует меньшие размеры тела и, следовательно, меньшая «кормовая зона». Благородный и пятнистый олени способны вытеснить косуль из лучших угодий, а зимой мешают использовать зимнюю подкормку, отгоняя от кормушек.

В основу выполнения работы легли данные министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края [3], государственного казенного учреждения «Дирекция особо охраняемых природных территорий Ставропольского края». Расчет оптимальной численности проводился в соответствии с «Указаниями по проектированию охотничьих и лесохотничьих хозяйств» (1989) [7], также материалы собственных многолетних исследований [1].

При выполнении расчетов использовалась шкала оптимальной численности охотничьих животных на 1000 га угодий разных классов бонитетов (табл. 1).

Таблица 1. ШКАЛА ОПТИМАЛЬНОЙ ЧИСЛЕННОСТИ ОХОТНИЧЬИХ ЖИВОТНЫХ НА 1000 ГА УГОДИЙ РАЗНЫХ БОНИТЕТОВ

Вид животных	Класс бонитета				
	I хорошие	II вышесредние	III средние	IV низесредние	V плохие
Олень	20 и более 13	20-12 16	12-8 10	8-2 5	2 и менее 1
Косуля	80 и более 100	80-50 60	50-30 40	30-10 20	10 и менее 5

В числителе таблицы 1 приводятся минимальное и максимальное значения оптимальной численности животных, а в знаменателе – средний показатель оптимальной численности. Приведенная шкала оптимальной численности животных конкурентов (олень, лось, косуля) для угодий разных бонитетов рассчитана при условии, что в угодьях будет обитать только один из этих видов. В тех случаях, когда в угодьях обитает два или три конкурирующих вида, расчет оптимальной численности производится в так называемых условных косульях единицах. Зная, что четыре косули эквивалентны одному оленю, а восемь косуль – одному лосю, можно рассчитать оптимальную численность для этих видов. Удобство такого расчета состоит в том, что при необходимости можно отдать предпочтение любому из этих видов.

Чтобы полученный показатель был постоянен во времени и характеризовал весь комплекс факторов среды, определяющих в течение всего года условия существования популяции, за класс по видового бонитета приняли степень пригодности территории для круглогодичного обитания изучаемых животных.

Объектом бонитировки выбраны единицы территориального плана, включающие комплекс угодий, обеспечивающих возможность обитания животных на протяжении всего года, и где представители семейства Оленьих по учетам фиксируются на протяжении 5–10 лет. Таковыми являются территории заказников краевого значения (рис. 1).

Расчеты проведены отдельно для лесных станций, для общей площади угодий, аналогично представлены данные по заказникам с вольерами.

По данным государственного казенного учреждения «Дирекция особо охраняемых природных территорий Ставропольского края» численность представителей семейства оленей по данным зимнего учета на территории государственных природных заказников по состоянию на 15.03.2017 года составила:

- оленя пятнистого – 174,
- благородного оленя – 40,
- косули – 762 головы.

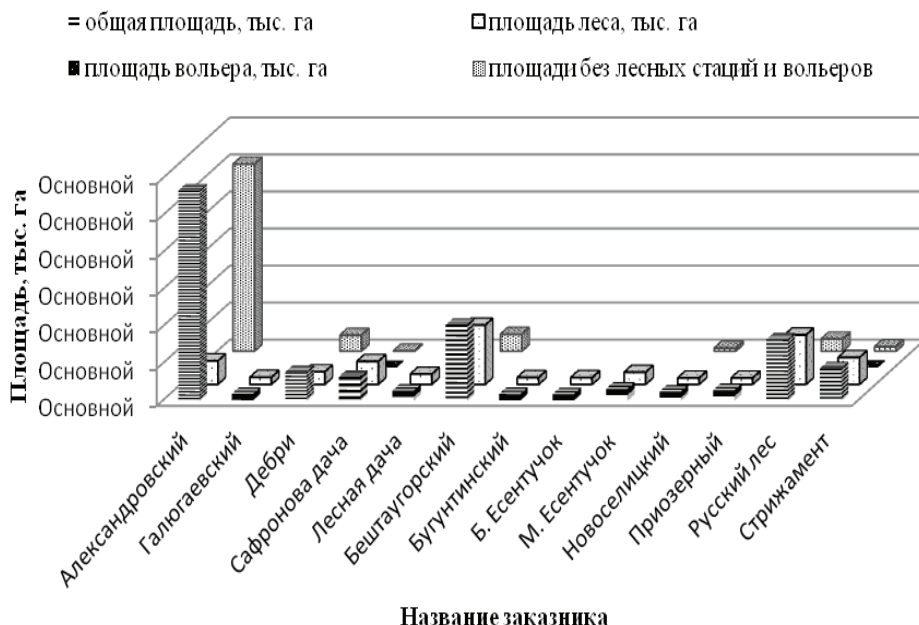


Рисунок 1. Площади угодий заказников Ставропольского края.

Результаты и их обсуждение

Бонитировка, согласно методике, велась в отношении угодий, свойственных для изучаемых охотничьих видов. Все исследуемые территории условно оценены как хорошие (I класс бонитета по косуле как абorigенного вида). Для них характерны высокие защитные свойства, обильная разнообразная и устойчивая по годам кормовая база.

Полученные в ходе расчетов результаты представлены в таблицах 2 и 3. В таблице 2 приведены расчеты для заказников, где косуля является единственным представителем копытных, а в таблице 3 представлены результаты по заказникам, где совместно обитают представители двух и более видов копытных.

Таким образом, во всех рассматриваемых заказниках численность косуль далека от расчетной оптимальной по I классу бонитета.

В вольере заказника «Сафонова дача» ситуация с благородным оленем катастрофическая – перенаселение вольера. Проведенные расчеты показали, что заселенное количество оленей изначально не соответствовало критерию площади лесопокрываемой территории необходимой для возможного существования рассматриваемой группировки животных. Необходимо принять срочные меры по перераспределению поголовья, при невыполнимости условия расселения животных предлагается рассмотреть возможность расширения площади существующего вольера в сторону увеличения лесных угодий,

Таблица 2. РАСЧЕТНАЯ ОПТИМАЛЬНАЯ ЧИСЛЕННОСТЬ КОСУЛИ В ЗАКАЗНИКАХ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Заказник	Численность	Расчетная оптимальная численность для I класса бонитета	
		Оптимальная численность для общей площади участка (голов)	Оптимальная численность в лесных стациях (голов)
	КОСУЛЯ		
Лесная дача	6	138	138
Бештаугорский	98	1028	800
Бугунтинский	47	93	93
Большой Ессентучок	18	92	92
Малый Ессентучок	3	164	164
Новоселицкий	11	127	86
Приозерный	13	146	86
Русский лес	115	831	667
Стрижамент	114	438	362
Сафонова дача	20	324	300
БЛАГОРОДНЫЙ ОЛЕНЬ			
Галюгаевский	24	29	29
Сафонова дача	13	3	0
Пятнистый олень			
Стрижамент	4	5	4

в противном случае возможна гибели группы в первую очередь из-за нехватки кормовой базы.

В заказнике «Стрижамент» ситуация близка к критической – достигнут предел насыщения кормовых участков для пятнистого оленя. В связи, чем в целях поддержания репродуктивной функции животных необходимо пересмотреть площадь вольера в сторону увеличения лесных площадей.

В «Александровском» заказнике обитает (рис. 2) 155 пятнистых оленей, что составляет 620 условных косульх единиц, а с учетом косуль общая сумма составляет 864 косульх единицы, т.е. возможна значительная нагрузка на лесные станции. В данном случае необходимо строго контролировать численность обеих групп конкурирующих видов.

Таблица 3. РАСЧЕТНАЯ ОПТИМАЛЬНАЯ ЧИСЛЕННОСТЬ КОПЫТНЫХ ОБИТАЮЩИХ В ОБЩИХ БИОТОПАХ ЗАКАЗНИКОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Заказник	Численность				Расчетная оптимальная численность для I класса бонитета (голов, косуль условные единицы)	
	Пятнистый олень	Косуля	Благородный олень	Косульх единиц	Оптимальная численность для общей площади участка	Оптимальная численность в лесных стациях
Александровский	155	244	–	864	2842	317
Дебри		56	3	68	389	170

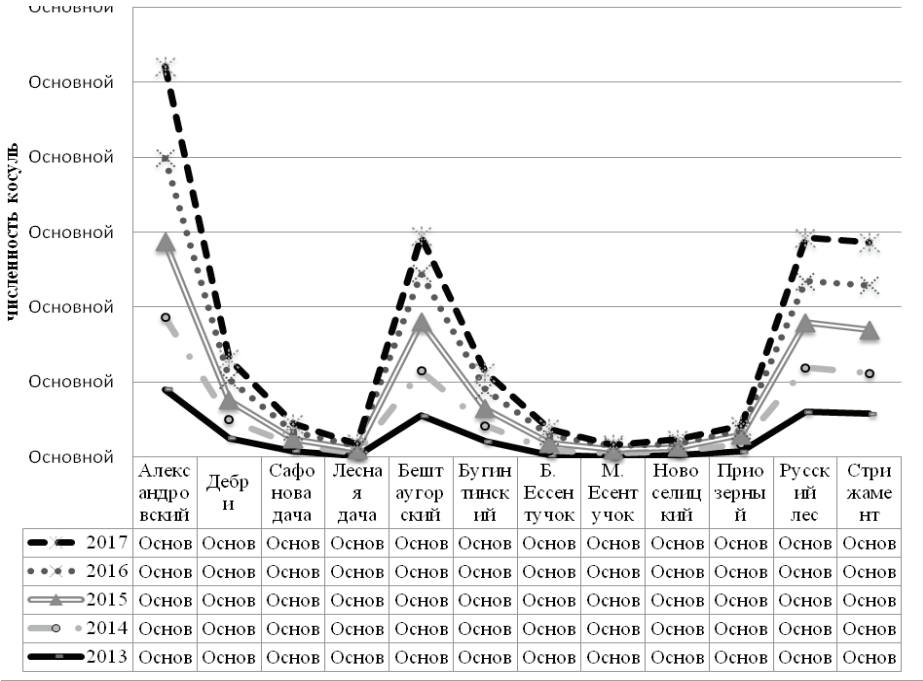


Рисунок 2. Динамика численности косуль в заказниках Ставропольского края.

Следует учитывать и тот факт, что численность косули в 2017 году по заказникам «М. Ессентуок», «Бештаугорский» (рис. 2) несмотря на значительную ресурсную базу (кормовые угодья, места для укрытия) отрицательна и необходимо установит причины складывающейся ситуации в связи с отсутствием данных о половой и возрастной структуре.

Согласно сводной ведомости государственного учета, численность охотничьих ресурсов, в отношении которых утверждается лимит добычи, в Ставропольском крае по состоянию на 1 марта 2017 года составила по видам: косуля – 1636 особей; пятнистый олень – 187 особей; благородный олень – 40 особей, из них на территорию приходится ООПТ косуля – 762 особи; пятнистый олень – 174 особей; благородный олень – 40 особей. 874 косули находятся на территории охотхозяйств края, а пятнистых оленей – 13.

Выводы

При расчетах лимитов и квот добычи копытных нормативные документы (приказ Минприроды России от 29 июня 2010 г. № 228 «Об утверждении порядка принятия документа об утверждении лимита добычи охотничьих ресурсов, внесения в него изменений и требований к его содержанию» [5] и приказ Минприроды России от 30 апреля 2010 г. № 138 «Об утверждении нормативов допустимого изъятия охотничьих ресурсов и нормативов численности охотничьих ресурсов в охотничьих угодьях» [с изменениями и дополнениями]) [6] не требуют учитывать факт обитания конкурирующих охотничьих видов на общей территории, как это отмечается в ряде заказников Ставропольского края. Кроме того, при расчетах из площади угодий пригодных для обитания в ряде случаев, не учитывается наличие вольеров в ООПТ, а расчет ведется на всю площадь заказника.

Следовательно, реальные площади пригодных мест обитания иные, что учтено в представленных нами расчетах, но не учитывается при утверждении лимитов добычи охотничьих ресурсов.

Представленные данные, по оптимальной численности копытных, рассчитаны согласно действующим «Указаниям по проектированию охотничьих и лесохозяйственных хозяйств» (1989), где средний показатель оптимальной численности для косули равен 100, что согласуется с показателем максимальной численности охотничьих ресурсов (особей) на 1000 га охотничьих угодий, приводимом в Приказе Минприроды России от 30 апреля 2010 г. № 138, а для других представителей семейства Оленей средний показатель оптимальной численности принят равным 30, тогда как в вышеназванном приказе предлагается показатель до 40 особей для благородного оленя и до 50 для пятнистого оленя, что существенно сказывается на показателях оптимальных значений численности в пользу увеличения лимитов на отстрел животных.

Проведенный расчет показал не совершенство применения приказа от Минприроды от 30.04.10 № 138. В связи с чем мы предлагаем для расчетов квот в пределах ООПТ опираться и на «Указания по проектированию охотничьих и лесохозяйственных хозяйств» (1989), что позволит поддерживать оптимальную численность копытных, которая в настоящее время значительно ниже расчетной.

Библиографический список

1. Груздев П.В., Бондарь Е.В. Сравнительная и возрастная макромикроанатомия сосудистого русла желудка диких жвачных животных (монография). Невинномысск: Изд-во НТГТИ, 2005. 230 с.
2. Иванов А.Л. Конспект флоры Ставрополья. 2-е издание, исп. и доп. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2001. 200 с.
3. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края - Перечень особо охраняемых природных территорий краевого значения в Ставропольском крае по состоянию на 1 января 2017 года. URL: http://www.mpr26.ru/oort/?SHOWALL_1=1 (дата обращения: 17.01.2017)
4. Павлов М.П., Корсакова И.Б., Лавров Н.П. Акклиматизация охотничье-промысловых зверей и птиц в СССР. Киров, Волго-Вятское кн. изд-во, Кировское отделение, 1974. 460 с.
5. Приказ Минприроды России от 29.06.2010 N 228 (ред. от 06.09.2012) «Об утверждении порядка принятия документа об утверждении лимита добычи охотничьих ресурсов, внесения в него изменений и требований к его содержанию» (Зарегистрировано в Минюсте России 16.08.2010 N 18158) URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103923/ (дата обращения: 25.05.2017)
6. Приказ Минприроды России от 30 апреля 2010 г. № 138 «Об утверждении нормативов допустимого изъятия охотничьих ресурсов и нормативов численности охотничьих ресурсов в охотничьих угодьях» (с изменениями и дополнениями). URL: <http://base.garant.ru/12176666/> (дата обращения: 25.05.2017)
7. Указания по проектированию охотничьих и лесохозяйственных хозяйств. Москва, 1989. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9032336> (дата обращения: 15.05.2017).

References

1. Gruzdev, P. V., Bondar E. V. Sravnitel'naya i vozrastnaya makromikroanatomya sosudistogo rusla zheludka dikih zhvachnykh zhivotnykh (monografiya). (Comparative and age macromycetae vascular bed of the stomach of wild ruminants (monograph)). Nevinnomyssk: Izd-vo NTGTI, 2005. 230 p.
2. Ivanov, A. L. Konspekt flory Stavropol'ya. (synopsis of the flora of Stavropol) 2-e izdanie, isp. i dop. Stavropol': Izd-vo SGU, 2001. 200 p.
3. Ministerstvo prirodnih resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Stavropol'skogokraya -Perechen'osobo ohranyaemykh prirodnih territorij kraevogo znacheniya v Stavropol'skom krae po sostoyaniyu na 1 yanvarya 2017 goda.
4. Pavlov M.P., Korsakova I.B., Lavrov N.P. Akklimatizatsiya ohotnich'e-promyslovykh zverej i ptic v SSSR. (Acclimatization of the hunting

animals and birds in the USSR.) Kirov, Volgo-Vyatskoe kn. izd-vo, Kirovskoe otделение, 1974. 460 p.

5. Приказ Минприроды России от 29.06.2010 N 228 (red. от 06.09.2012) «Об утверждении порядка принятия документа об утверждении лимита добычи охотничьих ресурсов, внесения в него изменений и требований к его содержанию» (Зарегистрировано в Минюсте России 16.08.2010 N 18158) (The order of Ministry of Russia from 29.06.2010 № 228 (edited on 06.09.2012) «On approval of the procedure of adoption of the document of approval of the limit of extraction of the hunting resources, entering into it of changes and requirements to its content» (Registered in Ministry of justice of Russia 16.08.2010 № 18158)) URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103923/ (data obrashcheniya: 25.05. 2017).
6. Приказ Минприроды России от 30 апреля 2010 г. № 138 «Об утверждении нормативов допустимого изъятия охотничьих ресурсов и нормативов численности охотничьих ресурсов в охотничьих угодьях» (с изменениями и дополнениями). (The order of Ministry of Russia from April, 30th, 2010 № 138 «On approval of standards for permissible withdrawal of hunting resources and specifications of number of the hunting resources in the hunting grounds» (with changes and additions)) URL: <http://base.garant.ru/12176666/> (date accessed: 25.05.2017)
7. Указания по проектированию охотничьих и лесохотничьих хозяйств. (Guidelines for the design of hunting and hunting farms.) Москва, 1989. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9032336> (data obrashcheniya: 15.05.2017).

УДК 551.509.616

Ватиашвили М.Р. [Vatiashvili M.R.]

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ ОТРАЖАЕМОСТЬ ОБЛАКОВ И ОСАДКОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ДЛИНАХ ВОЛН

Radar reflection of cloud and weather precipitation at the various waves

Проведен краткий анализ технических характеристик автоматизированных метеорологических радиолокаторов, с помощью которых по данным инструментальных измерений, рассчитывались постоянные радиолокатора C_{λ_i} и C'_{λ_i} для трех каналов – $\lambda_1 = 3,2$ см; $\lambda_2 = 10,3$ см; $\lambda_3 = 5,6$ см. С помощью C_{λ_i} , с учетом длины волны, рассчитывалась удельная площадь обратного рассеяния частиц облаков и осадков (ОО η_{λ} , см⁻¹), а без учета длины волны – характеристики радиолокационной отражаемости ОО (Z , мм⁶ · м⁻³) с различными единицами измерений. Составлены таблицы и карты, связывающие значения η_{λ} и Z , которые могут быть использованы: для перевода значений η_{λ} в значения Z и обратно, а также для оценки градоопасности защищаемых и прилегающих территорий районов исследуемого региона. Полученные результаты могут быть применены при планировании и проведении проектов по воздействию на градовые процессы и искусственному увеличению осадков из облаков; совершенствовании существующих и разработке новых радиолокационных критериев градоопасности объектов воздействия и пригодности облаков для искусственного вызывания осадков; методов оценки физической и экономической эффективности при проведении противоградовых работ и работ по искусственному увеличению осадков.

The article gives a brief analysis of technical features of automated meteorological radars by means of which radar constant data (C_{λ_i}) for three channels – $\lambda_1 = 3,2$ cm, $\lambda_2 = 10,3$ cm, $\lambda_3 = 5,6$ cm, were calculated according to the instrumentation measurements. Taking into account the wave-length, by means of C_{λ_i} the specific particle backscattering area of cloud and weather precipitation (later CWP) η_{λ} , cm⁻¹ was calculated, and without taking into account the wave-length – radar reflection of CWP (Z , mm⁶ · m⁻³) at different units. Tables connecting η_{λ} and Z that may be used for converting the value of η_{λ} into the value of Z and vice-versa have been compiled. The obtained results can be applied for planning and implementing projects on affecting hailing and man-made increasing of cloud precipitation; perfecting the present and developing the new ones: radar criteria of hail risk of target objects and cloud suitability for artificial precipitation provoking; evaluation methods of physical and economic efficiency when executing anti-hail works as well as works on man-made precipitation increasing.

Ключевые слова: автоматизированные метеорологические радиолокаторы, радиолокационная отражаемость, постоянная радиолокатора, единицы измерения размерности.

Key words: automated meteorological radars, radar reflection, radar constant, dimension units.

Введение

Центральный Кавказ является одним из самых градоопасных регионов мира, где от градобитий ежегодно погибает от 3 до 18% сельскохозяйственной (с/х) продукции на площади 3 млн 321 тыс. га. В его северной части расположены защищаемые территории (ЗТ) Военизированных служб (ВС) Российской Федерации (районы Краснодарского и Ставропольского краев, Кабардино-Балкарской и Карачаево-Черкесской республик и Республики Северная Осетия – Алания), а в южной части – ЗТ ВС Республики Грузия (районы Кахети и Квемо Картли) [13].

В ВС Российской Федерации установлены автоматизированные метеорологические радиолокаторы (АСУ-МРЛ) с каналами длин волн $\lambda = 3,2$ см и $\lambda = 10,3$ см, а в ВС Республики Грузия – автоматизированный доплеровский метеолокатор «METEOR 735 CDP 10» с каналом $\lambda = 5,6$ см. Градоопасность районов ЗТ ВС региона Центрального Кавказа оценивается по данным метеостанций, в зависимости от числа дней с градом и количества, поврежденных от него площадей сельскохозяйственных культур.

Целью представленной работы является разработка объективного метода оценки градоопасности районов ЗТ ВС региона Центрального Кавказа по данным автоматизированных МРЛ.

1. Материалы и методы исследования

Материалами исследования послужили радиолокационные параметры облаков и осадков (ОО), которые измерялись в реальном масштабе времени в регионе Центрального Кавказа и сопровождалась катастрофическими ливневыми осадками, грозами, градобитиями и шквалами различной силы. Анализировались также радиолокационные параметры ОО, которые выбирались из монографий и статей; научно-исследовательских программ и проектов, посвященных вопросам штормоповещения и физики облаков; отчетов научно-производственных и производственных работ по воздействию на градовые процессы и искусственному увеличению осадков. В анализе и обобщении результатов радиолокационных параметров ОО привлекался физико-статистический метод исследования.

2. Результаты исследования и их обсуждение

Метод объективной оценки градоопасности районов ЗТ ВС региона Центрального Кавказа предусматривает:

- физическую интерпретацию технических характеристик автоматизированных МРЛ, с помощью которых по данным инструментальных измерений, рассчитывались постоянные радиолокатора C_{λ_i} и C'_{λ_i} ;
- расчет с помощью C_{λ_i} удельной площади обратного рассеяния частиц (η_{λ_i} , см⁻¹) ОО с учетом длины волны;
- расчет с помощью C'_{λ_i} характеристик радиолокационной отражаемости ОО (Z , мм⁶ · м⁻³) с различными единицами измерений Z_r (dBZ) и Z_d (dBZ), $\lg Z_r$ и $\lg Z_d$ без учета длины волны;
- обсуждение полученных результатов.

2.1. Физическая интерпретация технических характеристик МРЛ и характеристик радиолокационной отражаемости ОО

Применение МРЛ основано на рассеянии радиоволн сан-

тиметрового диапазона частицами ОО, встречающихся в виде капель дождя, градин, кристаллов, снежинок и их различных комбинаций. МРЛ обладают рядом специфических особенностей, которые обеспечивают их высокую эффективность при обнаружении и измерении параметров метеообразований. Распределение многочисленных источников излучения в облаке создает суммарный отраженный сигнал, который несет метеорологическую информацию об отражающих объемах ОО. Среднее значение принимаемого сигнала $P_{\text{пр}}$ (Вт) на входе приемника МРЛ зависит от их технических характеристик и радиолокационных параметров ОО, рассчитанных в диапазоне различных длин волн: $\lambda_1 = 3,2$ см; $\lambda_2 = 10,3$ см; $\lambda_3 = 5,6$ см [6-8, 14, 15, 17, 18, 20].

Зависимость между этими параметрами выражается уравнением радиолокации атмосферных образований и получена для однократного рассеивания частиц, при условии их взаимной независимости друг от друга [6-8, 14-18, 19]:

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{пер}} G^2 \lambda^2 c \tau \Theta^2}{4^5 \ln 2 \pi^2 10^{0,1\zeta}} \frac{\eta_{\lambda}}{R^2} K_{\text{ав}} K_{\text{зап}} K_{\text{РПУ}} K_3 \quad (1)$$

- где $P_{\text{пер}}$ – импульсная мощность электромагнитных колебаний, регулируемых передатчиком МРЛ (Вт);
- G – коэффициент усиления антенны;
- λ – длина волны (см);
- c – скорость света (см/с);
- τ – длительность импульса (сек);
- π – 3,14;
- Θ – диаграмма направленности излучения антенны (радиан);
- $K_{\text{ав}}$ – коэффициент полезного действия антенно-волноводного тракта на прием и передачу (в соответствии с техническим паспортом может изменяться от 0,2 до 10 дБ);
- $K_{\text{зап}}$ – коэффициент заполнения радиолокационного объема частицами ОО;
- $K_{\text{РПУ}}$ – коэффициент учета ослабления в пленке воды, образуемой на оболочке радиопрозрачного укрытия (РПУ) антенны в период выпадения осадков на месте установки МРЛ;
- K_3 – коэффициент, учитывающий влияние подстилающей поверхности на диаграмму направленности антенны МРЛ;
- ζ – ослабление радиоволн в газах атмосферы при их распространении на пути $2R$;
- η_{λ} – удельная площадь обратного рассеяния частиц (см⁻¹) ОО.

К информативным радиолокационным характеристикам отражаемости ОО, рассчитанных с помощью технических характеристик МРЛ, относятся.

Эффективная площадь обратного рассеяния i -й частицы (σ_i , см²) ОО

Она рассчитывается следующим выражением при выполнении рэлеевских условий рассеяния электромагнитного излучения:

$$\sigma_i = \frac{64\pi^5 r^6}{\lambda^6} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 = \frac{\pi^5 D^6}{\lambda^6} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 \quad (2)$$

где m – комплексный показатель преломления вещества частицы на длине волны λ_i ;

D и r – диаметр и радиус рассеивающих частиц;
 $\left| \frac{m_B^2 - 1}{m_B^2 + 2} \right|^2 = 0,93 \pm 0,004$ – множитель для воды в сантиметровом диапазоне длин волн;

$\left| \frac{m_L^2 - 1}{m_L^2 + 2} \right|^2 = 0,197$ – множитель для льда единичной плотности.

Удельная площадь обратного рассеяния частиц (η_λ , см⁻¹) ОО

Она представляет суммарную эффективную площадь обратного рассеяния единичного объема ОО, заполненного рассеивающими частицами: каплями, кристаллами и т. д.

$$\eta = \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_i}{V_\Sigma} \quad (3)$$

где η_λ (м⁻¹), N – число рассеивающих частиц в эффективном объеме V отражающей области.

Уравнение (2), с учетом уравнения (1), примет следующий вид:

$$\eta = \frac{64\pi^5}{\lambda^4} r^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 \sum_{i=1}^N \frac{D_i^6}{V_\Sigma} \quad (4)$$

Радиолокационная отражаемость (Z , мм⁶ м⁻³) ОО

Она характеризует отражающие свойства единичного объема ОО и/или сумму, возведенных в шестую степень диаметров частиц, находящихся в единице объема V_Σ :

$$Z = \sum_{i=1}^N \frac{D_i^6}{V_\Sigma} \quad (5)$$

где Z измеряется в мм⁶·м⁻³ или в Z (dBZ) относительно $Z_0 = 1$ мм⁶·м⁻³ (dBZ) или

$$Z \left(\frac{\text{мм}^6}{\text{м}^3} \right) = 10^{18} Z (\text{м}^3) = 10^{12} Z (\text{см}^3), \quad (6)$$

$$Z (\text{dBZ}) = 10 \lg \frac{Z}{Z_0}. \quad (7)$$

Если Z определяется через радиус частицы, то

$$Z_r (dBZ) = Z (dBZ) - 18. \quad (8)$$

Значение Z (м^3) рассчитывается следующим уравнением:

$$Z = \frac{\lambda^4}{\pi^5} \eta, \quad (9)$$

где λ (м), η (м^{-1}) и Z (м^3).

Эквивалентная радиолокационная отражаемость ($Z_{\text{э}}$, м^3) ОО

Она характеризует свойства единичного объема (м^3) ОО и равна отражаемости капельного облака, формирующего равный по амплитуде сигнал:

$$Z_{\text{э}} = \frac{\lambda^4 \eta}{\pi^5 \left| \frac{m_{\text{в}}^2 - 1}{m_{\text{в}}^2 + 2} \right|^2}, \quad (10)$$

где для водяных частиц $Z_{\text{э}} = Z$, а для ледяных частиц

$$Z_{\text{э}} = \left\{ \left| \frac{m_{\text{л}}^2 - 1}{m_{\text{л}}^2 + 2} \right|^2 / \left| \frac{m_{\text{в}}^2 - 1}{m_{\text{в}}^2 + 2} \right|^2 \right\} Z \text{ или} \quad (11)$$

$$Z_{\text{э}} = (0,189 / 0,224) Z \quad (12)$$

Для частиц, отличных от рэлеевских, имеем

$$Z_{\text{э}} = 3,52 \cdot 10^9 \eta \lambda^4, \quad (13)$$

где η – в см^{-1} , λ – в сантиметрах.

Перечисленные технические характеристики МРЛ и радиолокационные параметры ОО, однозначно характеризующие условия формирования опасных явлений погоды (грозы, град, шквалы, ливень, обложные осадки), легли в основу:

- изучения структуры и динамики развития ОО [3];
- совершенствованных и разработанных новых методов радиолокационного диагноза и сверхкраткосрочного прогноза опасных явлений погоды, развивающихся в естествен-

- ных условиях и при проведении на них активных воздействий [1-5, 8-13];
- оценки критериев засева объектов воздействия (ОВ) 1–4-й категорий [1, 2, 7, 8, 10–13] и пригодности облаков для воздействия в работах по воздействию на градовые процессы и искусственному увеличению осадков, соответственно [13, 19];
 - совершенствованных и разработанных методов: активных воздействий на градовые процессы и по искусственному увеличению осадков, а также оценки их физической и экономической эффективности [1-5, 10-13].

2.2. Расчет значений C_λ МРЛ и η_λ ОО

Разделив обе части уравнения (1) на $P_{\text{пр}} = P_0$ (соответственно уровень шумов приемного устройства и минимальная мощность отраженного сигнала) и положив $K_{\text{зап}} = 1$, $K_{\text{ав}} = 1$, $K_3 = 1$, а также, объединив технические параметры МРЛ в одну постоянную величину (C_λ), получим уравнение радиолокации атмосферных образований с учетом длины волны (λ) и способа измерений отраженных сигналов:

$$\frac{P_{\text{пр}}}{P_0} = C_\lambda \frac{\eta_\lambda}{R^2}, \text{ где} \quad (14)$$

$$C_\lambda = \frac{P_{\text{пер}} G^2 \lambda^2 c \tau \Theta^2}{P_0 4^5 \ln 2 \pi^2 10^{0,1\zeta}} K_{\text{РПУ}} K_{\text{ав}} \quad (15)$$

$$\eta_\lambda = \frac{\frac{P_{\text{пр}}}{P_0} R^2}{C_\lambda} = \frac{\left(10 \lg \frac{P_{\text{пр}}}{P_0} = n \right) R^2}{C_\lambda} = \frac{10^{0,1n}}{C_\lambda} R^2 \quad (16)$$

Обозначим свободные члены, входящие в уравнение (15) буквой

$$f = \frac{c}{4^5 \ln 2 \pi^2} = 4,286 \cdot 10^6 \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (17)$$

тогда уравнение (15) с учетом уравнения (17) примет следующий вид:

$$C_\lambda = \frac{P_{\text{пер}} G^2 \lambda^2 c \tau \Theta^2}{P_0 10^{0,1\zeta}} f \cdot K_{\text{РПУ}} K_{\text{ав}}, \quad (18)$$

где C_λ (Вт·см²·см·с/(Вт·с)) или (см³) – постоянная МРЛ, которая определяет его энергетический потенциал и позволяет сравнивать различные МРЛ с точки зрения их обнаруживающей способности.

В связи с тем, что в уравнение (18) входят значения технических параметров МРЛ, изменяющихся в широких пределах, то расчет C_λ на трех длинах волн ($\lambda_1 = 3,2$ см; $\lambda_2 = 10,3$ см; $\lambda_3 = 5,6$ см) следует проводить с использованием данных инструментальных измерений (табл. 1) с привлечением следующих формул [16]:

$$\begin{aligned} 10 \lg C_{\lambda_i} &= 20 \lg \lambda + 10 \lg P_\tau - 10 \lg P_0 + 10 \lg \tau + 20 \lg G + 20 \lg \Theta - \zeta + 10 \lg f \\ 10 \lg C_{3,2} &= 10,1 + 51,8 - 136 - 57,0 + 102,2 - 41,2 - 6 + 66,3 = 261,8 \text{ dB} \\ 10 \lg C_{10,3} &= 20,6 + 57,7 - 138 - 57,0 + 83,2 - 31,6 - 6 + 66,3 = 273,8 \text{ dB} \\ 10 \lg C_{5,6} &= 15,0 + 54,8 - 138 - 57,0 + 87,2 - 35,1 - 6 + 66,3 = 267,9 \text{ dB} \end{aligned} \tag{19}$$

Результаты расчетов C_λ представлены в таблице 1.

Таблица 1. РАСЧЁТ C_λ МРЛ С УЧЕТОМ ДЛИНЫ ВОЛНЫ

Параметр	Значение канала			Параметр	Значения для параметров		
	МРЛ-5		METEOR 735 CDP 10		МРЛ-5		METEOR 735 CDP 10
	I канал	II канал			I канал	II канал	
λ , см	3,2	10, 3	5,6	$20 \lg \lambda$	10,1	20,6	15,0
PP_r , кВт	150	850	450	$10 \lg P_r$	51,8	59,3	56,5
P_0 , Вт	$2,5 \cdot 10^{-14}$	$1,6 \cdot 10^{-14}$	$1,6 \cdot 10^{-14}$	$10 \lg P_0$	-136	-138	-138
τ , сек	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$10 \lg \tau$	-57,0	-57,0	-55,0
G , dB	$1,29 \cdot 10^5$	$1,44 \cdot 10^4$	$2,28 \cdot 10^4$	$20 \lg G$	102,2	83,2	87,2
Θ , град	0,5	1,5	1,0	$20 \lg \Theta$	-41,2	-31,6	-35,1
ζ , dB	6	5	5	Z	-6	-5	-5
f , см/с	$4,286 \cdot 10^6$	$4,286 \cdot 10^6$	$4,286 \cdot 10^6$	$10 \lg f$	66,3	66,3	66,3
C_λ , см ³	$1,51 \cdot 10^{26}$	$2,410^{27}$	$6,17 \cdot 10^{26}$	$10 \lg C_\lambda$	261,8	273,8	267,9

Расчет η_{λ_i} ОО с учетом длины волны МРЛ можно проводить с помощью уравнения (16), представленной в логарифмической форме:

$$\begin{aligned} 10 \lg \eta_\lambda &= 0,1n + 20 \lg R - \lg C_\lambda \\ 10 \lg \eta_{3,2} &= 0,1n + 20 \lg R - \lg C_{3,2} \\ 10 \lg \eta_{10,3} &= 0,1n + 20 \lg R - \lg C_{10,3} \\ 10 \lg \eta_{5,6} &= 0,1n + 20 \lg R - \lg C_{5,6} \end{aligned} \tag{20}$$

Результаты расчетов η_λ представлены в таблице 2.

Таблица 2. РАСЧЕТ ЗНАЧЕНИЙ η_λ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ДЛИН ВОЛН

Параметр отражаемости	Значение параметра отражаемости						
$\eta_{3,2} \text{ (см}^{-1}\text{)}, C_\lambda = 1,51 \cdot 10^{26} \text{ см}^3$	$1 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$
$\eta_{5,6} \text{ (см}^{-1}\text{)}, C_\lambda = 6,17 \cdot 10^{26} \text{ см}^3$	$1 \cdot 10^{-12}$	$5 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-9}$
$\eta_{10,3} \text{ (см}^{-1}\text{)}, C_\lambda = 2,4 \cdot 10^{27} \text{ см}^3$	$1 \cdot 10^{-13}$	$5 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-12}$	$5 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-10}$
$\eta_{3,2} \text{ (см}^{-1}\text{)}, C_\lambda = 1,51 \cdot 10^{26} \text{ см}^3$	$5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
$\eta_{5,6} \text{ (см}^{-1}\text{)}, C_\lambda = 6,17 \cdot 10^{26} \text{ см}^3$	$5 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
$\eta_{10,3} \text{ (см}^{-1}\text{)}, C_\lambda = 2,4 \cdot 10^{27} \text{ см}^3$	$5 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$

2.3. Расчет C'_λ МРЛ и характеристик Z ОО при различных единицах измерений

Для исключения зависимости C_λ и характеристик радиолокационной отражаемости $Z \text{ (м}^3\text{)}$ от длины волны (λ) МРЛ вводят понятие радиолокационной отражаемости $Z \text{ (м}^3\text{)}$, характеризующейся уравнением (9):

$$\eta_\lambda = \frac{Z\pi^5}{\lambda^4},$$

(21)

где $\lambda \text{ (м)}$, $\eta_\lambda \text{ (м}^{-1}\text{)}$ и $Z \text{ (м}^3\text{)}$.

Подставляя значение η_λ из (21) в (1) получим уравнение радиолокации атмосферных образований без учета длины волны МРЛ:

$$\frac{P_{\text{пр}}}{P_0} = \frac{\pi^3 P_{\text{пер}} G^2 c \tau \Theta^2}{P_0 4^5 \ln 2 \lambda^3 10^{0,1\zeta}} \frac{Z_\Theta}{R^2} K_{\text{РПУ}} K_{\text{ав}},$$

(22)

Уравнение (22) можно представить в следующем виде

$$\frac{P_{\text{пр}}}{P_0} = C'_\lambda \frac{Z_\Theta}{R^2},$$

(23)

где

$$C'_\lambda = \frac{\pi^3 P_{\text{пер}} G^2 c \tau \Theta^2}{P_0 4^5 \ln 2 \lambda^3 10^{0,1\zeta}} K_{\text{РПУ}} K_{\text{ав}},$$

(24)

$$Z_\Theta = \frac{\frac{P_{\text{пр}}}{P_0} R^2}{C'_\lambda} = \frac{\left(10 \lg \frac{P_{\text{пр}}}{P_0} = n\right) R^2}{C'_\lambda} = \frac{10^{0,1n}}{C'_\lambda} R^2$$

(25)

Обозначим свободные члены, входящие в уравнении (24) буквой

$$f' = \frac{c\pi^3}{4^5 \ln 2} = 1,31 \cdot 10^9 \frac{\text{см}}{\text{с}} \tag{26}$$

С учетом уравнения (26) уравнение (24) примет следующий вид:

$$C'_\lambda = \frac{P_{\text{пер}} G^2 c \tau \Theta^2}{P_0 \cdot 10^{0,1\zeta} \lambda^2} f' \cdot K_{\text{РПУ}} K_{\text{ав}} \tag{27}$$

Расчет постоянной радиолокатора C'_λ , для трех каналов без учета длины волны проводился по данным инструментальных измерений (табл. 3) технических характеристик МРЛ с привлечением уравнения (27):

$$\begin{aligned} 10\lg C'_\lambda &= -20\lg \lambda + 10\lg P_\tau - 10\lg P_0 + 20\lg \tau + 20\lg \Theta - \zeta + 10\lg f' \\ 10\lg C'_{3,2} &= -20,6 + 51,8 - 136 - 57,0 + 102,2 - 41,2 - 6 + 91,2 = 282,9 \text{ dB} \\ 10\lg C'_{10,3} &= -20,6 + 57,7 - 138 - 57,0 + 83,2 - 31,6 - 6 + 91,2 = 261,6 \text{ dB} \\ 10\lg C'_{5,6} &= -15,0 + 54,8 - 138 - 57,0 + 87,2 - 35,1 - 6 + 91,2 = 262,9 \text{ dB} \end{aligned} \tag{28}$$

Результаты расчетов C'_λ представлены в табл. 3.

Таблица 3. РАСЧЁТ ПОСТОЯННОЙ МРЛ C'_λ БЕЗ УЧЕТА ДЛИНЫ ВОЛНЫ

Параметр	Значение канала			Параметр	Значения для параметров		
	МРЛ		METEOR 735 CDP 10		МРЛ-5		METEOR 735 CDP 10
	I канал	II канал			I канал	II канал	
λ , см	3,2	10, 3	5,6	$20 \lg \lambda$	-10,1	-20,6	-15,0
P_τ , кВт	150	850	450	$10 \lg P_\tau$	51,8	59,3	56,5
P_0 , Вт	$2,5 \cdot 10^{-14}$	$1,6 \cdot 10^{-14}$	$1,6 \cdot 10^{-14}$	$10 \lg P_0$	-136	-138	-138
τ , сек	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$10 \lg \tau$	-57,0	-57,0	-55,0
G , dB	$1,29 \cdot 10^5$	$1,44 \cdot 10^4$	$2,28 \cdot 10^4$	$20 \lg G$	102,2	83,2	87,2
Θ , град	0,5	1,5	1,0	$20 \lg \Theta$	-41,2	-31,6	-35,1
ζ , dB	6	5	5	Z	-6	-5	-5
f' , см/с	$2,12 \cdot 10^9$	$2,12 \cdot 10^9$	$2,12 \cdot 10^9$	$10 \lg f'$	91,2	91,2	91,2
C'_λ , см ³	$1,95 \cdot 10^{-26}$	$1,44 \cdot 10^{-26}$	$1,95 \cdot 10^{-26}$	$10 \lg C'_\lambda$	262,9	261,6	262,9

Для расчета характеристик радиолокационной отражаемости ОО с различными единицами измерений Z_r и Z_d (м³), $\lg Z_r$ и $\lg Z_d$ привлекались уравнения (5)–(13) и (25).

Здесь уравнение (25) представлено в логарифмической форме:

$$\begin{aligned} 10 \lg Z &= 0,1n + 20 \lg R - \lg C'_{\lambda} \\ 10 \lg Z &= 0,1n + 20 \lg R - \lg C'_{3,2} \\ 10 \lg Z &= 0,1n + 20 \lg R - \lg C'_{5,6} \\ 10 \lg Z &= 0,1n + 20 \lg R - \lg C'_{10,3} \end{aligned}$$

(29)

Соотношения между единицами измерений характеристик радиолокационной отражаемости ОО представлены в табл. 4.

Таблица 4.

СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЕДИНИЦАМИ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ОТРАЖАЕМОСТИ ОО

Параметр отражаемости	Значение параметра отражаемости						
$\eta_{3,2} \text{ (см}^{-1}\text{)}, C_{\lambda} = 1,51 \cdot 10^{26} \text{ см}^3$	$1 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$
$\eta_{5,6} \text{ (см}^{-1}\text{)}, C_{\lambda} = 6,17 \cdot 10^{26} \text{ см}^3$	$1 \cdot 10^{-12}$	$5 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-9}$
$\eta_{10,3} \text{ (см}^{-1}\text{)}, C_{\lambda} = 2,4 \cdot 10^{27} \text{ см}^3$	$1 \cdot 10^{-13}$	$5 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-12}$	$5 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-10}$
$\lg Z_d \text{ (dBZ)}$	0,5	1,2	1,5	2,2	2,5	3,2	3,5
$\lg Z_r \text{ (dBZ)}$	−1,3	−0,6	−0,3	0,4	0,7	1,4	1,7
$Z'_d \text{ (dBZ)}$	5	12	15	22	25	32	35
$Z'_r \text{ (dBZ)}$	−13	−6	−3	4	7	14	17
$\eta_{3,2} \text{ (см}^{-1}\text{)}, C_{\lambda} = 1,51 \cdot 10^{26} \text{ см}^3$	$5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
$\eta_{5,6} \text{ (см}^{-1}\text{)}, C_{\lambda} = 6,17 \cdot 10^{26} \text{ см}^3$	$5 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
$\eta_{10,3} \text{ (см}^{-1}\text{)}, C_{\lambda} = 2,4 \cdot 10^{27} \text{ см}^3$	$5 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
$\lg Z_d \text{ (dBZ)}$	4,2	4,5	5,2	5,5	6,2	6,5	7,2
$\lg Z_r \text{ (dBZ)}$	2,4	2,7	3,4	3,7	4,4	4,7	5,4
$Z'_d \text{ (dBZ)}$	42	45	52	55	62	65	72
$Z'_r \text{ (dBZ)}$	24	27	34	37	44	47	54

3. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В табл. 1 и табл. 3 представлены значения постоянных МРЛ (C_{λ} и C'_{λ}), которые определяют их энергетический потенциал и позволяют сравнивать различные МРЛ, с точки зрения их обнаруживающей способности. Значения C_{λ} , C'_{λ} и радиолокационных параметров (η_{λ} (см^{−1}), Z'_d (dBZ) и ($\lg Z'_d$) рассчитывались с помощью технических параметров с учетом и без учета длин волны.

Анализ табл. 1 позволил выявить тенденцию увеличения роста C_{λ} с увеличением длины волны МРЛ от 3,2 до 10,3 см. Разность между экстремальными значениями C_{λ} составила 12 dB. Различия в показаниях постоянной

МРЛ могут быть вызваны характеристиками волноводного тракта и приемопередаточных устройств [16].

При анализе табл. 3 разность между максимальным ($C'_{3,2} = C'_{5,6} = 262,9 \text{ dB}$) и минимальным значением ($C'_{10,3} = 261,6 \text{ dB}$) не превышает $1,3 \text{ dB}$.

Полученные в табл. 1 и табл. 3 значения C_{λ} и C'_{λ} , рассчитанные с учетом и без учета длины волны, хорошо согласуются с данными, полученными наиболее широко используемыми в мире МРЛ [18].

Для объективной оценки C_{λ} и C'_{λ} калибровку МРЛ необходимо проводить по реальным осадкам, полученным на наземной осадкомерной сети и и/или автоматизированных МРЛ, а также по совокупности реперных целей, выбираемых в разных азимутах и удалениях [16]. На применяемой АСУ, после градуировки и калибровки МРЛ, необходимо записать файл местников и значение средней отражаемости совокупности местников, которые вносятся в акт калибровки МРЛ и в систему автоматического введения поправок на изменение его постоянной в каждом цикле обзора [16].

В табл. 2 представлены значения η_{λ_i} ОО, рассчитанные с учетом длины волны по формулам (16) и (20), а в табл. 4 – значения радиолокационной отражаемости ОО (Z) с различными единицами измерений, рассчитанные без учета длины волны по формулам (25) и (29). Анализ табл. 2 и табл. 4 показал, что значения η_{λ_i} , измеренные в одном и том же облаке в реальном масштабе времени различными МРЛ (с $\lambda_1 = 3,2 \text{ см}$; $\lambda_2 = 10,3 \text{ см}$; $\lambda_3 = 5,6 \text{ см}$), отличаются друг от друга на один и два порядка. При значениях: $\eta_{3,2} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ см}^{-1}$, $\eta_{5,6} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ см}^{-1}$ и $\eta_{10,3} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}$, соответствующим критериям града в облаке: $\lg Z_d = 4,5$ или $Z_d = 45 \text{ dBZ}$, а $\lg Z_r = 2,7$ или $Z_r = 27 \text{ dBZ}$. Табл. 4 позволяет перевести значения η_{λ_i} , рассчитанные с учетом различных длин волн и постоянных МРЛ в значения Z , а значения Z – в соответствующие значения η_{λ_i} .

Выводы

1. Для трех каналов, с помощью технических характеристик МРЛ:
 - с учетом длины волны (λ_i) рассчитаны их постоянные C_{λ_i} (при $\lambda = 3,2 \text{ см}$ $C_{3,2} = 261,8 \text{ dB}$; при $\lambda = 5,6 \text{ см}$ $C_{5,6} = 267,9 \text{ dB}$ и при $\lambda = 10,3 \text{ см}$ $C_{10,3} = 273,8 \text{ dB}$), разность между экстремальными значениями которых составляет 12 dB (табл. 1);
 - без учета длины волны (λ_i) рассчитаны их постоянные C'_{λ_i} (при $\lambda = 3,2 \text{ см}$ $C'_{3,2} = 262,9 \text{ dB}$, при $\lambda = 5,6 \text{ см}$ $C'_{5,6} = 262,9 \text{ dB}$ и при $\lambda = 10,3 \text{ см}$ $C'_{10,3} = 261,6 \text{ dB}$), разность между экстремальными значениями которых не превышает $1,3 \text{ dB}$ (табл. 3).

Полученные в табл. 1 и табл. 3 значения C_{λ_i} и C'_{λ_i} хорошо согласуются с результатами, полученными наиболее широко используемыми в мире автоматизированных МРЛ [18].

2. Для трех каналов МРЛ с учетом и без учета длины волны (λ_i), с помощью постоянных C_{λ_i} и C'_{λ_i} рассчитаны соответственно значения η_{λ_i} и Z . В результате составлена табл. 4, которая позволяет перевести значения η_{λ_i} в значения Z и обратно.

Библиографический список

1. Абшаев М.Т. Состояние оперативных программ подавления града в мире // Обзорение прикладной и промышленной математики. Т. 3. В2. 1996. С. 246-260.
2. Абшаев М.Т. Активные воздействия на градовые процессы. – РД. 52.37. 596. 98. М., 1998. – 32 с.
3. Абшаев М.Т., Малкарова А.М. Методические указания. Методы оценки эффективности воздействия на градовые процессы – РД. 52.37. 67–98. М., 1999. – 20 с.
4. Абшаев М.Т., Малкарова А.М. Оценка эффективности предотвращения града. – С.-Петербург: Гидрометеиздат, 2006. – 279 с.
5. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Малкарова А.М. Состояние и перспективы развития противоградовых работ // Сборник Международной научной конференции с элементами научной школы «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата». – Ставрополь: Изд-во Северо-Кавказского федерального университета. 2013. С. 3-11.
6. Атлас Д. Успехи радарной метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 195 с.
7. Баттан Л.Дж. Радиолокационная метеорология / пер. с английского. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 231 с.
8. Брылев Г.Б., Гашина С.Б., Низдойминога. Радиолокационные характеристики облаков и осадков. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 230 с.
9. Ватиашили М.Р. Физические основы метеорологической защиты населенных пунктов и важнейших объектов // Математическое моделирование в научных исследованиях, часть II. Материалы Всероссийской научной конференции... Ставрополь. 27-30. сентября 2000. С. 88-95.
10. Ватиашили М.Р., Джангуразов Х.Х., Кассиров В.П. // Способ активных воздействий на градовые процессы. Патент РФ на изобретение. №2321871, заявка № 2006 121792, А 01 G 15/10/2007.
11. Ватиашили М.Р. Влияние фазовых переходов воды на параметры облаков и облачных систем, развивающихся в естественных условиях и подвергшихся воздействию частицами льдообразующих реагентов // Радиолокационная метеорология и активные воздействия. Сборник статей ГГО, посвященный памяти В.Д. Степаненко. 2012. С. 162-177.
12. Ватиашили М.Р. Исследование градоопасных и градовых ячеек в периоды проведения и отсутствия противоградовой защиты. Международная конференция «Актуальные проблемы геофизики». Материалы научной конференции, посвященной 80-летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014. С. 203-207.
13. Ватиашили М.Р. Метод прерывание града на подступах защищаемой терри-

- тории со стороны вторжения градовых облаков // Наука. Инновации. Технологии. 2016. 4. С. 7-24
14. Довиак Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 512 с.
 15. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети. Институт радарной метеорологии. – С.-Петербург: Гидрометеиздат, 2002. – 331 с.
 16. Организация и проведение противоградовой защиты. РД 52.37.731. – На-льчик: Редакция журнала «Эльбрус», 2010. – 86 с.
 17. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в систе-ме градозащиты. – С.-Петербург Л.: Гидрометеиздат, 1993. – 356 с.
 18. Руководство по производству наблюдений и применению информации с не-автоматизированных радиолокаторов МРЛ-1 МРЛ-2, МРЛ-5. – С.-Петербург: Гидрометеиздат, 2002. – 331 с.
 19. Сванидзе Г.Г., Бегалишвили Н.А., Ватьян М.Р., Карцивадзе А.И., Гудуша-ури Ш.Л. Методические указания по организации и проведению работ по искусственному увеличению осадков из конвективных облаков с помощью противоградовой техники. М.: Гидрометеиздат, 1986, 25 с.
 20. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии (радиометеорология). 2-е из-дание. Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 343 с.

References

1. Abshaev M.T. Sostoyanie operativnykh programm podavleniya grada v mire (The condition of the effective hail-suppression programs in the world).// Obozrenie prikladnoi i promyshlennoi matematiki. T.3, V.2. 1996. S. 246-260.
2. Abshaev M.T. Aktivnye vozdeistviya na gradovye protsessy (Active influencing on hailing). – RD. 52.37. 596. 98. M: 1998. – 32 s.
3. Abshaev M.T., Malkarova A.M. Metodicheskie ukazaniya. Metody otsenki efek- tivnosti vozdeistviya na gradovye protsessy (Methodological instructive regula- tions. Efficiency evaluation methods of influencing on hailing). – RD. 52.37. 67–98. M.: 1999. – 20 s.
4. Abshaev M.T., Malkarova A.M. Otsenka effektivnosti predotvrashcheniya grada (Efficiency evaluation of hail preventing). – S.-Peterburg. Gidrometeoizdat, 2006. – 279 s.
5. Abshaev M.T., Abshaev A.M., Malkarova A.M. Sostoyanie i perspektivy razvitiya protivogradovykh rabot (The condition and development prospects for anti-hail works). Sbornik Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii s elementami nauchnoi shkoly «Innovatsionnye metody i sredstva issledovaniy v oblasti fiziki atmosfery, gidrometeorologii, ekologii i izmeneniya klimata», – Stavropol, Izdatel'stvo Severo- Kavkazskogo federalnogo universiteta. 2013. S. 3-11.
6. Atlas D. Uspekhi radarnoi meteorologii (The success of radar meteorology). – L. – Gidrometeoizdat, 1967. – 195 s.
7. Battan L.Dj. Radiolokatsionnaya meteorologiya (Radar meteorology). Per. S angli- iskogo. – L. – Gidrometeoizdat, 1979. – 231 s.
8. Brylev G.B., Gashina S.B., Nizdoiminoga. Radiolokatsionnye kharakteristiki obla- kov i osadkov (Radar features of clouds and weather precipitation). – L. – Gidro- meteoizdat, 1986. – 230 s.
9. Vatiashvili M.R. Fizicheskie osnovy meteorologicheskoi zashchity naselennykh punktov i vazhneishikh ob'ektov (Physical foundations of meteorological protection of human settlements and significant objects) // Matematicheskoe modelirovanie v

- nauchnykh issledovaniyakh, chast' II. Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii. Stavropol. 27-30 sentyabrya 2000. S. 88-95.
10. Vatiashvili M.R., Dzhangurazov H.H., Kassirov B.P. // Sposob aktivnykh vozdeistvii na gradovye prostessy (The method of active impact on hailing). Patent RF na izobretenie. № 2321871, zayavka № 2006 121792, A 01 G 15/10/2007.
 11. Vatiashvili M.R. Vliyanie fazovykh perekhodov vody na parametry oblakov i oblachnykh sistem, razvivayushchikhsya v estestvennykh usloviyakh i podvergshikhsya vozdeistviyu chastistami l'doobrazuyushchikh reagentov (The impact of phase water transitions to the parameters of clouds and cloud systems developing in natural conditions and affected by the particles of ice-formation reagents) // Radiolokatsionnaya meteorologiya i aktivnye vozdeistviya. Sbornik statei GGO, posvyashchenniy pamyati V. D. Stepanenko. 2012. S. 162-177.
 12. Vatiashvili M.R. Issledovanie gradoopasnykh i gradovykh yacheek v periody provedeniya i otsutstviya protivogradovoizashchity (The research of hail-risky and hail cells during carrying out and absence of anti-hail protection). Mezhdunarodnaya konferentsiya "Aktual'nye problem geofiziki". Materialy nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 80-letiyu so dnya osnovaniya Instituta geofiziki. Tbilisi, 2014, s. 203-207.
 13. Vatiashvili M.R. Metod preryvaniya grada na podstupakh zashchishchaemoy territorii so storony vtorzheniya gradovykh oblakov (The method of hail breaking next to the protected area from the direction of hail clouds intrusion) // Nauka. Innovatsii. Tekhnologii. 2016. 4. S. 7-24.
 14. Doviak R., Zrnich D. Doplerovskie radiolokatory i meteorologicheskie nablyudeniya (Doppler radars and meteorological observations). – L.: Gidrometeoizdat, 1988. – 512 s.
 15. Meteorologicheskie avtomatizirovannye radiolokatsionnye seti. Institut radarnoy meteorologii (Meteorological automated radar networks. Radar meteorology institute). – S.-Petersburg. Gidrometeoizdat, 2002. – 331 s.
 16. Organizatsiya i provedenie protivogradovoy zashchity (Arranging and carrying out anti-hail protection). RD 52.37.731. – Nalchik OOO. Redaktsiya zhurnala «El-brus». 2010. – 86 s.
 17. Rukovodstvo po primeneniyu radiolokatorov MRL-4, MRL-5, MRL-6 v sisteme gradozashchity (The manual on the application of radars MRL-4, MRL-5, MRL-6 in the hail-protection system). – S.-Petersburg. Gidrometeoizdat, 1993. – 356 s.
 18. Rukovodstvo po proizvodstvu nablyudenii i primeneniyu informatsii s neavtomatizirovannykh radiolokatorov MRL-1, MRL-2, MRL-5 (The manual on observing and application information of non-automated radars MRL-1, MRL-2, MRL-5). – S.-Petersburg. Gidrometeoizdat, 2002. – 331 s.
 19. Svanidze G.G., Begalishvili N.A., Vatan M.R., Kartsivadze A.I., Gudushauri Sh.L. Metodicheskie ukazaniya po organizatsii i provedeniyu rabot po iskusstvennomu uvelicheniyu osadkov iz konvektivnykh oblakov s pomosh'yu protigradovoy tekhniki. (Methodological instructive regulations on arranging and carrying out activities on artificial increasing of weather precipitation from convective clouds by means of anti-hail equipment). – M., Gidrometeoizdat, 1986, 25 s.
 20. Stepanenko V.D. Radiolokatsiya v meteorologii (radiometeorologii) (Radiolocation in meteorology (radiometeorology)). 2-e izdanie. – L. Gidrometeoizdat, 1979-343 s.

УДК 58.009

Волкова В.В. [Volkova V.V.],
Лиховид Н.Г. [Likhovid N.G.]

РОЛЬ ВИДОВ РОДА *CAREX* L. В РАСТИТЕЛЬНОСТИ РЕЛИКТОВОГО ОЗЕРА КРАВЦОВО (СТАВРОПОЛЬСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ)

The role of species of *Carex* L.
Genus in the vegetation of the relict
lake Kravtsovo (Stavropol plateau)

При анализе литературных данных и гербарных фондов нами установлено, что в прибрежной зоне озера произрастало 14 видов осок. При проведении обследования прибрежной зоны озера было отмечено уменьшение количества видов осок, в течение 2011-2017 гг. нами не обнаружены на указанных территориях *C. vesicaria* L., *C. secalina* Wahlenb., *C. elata* All., *C. paniculata* L., *C. disticha* Huds., *C. divisa* Huds. Численность и возрастной состав сильно не изменялись у *C. vulpina*, *C. acutiformis*, *C. melanostachya*, *C. riparia*, *C. hirta*, *C. acuta*. Уменьшение площади популяций *C. lasiocarpa*, *C. pseudocyperus*, *C. diluta*.

When analyzing literary data and herbarium funds, we found that 14 species of sedges grew in the coastal zone of the lake. When conducting a survey of the coastal zone of the lake, we found a decrease in the number of species of the genus. Within 2011-2017 we have not identified *C. vesicaria* L., *C. secalina* Wahlenb., *C. elata* All., *C. paniculata* L., *C. disticha* Huds., *C. divisa* Huds. on the above mentioned territories. The state of populations of *C. vulpina*, *C. pseudocyperus*, *C. diluta*, *C. acutiformis*, *C. melanostachya*, *C. riparia*, *C. lasiocarpa*, *C. hirta*, *C. acuta* remained almost the same. A certain decrease in *C. lasiocarpa*, *C. pseudocyperus*, *C. diluta* population area has been determined.

Ключевые слова: осоки, прибрежная зона, озеро Кравцово.

Keywords: sedge, coastal zone, Lake Kravtsovo.

Введение

Проблема изучения и сохранения биоразнообразия является одной из наиболее актуальных и рассматривается в числе приоритетных фундаментальных исследований. Немаловажный интерес представляет род *Carex* L. Флористические исследования, проведенные до 2009 года, требуют более подробного изучения географического распространения и экологии произрастания видов.

Кравцово озеро-болото является уникальным реликтовым природным объектом Ставропольской возвышенности и представляет большую ценность, как объект изучения прибрежно-водной растительности [3, 4, 5]. Оно находится в десяти километрах юго-западнее Ставрополя. Озеро вытянуто с востока на запад, длиной 1,5 км и шириной 500-600 м, продолговато-овальной формы. Глубина не превышает двух с половиной метров. В средней части сформировался небольшой островок, на котором растут кустарники, деревья,

тростник, осока. В 2016 году остров раскололся на множество мелких частей, которые примкнули к берегу. На южном берегу растет широколиственный лес, восточный склон покрыт кустарником. Северный и западный склон прилегающие к озеру покрыты луговыми степями с доминированием злаков. Источниками питания являются атмосферные осадки и грунтовые воды [5]. Его особенность заключается в том, что в засушливые годы оно мелеет и превращается в болото, в дождливые восстанавливается. М. Бржезицкий считал, что зарастание озера началось вскоре после его образования. Отмирающие части растений постепенно создавали условия для передвижения тростника и других растений от берегов к центру озера. Таким образом, площадь воды уменьшалась и через несколько тысяч лет оно превратилось в болото [3, 4]. Своеобразный растительный мир данного озера является уникальным объектом для проведения научных исследований биологов и экологов. На озере сохранились остатки растений, произраставших в древние геологические эпохи.

Материалы и методы

В 2011 году начато обследование прибрежной зоны озера. Характер работы – экспедиционный, стационарный, камеральный. При проведении экспедиционно-полевых исследований озера Кравцова Ставропольской возвышенности применялась методика маршрутного обследования, которая позволяла максимально полно охватить различные элементы рельефа с характерной для них спецификой растительных сообществ. Поездки проводились в разное время года, что позволяло наблюдать изучаемые объекты в разных фазах развития. Исследование материала проводилось с использованием традиционного морфолого-географического метода и анализа гербарных фондов Северо-Кавказского федерального университета (SPI), Ставропольского краеведческого музея-заповедника им. Г.Н. Прозрителева и Г.К. Пправе (SMRS), ФГБНУ «Ставропольского ботанического сада им. В.В. Скрипчинского» (SBG). Изучение видового состава фитоценоза, в котором произрастают изучаемые виды, проводилось с 2011 по 2014 гг. стандартным методом описания геоботанических площадок [8, 9]. Определяли структуру, численность и плотность популяций, экологическую характеристику местообитания (особенности рельефа, тип почв, засоление, характер увлажнения, особенности освещения). После обнаружения популяции на местности осуществлялась её маркировка с использованием GPS-навигатора, затем закладывались пробные площади (ПП) 10 × 10 м, через всю территорию обнаруженной популяции методом трансекты

Результаты и обсуждение

При анализе литературных данных [1, 2, 6, 10, 11] и гербарных фондов (Северо-Кавказского федерального университета (SPI), Ставропольского краеведческого музея-заповедника им. Г.Н. Прозрителева и Г.К. Пправе (SMRS), ФГБНУ «Ставропольский ботанический сад им. В.В. Скрипчин-

ского» (SBG) нами установлено, что в прибрежной зоне озера произрастало 14 видов осок (*Carex hirta* L., *C. lasiocarpa* Ehrh., *C. vesicaria* L., *C. acutiformis* Ehrh., *C. riparia* Curt., *C. melanostachya* Bieb., *C. pseudocyperus* L., *C. secalina* Wahlenb., *C. acuta* L., *C. elata* All., *C. paniculata* L., *C. vulpina* L., *C. disticha* Huds., *C. divisa* Huds.). При проведении обследования прибрежной зоны озера нами было выявлено 9 видов (*C. vulpina*, *C. acutiformis*, *C. melanostachya*, *C. riparia*, *C. hirta*, *C. acuta*, *C. lasiocarpa*, *C. pseudocyperus*, *C. diluta*).

Carex hirta L. (h. 554, N. 45°00'400", E. 41°48'517") развивается по побережью и на мелководье, оптимальная глубина обитания 0,2-0,5 м, встречается в 10% учетных площадок. Произрастает совместно с *Phragmites communis* (Cop¹), *Carex riparia* (Sp), *Carex hirta* (Sp), *Sparganium erectum* (Sol), *Alisma plantago-aquatica* (Sol), распределение особей групповое случайное с жизненностью популяций – 5 баллов. Жизненность изученных популяций – 5 баллов, распределение особей равномерное, что говорит о конкуренции видов. Максимальное количество растений в генеративном состоянии наблюдалось в 2014 году, а минимальное в 2015, так как в августе 2014 году наблюдали пожары в окрестностях и на побережье озера. С 2016 года наблюдается увеличение популяции: проростки (pl) – 40, ювенильные (j) – 0, имматурные (im) – 350, генеративные (g) – 156. Что говорит о восстановлении численности популяции осоки.

Carex lasiocarpa Ehrh. гляциальный реликт, занесён в Красную книгу Ставропольского края (2002, с. 153). (h. 555, N. 45°00'467", E. 41°48'571") встречается в 2% учетных площадок. Популяция осоки произрастает на площади 18 м², развивается по побережью и на мелководье озера, заходит на глубину до 0,2 м, плодоношение наблюдается у 10% особей, жизненность 4 балла, распределение особей групповое равномерное. Произрастает совместно с *Phragmites communis* (Cop³), *Carex riparia* (Cop²), *Carex lasiocarpa* (Sp), *Juncus inflexus* (Sp), *Alisma plantago-aquatica* (Sol) и другие виды. Возрастное состояние популяции: проростки (pl) – 0, ювенильные (j) – 0, имматурные (im) – 450, генеративные (g) – 54. На изучаемой территории вид встречается очень редко. Как видно, популяции не полночленны и недостаточно жизненны, за период изучения с 2011 по 2017 гг. отмечено уменьшение площади популяций. Пожар 2014 года привел к уменьшению численности вида. В 2016 году не наблюдали увеличение количества растений. Лимитирующими факторами являются водная и ветровая эрозия, загрязнение мусором и вытаптывание прибрежной зоны.

Carex acutiformis Ehrh. (h. 553, N. 45°00'275", E. 41°48'460") встречается в 3% учетных площадок. Произрастает на мелководье и в прибрежной зоне, заходит на глубину до 0,3–0,4 м, распределение особей групповое равномерное с высокой жизненностью. Встречается с *Phragmites communis* (Cop²), *Typha latifolia* (Cop²), *Carex melanostachya* (Sp), *Alisma plantago-aquatica* (Sol), *Juncus compressus* (Sp). жизненность популяций 5 баллов, распределение особей групповое равномерное. Пожар 2014 года не повлиял на численность ви-

да, так как растения произрастают на мелководье. За период 2011–2017 гг. исследования численность и возрастной состав сильно не изменялись.

Carex riparia Curt. часто встречается на изучаемой территории и входит в состав большинства ассоциаций, где является доминантом или субдоминантом. Произрастает на мелководье и в прибрежной зоне, заходит на глубину до 0,3–0,4 м, совместно с *Phragmites communis* (C^{op}²), *Typha latifolia* (C^{op}²), *C. melanostachya* (Sp), *Juncus compressus* (Sp), *C. otrubae* (Sol), *Lythrum salicaria* (Sol). Жизненность популяций 5 баллов. распределение особей групповое равномерное с высокой жизненностью. Пожар 2014 года уменьшил количество численность вида. За период 2015–2017 гг. популяция вида восстановилась в прежних объемах.

Carex melanostachya Vieb. отличается широким экологическим спектром, его можно наблюдать в прибрежной зоне и на мелководьях, так же для периодически затопляемых участков и по побережью. Заходить на глубину до 0,5 м. Входит в состав большинства ассоциаций, где является субдоминантам или одним из компонентов. Произрастает совместно с *Phragmites communis* (C^{op}²), *Typha latifolia* (C^{op}²), *Carex riparia* (Sp), *Juncus compressus* (Sp), *C. otrubae* (Sol), *Lythrum salicaria* (Sol) *Eleocharis palustris* (Sp) *Alisma plantago-aquatica* (Sol). Встречается в 61% учетных площадок, распределение особей групповое равномерное. Жизненность популяций осоки высокая (5 баллов), при общем проективном покрытии 85–90% обилие *Carex melanostachya* (C^{op}¹, Sp).

Carex pseudocyperus L. нами подтверждено нахождение вида на побережье и мелководье Кравцова озера. Первая популяция находится на западном берегу озера, заходит на глубину 0,2 м (h. 554, N. 45°00'400", E. 41°48'517"). При проективном покрытии 70% произрастает совместно с *Phragmites australis* (C^{op}²), *Sparganium erectum* (Sp), *Eleocharis palustris* (Sp), *Carex pseudocyperus* (Sol), *Juncus compressus* (Sol). В ней присутствуют экземпляры в генеративном (g) – 3 шт., в имматурном (im) – 1 шт, ювенильных (j) – 0, проростков (pl) – 0. Жизненность оценивается в 4 балла, распределение особей групповое случайное. Вторая популяция произрастает на расстоянии 500 м от первой (h. 553, N. 45°00'275", E. 41°48'460"). Заходит на глубину до 0,1 м. Общее проективном покрытии 80%, произрастает совместно *Phragmites australis* (C^{op}²), *Carex acutiformis* (Sp), *Carex pseudocyperus* (Sol) с распределением особей групповым равномерным. Популяция не полночленна в ней присутствуют экземпляры генеративные (g) – 7 шт., в имматурные (im) – 2 шт, ювенильные (j) – 0, проростки (pl) – 0. Встречается редко. Как видно популяции осоки не полночленны и недостаточно жизненны. Пожар 2014 года не повлиял на численность вида, так как растения произрастают на мелководье. Основными лимитирующими факторами являются водная и ветровая эрозия, загрязнение мусором и вытаптыванию прибрежной зоны.

Carex diluta Vieb. нами установлено произрастание вида на мелководье озера Кравцова, возрастная структура популяции: генеративные (g) – 5 шт., в им-

матурные (im) – 2, ювенильные (j) – 2, проростков (pl) – 0. Популяция малочисленна, не устойчива с жизненностью 4 балла. Популяции вида встречаются очень редко, с 2015 года наблюдаем уменьшение численности. Лимитирующими факторами являются интенсивная эксплуатация человеком озера (зона отдыха и рыбалки), выпас скота, загрязнение мусором и вытаптывание прибрежной зоны.

Carex acuta L. на изучаемой территории найдена одна точка произрастания этого вида на мелководье озера Кравцова (h. 551, N. 45°00'416", E. 41°48'567"). Популяция занимает площадь 13 м², располагается на мелководье озера на глубине до 0,5 м, берег – крутой обрыв. Наблюдали цветение и плодоношение, с численностью 2250 особей. Хотя популяция занимает небольшую площадь, она жизненна (5 баллов), распределение особей групповое неравномерное, проективное покрытие 90%. Произрастает совместно с *Potamogeton crispus*, *Potamogeton pectinatus*. Лимитирующими факторами являются водная эрозия, окрестностей загрязнение мусором.

Carex vulpina L. в состав фитоценозов входят с обилием Sp, жизненность популяций 5 баллов, распределение особей групповое неравномерное. Часто произрастает совместно с *Phragmites communis* (Cop), *Bolboschoenus compactus* (Cop), *Eleocharis palustris* (Sp), *Juncus compressus* (Sp). Осока растёт по берегу и на мелководье. Встречается в 70% учетных площадок. В 2015 году наблюдали минимальное количество растений в генеративном состоянии (g) – 2, имматурном (im) – 3, проростки (pl) – 8.

Выводы

Нами уточнены и определены новые места произрастания, экология и состояние популяций *C. vulpina*, *C. pseudocyperus*, *C. diluta*, *C. acutiformis*, *C. melanostachya*, *C. riparia*, *C. lasiocarpa*, *C. hirta*, *C. acuta*. Нами отмечено уменьшение количества видов осок, в течение 2011-2017 гг. нами не обнаружены на указанных территориях *C. vesicaria* L., *C. secalina* Wahlenb., *C. elata* All., *C. paniculata* L., *C. disticha* Huds., *C. divisa* Huds.

Библиографический список

1. Белоус В.Н., Волкова В.В. К вопросу фиторазнообразия водно-болотного комплекса Ставропольской возвышенности (на примере озера-болота Кравцово) // Актуальные проблемы химии, биологии и биотехнологии материалы X Всероссийской научной конференции. 2016. С. 19-22.
2. Бржезицкий М., Нагорный П. Список собранных А. П. Норманом растений, хранящихся в гербарии Ставропольского городского музея // Тр. Ставропол. общества для изучения Сев. Кавказ. края. №2. 1912. С. 13-72.
3. Бржезицкий М.В. Кравцово озеро и возможность эксплуатации находящегося в нем торфа // Природные ресурсы Ставропольской губернии. Ставрополь, 1914. С. 3-10.
4. Гаазов В.Л. Чёрная Т.К. Кравцово озеро-болото. М.: Изд. Надыршин, 2010. С. 69–70.

5. Гниловской В.Г. Занимательное краеведение. Ставрополь, 1954. С. 257-258.
6. Егорова Т. В. Конспект флоры Кавказа / отв. ред. акад. А.Л. Тахтаджян. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2006. Т. 2. С. 214-244.
7. Лиховид Н. Г. Флора водно-болотных и переувлажненных местообитаний Предкавказья и перспективы ее изучения // Вестник Ставропольского государственного университета (Естественные науки). 1996. Вып. 6. С. 134-137.
8. О сохранении и развитии сети особо охраняемых природных территорий краевого значения / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края. Ставрополь, 2008. 117 с.
9. Раменский, Л. Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука, 1971. 334 с.
10. Танфильев, В. Г. Каталог дикорастущих растений Ставропольского края // Труды СНИИСХ. Ставрополь. 1987. С. 21–24.
11. Кречетович В.И. Флора СССР. Л.: Изд-во АН СССР, Т. 3. 1934. 779 с.

References

1. Belous V.N., Volkova V.V. K voprosu fitoraznoobraziya vodno-bolotnogo kompleksa Stavropol'skoi vozvyshehnosti (na primere ozera-bolota Kravtsovo) (On phytovariety of the water-marsh complex of the Stavropol Plateau (by the example of the Kravtsovo lake-swamp)) // Aktual'nye problemy khimii, biologii i biotekhnologii materialy X Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii. 2016. P. 19-22.
2. Brzhezitskii M., Nagornyi P. Spisok sobrannykh A.P. Normanom rastenii, khranyashchikhsya v gerbarii Stavropol'skogo gorodskogo muzeya (List of plants collected by A.P. Norman in the herbarium of the Stavropol City Museum) // Tr. Stavropol. obshchestva dlya izucheniya Sev. Kavkaz. kraia. №2. 1912. P. 13-72.
3. Brzhezitskii M.V. Kravtsovo ozero i vozmozhnost' ekspluatatsii nakhodyashchegosya v nem torfa (Kravtsovo lake and the possibility of exploitation of peat in it) // Prirodnye resursy Stavropol'skoi gubernii. Stavropol', 1914. P. 3-10
4. Gaazov V. L. Chernaya T. K. Kravtsovo ozero-boloto (Kravtsovo lake-swamp). M.: Izd. Nadyrshin, 2010. P. 69-70
5. Gnilovskoi V.G. Zanimatel'noe kraevedenie (Interesting regional studies). Stavropol', 1954. P. 257-258.
6. Egorova T. V. Konspekt flory Kavkaza (Abstract of the flora of the Caucasus) / Otv. red. akad. A. L. Takhtadzhyan. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2006. T. 2. P. 214-244.
7. Likhovid N. G. Flora vodno-bolotnykh i pereuvlazhnennykh mestoobitaniy Predkavkaz'ya i perspektivy ee izucheniya (Flora of wetland and waterlogged habitats of the Ciscaucasia and prospects for its study) // Vestnik Stavropol'skogo gosudarstvennogo universiteta. (Estestvennye nauki). 1996. Vyp. 6. P. 134-137
8. O sokhraneni i razvitii seti osobo okhranyaemykh prirodnnykh territorii kraevogo znacheniya (On the preservation and development of a network of specially protected natural territories of regional importance) / Ministerstvo prirodnnykh resursov i okhrany okruzhayushchei sredy Stavropol'skogo kraia. Stavropol', 2008. 117 p.
9. Ramenskii, L.G. Problemy i metody izucheniya rastitel'nogo pokrova (Problems and methods of studying vegetation cover). L.: Nauka, 1971. 334 p.
10. Tanfil'ev, V.G. Katalog dikorastushchikh rastenii Stavropol'skogo kraia (Catalog of wild plants of the Stavropol Territory) // Trudy SNIISKH. Stavropol'. 1987. P. 21–24.
11. Krechetovich V. I. Flora SSSR (Flora of the USSR). L.: Izd-vo AN SSSR, T. 3. 1934. 779 p.

УДК 622.241.6

Гасумов Р.А. [Gasumov R.A.],
Гридин В.А. [Gridin V.A.],
Овчаров С.Н. [Ovcharov S.N.],
Гасумов Э.Р. [Gasumov E.G.]

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ЗАКОЛОННЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ПРИ ЦЕМЕНТИРОВАНИИ СКВАЖИН ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Research the causes of annular manifestations during cementing of wells production casing

Миграция газа в затрубном пространстве или перетоки газа между отдельными пластами при креплении скважин в процессе закачки цементного раствора представляют собой очень серьезную проблему, особенно для скважин, вскрывающих неоднородные пласты и пласты с аномально высокими пластовыми давлениями. Эти явления могут наблюдаться за обсадными колоннами в скважинах, расположенных как на суше, так и в море. Возможность поступления газа из пласта в затрубное пространство и его миграция по заколонному пространству объясняется многими причинами, часть из них очевидна и не вызывает сомнений, а другая часть, основанная на предположениях либо на недостаточно убедительной интерпретации проводившихся анализов производственного материала или экспериментальных исследований, в некоторой степени может вызывать сомнения. В статье рассмотрены и изучены причины и природа возникновения заколонных проявлений в различных горно-геологических условиях, приведены результаты исследований влияния различных факторов на герметичность заколонного пространства, проанализировано влияние геологических, технических, механических, технологических и физико-химических факторов на происхождение заколонных проявлений в скважинах. Установлено, что в качестве основного фактора, в наибольшей степени повлиявшего на возникновение вышеуказанного осложнения, следует признать геологический фактор, обусловивший образование каналов в цементном камне в процессе его твердения. На основе результатов проведенных исследований выполнена оценка соответствия технологии строительства скважины, составлено научно-обоснованное заключение о причинах заколонного проявления, произошедшего в эксплуатационной скважине после проведения работ по цементированию эксплуатационной колонны.

Gas migration in the annulus or gas flows between the individual formations while casing of wells during pumping of the cement slurry is a very serious problem especially for wells in inhomogeneous formations and formations with abnormally high reservoir pressures. These phenomena can occur in the annulus of wells located both on land and at sea. The possibility of gas flow from the reservoir into the annulus and migrate to the annulus is due to many reasons, some of them obvious and not in doubt and the other part based on assumptions either insufficient compelling interpretations of the conducted analyses of the production material or experimental studies to some extent may be questionable. The article discussed and studied the causes and nature of annulus manifestations in various mining and geological conditions, the results of researches of influence of various factors on the tightness of the annular space and the influence of geological, technical, mechanical, technological and physical-chemical factors on the origin of annular manifestations is analyzed. It is defined that we should recognize the geological factor in the formation of channels in the cement stone in the process of hardening as the main factor that influenced the occurrence of complications. Based on the results of these studies the conformity of well construction technology is assessed, a scientifically based conclusion about the reasons of the annular manifestation that occurred in the operating well after completion of cementing the production casing is composed.

Key words: well, gas permeability, production casing, formation pressure, gas migration, annular fluid manifestation, drilling mud, cement slurry, contraction, quality of cementing. **Ключевые слова:** скважина, газопроницаемость, эксплуатационная колонна, пластовое давление, миграция газа, заколонные флюидопроявления, буровой раствор, тампонажный раствор, контракция, качество цементирования.

Введение

Качественное цементирование обсадных колонн и разобщение продуктивных пластов является условием долговечной надежной эксплуатации скважин. Появляющиеся в начальной стадии эксплуатации скважин межпластовые перетоки и затрубные газопроявления могут быть результатом формирования негерметичного цементного кольца, что обусловлено различными причинами, основными из которых являются технология крепления эксплуатационных колонн и применяемые тампонажные материалы, не учитывающие фактические геолого-технические условия скважин. Таким образом, задача обеспечения качественной изоляции затрубного пространства при цементировании скважин является важнейшей задачей их строительства.

Данная проблема наиболее актуальна для глубоких и поисково-разведочных глубоких скважин, строящихся в осложненных условиях, в т.ч. на площадях Северного Кавказа [1].

Выявление причин заколонных проявлений при цементировании скважин эксплуатационной колонны, установление зависимости качества крепи скважины от отдельных параметров продуктивного горизонта (газонасыщенность, распределение давления по разрезу и т.д.) и горно-геологических условий вскрытого интервала скважиной с использованием промысловых материалов и результатов экспериментальных исследований, является важнейшей задачей, от решения которой зависит эксплуатационная надежность и долговечность объекта, как инженерного сооружения.

Материалы и методы исследований

Методы исследований основаны на анализе и обобщении информации первичных материалов по первой разведочной скважине Восточно-Прибрежной площади, промысловых, экспериментальных и теоретических данных по рассматриваемой проблеме, приведенных в технической литературе, а также результатов собственных исследований с использованием современных приборов и оборудования, математических методов и моделирования на ЭВМ.

Дана оценка соответствия технологии строительства скважины требованиям технического проекта, составлено научно-обоснованное заключение о причинах заколонного проявления, произошедшего в скважине Восточно-Прибрежной площади после проведения работ по цементированию эксплуатационной колонны.

Результаты исследований и их обсуждение

Как показывает практика бурения, в ряде случаев газ поступает в скважину при отсутствии поршневого эффекта и при значительном превышении гидростатического давления (ГСД) над пластовым. Причем объем поступающего газа значительно превышает тот, который может быть обус-

ловлен диффузией. В связи с этим представляет интерес установление причины указанного явления и поиск пути, уменьшающего развитие или исключаящего его.

Экспериментальными исследованиями установлена возможность протекания неравновесных процессов при статическом состоянии тиксотропных вязкопластичных жидкостей при одновременном зависании их на ограничивающих поверхностях, приводящих к изменению активного давления в скважине. Указанные изменения, независимо от величины ГСД, могут способствовать поступлению газа из пласта в скважину [2]. Аналогичные работы, проведенные с цементным раствором, позволили уточнить механизм некоторых процессов, происходящих при схватывании цементного раствора и твердении цементного камня, сопутствующих заколонным проявлениям [3, 4].

Возможность поступления газа из пласта в заколонное пространство (ЗП) объясняется многими причинами, часть из которых очевидна и не вызывает сомнений, а другая часть, основанная на предположениях, либо на недостаточно убедительной интерпретации проводившихся анализов производственного материала или экспериментальных исследований, в некоторой степени может вызывать сомнение [5].

Результаты проведенного анализа подтвердили влияние статического напряжения сдвига (СНС) цементного раствора на давление его столба в условиях реальной скважины, и это является доказательством того, что механизм утечек газа и связь между ними и величинами СНС цементного раствора полностью обоснованы. Развитие СНС начинается сразу же после затворения цемента и продолжается до схватывания цементного раствора. По мере роста СНС столб цементного раствора начинает постепенно себя удерживать, а его объем уменьшается. Давление столба цементного раствора будет уменьшаться по мере того, как цементный раствор становится самоупрочивающим (твердеет) и будет зависеть от степени уменьшения его объема. Газ может прорваться вверх по цементному столбу. Перетекающий газ может достигнуть либо устья, либо вышележающих пластов-коллекторов.

Анализ существующих представлений показывает, что наиболее обоснованной действующей силой флюидопроявления следует считать градиент давления, возникающий в период освоения и эксплуатации скважин за счет депрессии на непродуктивное насыщение флюидами пластов.

Представления о путях продвижения пластового флюида связываются с наиболее слабыми участками в ЗП, сопротивление которых недостаточно для предотвращения движения флюидов и с выявлением причин формирования таких участков.

В специфических условиях скважин возникают различные процессы и явления, способствующие формированию флюидопроявляющих каналов в структуре цементного камня, который может разрушаться за счет явле-

ния осмоса, агрессивного воздействия высокоминерализованного пластового флюида, действия термических напряжений, депрессии на пласты, упругой деформации обсадной колонны во время испытания ее на герметичность, перфорации и т.д. Эти же факторы приводят к нарушению герметичности в зонах контакта цементного кольца с обсадной колонной и стенками скважины [6].

Почти точное совпадение характерных зон седиментации и изменения проницаемости говорит об определяющей роли седиментации в процессе повышения проницаемости цементного раствора (камня).

Убедительным аргументом в пользу такого вывода служат результаты исследований, выявляющие влияние времени седиментационных процессов на проницаемость цементного камня.

При изучении механизма возникновения флюидопроявлений в процессе цементирования скважин установлены следующие причины, способствующие их развитию [7]:

- во время вскрытия пластов промывочная жидкость под действием перепада давления проникает в них и создает зону пониженной проницаемости – блокирующую зону. Интенсивность проникновения в пласт фильтрата и твердой фазы глинистого и цементного растворов зависит от качества последней и от величины противодействия (репрессии) на пласт в процессе его вскрытия;
- проникая в пласт дисперсная среда нарушает установившееся статическое равновесие между породой и пластовыми флюидами. Фильтраты бурового и цементного растворов удерживаются в пласте молекулярно-поверхностными и капиллярными силами, создавая экран обводненности, который затрудняет продвижение флюида к забою скважины;
- кроме гидростатического, на пласт воздействуют и дополнительные давления, связанные с эффектом поршневания при спускоподъемных операциях (бурильной и обсадной колонны), которые содействуют развитию процесса, отмеченного в первом пункте;
- дополнительные репрессии на пласт имеют максимальное значение при продавке цементного раствора, действие которого обусловлено объемом и глубиной проникновения в пласт фильтрата бурового и цементного растворов;
- в результате зависания скелета тампонажной суспензии на стенках происходит падение порового давления ниже пластового. После водоотделения и начала уменьшения количества капиллярной воды по мере развития процесса гидра-

- тации по поверхности цементного камня развивается вакуум. Снижение давления объясняется контракцией цемента;
- в результате депрессии на пласт в течение определенного времени, обеспечивается большая скорость движения жидкости из призабойной зоны в скважину. Вследствие выравнивания давления газ из пласта может скорее диффундировать в скважину и по глинистой корке подниматься вверх, мигрировать в вышезалегающие горизонты или образовывать под цементным камнем «газовые шапки» и т.д. При этом поступивший флюид из пласта заполняет образовавшийся вакуум, т.е. компенсирует «потерянный» объем во время схватывания цементного раствора.

До схватывания цементного раствора связанная вода находится в подвижном состоянии. Поэтому всегда, когда гидростатическое давление в затрубье превышает пластовое давление, имеет место некоторая степень водоотдачи. Этот процесс замедляется, когда на стенке ствола скважины образуется низкопроницаемая фильтрационная корка, или вовсе прекращается при установлении равновесия между давлением в затрубье и пластовым давлением. После того, как такое равновесие установилось, любое изменение объема внутри тампонажного раствора вызовет резкое падение в нем порового давления и интенсивный приток газа. Недостаточный контроль водоотдачи тампонажного раствора в зоне газоносного пласта может ускорить снижение порового давления в процессе структурообразования цементного раствора-камня [8].

В случае, если в затрубье остались каналы бурового раствора, то более низкие значения динамического напряжения сдвига буровых растворов могут предопределить преимущественный путь миграции газа. Более того, из бурового раствора при его соприкосновении с тампонажным раствором за счет контракционного эффекта при твердении может отсасываться вода, а это, в свою очередь, приводит к появлению трещин в результате объемной усадки, что также способствует образованию путей для движения газа. Если после схватывания тампонажного раствора фильтрационная корка потеряет воду, то на границе раздела «горная порода – цементный раствор» может образоваться кольцевое пространство – ещё один путь для миграции газа.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований, анализа промыслового опыта борьбы с осложнениями, вызванными некачественным разобщением пластов, указывают, что существует многообразие причин нарушения изоляционного комплекса скважины, особое место среди которых занимают вышеприведенные факторы, обуславливающие возникновение заколонных флюидопроявлений, при этом геологические факторы могут являться определяющим фактором.

Отсутствие данных о фактической величине давления на конкретной глубине не позволяет правильно выбрать плотность бурового раствора, создающего противодействие на проницаемый пласт.

Значительным изменением градиента пластового и порового давлений по разрезу характеризуется Восточно-Прибрежное месторождение.

Поровое давление в толще глин и пластовое давление во вмещаемых в ней линзах коллекторов находятся в равновесном состоянии и равны на их контакте. Таким образом, пластовое давление в коллекторе линзовидного типа можно определить, установив поровое давление во вмещающей глинистой толще.

Следует учитывать, что прогнозирование градиента давления с глубиной на сотни метров корректно только при плавном его изменении; при условии резкого изменения градиента давления с глубиной прогнозирование справедливо только на десятки метров. Определение прогнозных значений поровых и пластовых давлений в пласте-коллекторе возможно только при наличии сведений о характеристиках этого пласта, полученных в ранее пробуренных на месторождении скважинах.

Район месторождений Прибрежной группы имеет сложное структурно-тектоническое строение. Возникающие в процессе тектонических движений объемные деформации могут являться предпосылкой формирования зон повышенных напряжений и, как следствие, – аномальных поровых давлений. Осложненность разрывными нарушениями как значительной, так и малой амплитуды (от 5-10 м до 100 м), а также наличие линзовидных коллекторов ограниченной площади распространения затрудняют межскважинную корреляцию пластов и, соответственно, существенно ограничивают возможности прогнозирования величин поровых и пластовых давлений с использованием данных, полученных при бурении соседних скважин.

Глинистые пласты с указанными характеристиками, вероятно, имеют ограниченное распространение по латерали (линзовидное строение), что позволяет предположить, в действительности этот интервал является водонасыщенным.

Вследствие снижения давления цементного столба на вскрытую разуплотненную глинистую линзу в процессе гидратации цемента происходят выделение растворенного газа из поровой воды, содержащейся в разуплотненных глинах, с его проникновением в цементный раствор в количестве, достаточном для образования пустотных каналов, и последующее нарушение герметичности цементного кольца.

В сложившейся ситуации установить сплошной, герметичный для газа цементный мост практически невозможно. Это связано с тем, что оставленный бурильный инструмент прижат дифференциальным давлением к стенке скважины, образуя нулевой зазор. Буровой раствор, находящийся в области контакта труб и стенки скважины не вытесняется цементным раствором, об-

разуя зоны защемления. Кроме того, за счет значительной репрессии в продуктивной толще образуется толстая глинистая корка. Дополнительным фактором образования каналов являются зона смешения цементного и глинистого растворов. Зона смешения присутствует в поперечном сечении скважины вследствие неполного вытеснения глинистого раствора, особенно в условиях кавернозности ствола скважины. По границе раздела (цементный – глинистый растворы) может сформироваться камень с низкими механическими показателями и повышенной проницаемостью, как из цемента-глинистой смеси плотностью менее 1600 кг/м^3 .

По результатам изучения промысловых материалов и анализа причин возникновения заколонного флюидопроявления с использованием различных источников были выбраны факторы, которые могли привести к некачественному креплению эксплуатационной колонны в скважине Восточно-Прибрежной площади и в результате – к возникновению заколонных проявлений. С целью уточнения достоверности результатов аналитических исследований были проведены дополнительные исследования и анализ промысловых материалов применительно к скважине Восточно-Прибрежной площади, а также изучено выполнение проектных решений и их слабые стороны с учетом фактически вскрытых продуктивных пластов.

В результате проведенных исследований определено фактическое геологическое строение и уточнена аномальность пластового давления по разрезу, которые позволили установить в разрезе ствола скважины Восточно-Прибрежная два пласта разуплотненных битуминозных глин в интервалах глубин 3123,3–3126,5 м и 3131,8–3140,8 м, имеющих линзовидное строение, с аномальностью порового давления 2,03.

Невозможность прогнозирования экстремальных характеристик этих линзовидных тел обусловлена их ограниченной распространенностью по латерали и тем, что скважина Восточно-Прибрежная стала первой, пересекающей их.

Анализ тампонажного раствора для цементирования эксплуатационной колонны в данной скважине с учетом горно-геологических условий показал возможные изменения самого процесса формирования цементного камня в заколонном пространстве. Произошедшие в цементном камне в результате этого изменения могут быть оценены как влияние геологических факторов на качество крепи скважины [9]. Это подтверждается тем, что при строительстве скважины, в том числе при креплении эксплуатационной колонны, отклонений от проектных решений не замечено, и дана оценка «хорошо» соответствию строительства скважины техническому проекту. Это подтверждает соблюдение требований к подготовке ствола и спуску обсадной колонны, технологии крепления скважины эксплуатационной колонны.

На основе полученных результатов рассмотрим влияние основных факторов на происхождение заколонных проявлений в данной скважине.

Технические факторы не имеют места, так как не выявлена негерметичность обсадной колонны, резьб и соединений труб, глубина спуска соответствует проекту и гидравлический разрыв пласта не проводился.

Технологические факторы не имеют места, так как расхаживания обсадной колонны со снижением давления на пласт не проводилось, массоперенос флюида под давлением на продуктивный пласт не обнаружен, а также не имело места попадание флюида в цементный раствор в ЗП в результате активного снижения гидростатического или гидродинамического давления в системе «скважина–пласт». Возможное образование каналов вокруг колонны в процессе ожидания затвердения тампонажного раствора (ОЗЦ) при снятии в ней давления не имеет места.

Физико-химические факторы: седиментационное каналообразование; суффозия; высокая водоотдача цементного раствора; наличие глинистой корки в зоне контакта с тампонажным раствором; коагуляция тампонажных растворов в результате применения для их обработки химически несовместимых реагентов; повышенная проницаемость цементного камня; коррозия при воздействии агрессивных пластовых флюидов или пластовых вод не имеют места, за исключением возможного проявления контракционного эффекта при твердении тампонажного раствора с образованием пристенного слоя воды в зоне контакта «колонна – цементный камень».

Механические факторы не могут влиять на качество цементного камня в ЗП, так как трещинообразование и разрушение цементного камня, разрушение призабойной зоны пласта в результате перфорации, вращения обсадной колонны, гидравлических перепадов, гидроразрыва пласта и иных факторов не происходило.

Таким образом, на основе обобщения результатов проведенных исследований по влиянию различных факторов на заколонное проявление после цементирования эксплуатационной колонны в скважине Восточно-Прибрежная установлено, что в качестве основного фактора, в наибольшей степени повлиявшего на возникновение вышеуказанного осложнения, следует признать геологический фактор, обусловивший образование каналов в цементном камне в процессе его твердения. Это объясняется наличием двух пластов разуплотненных битуминозных глин в интервалах глубин 3123,3–3126,5 м и 3131,8 – 3140,8 м, имеющих линзовидное строение, с аномальностью порового давления 2,03, их ограниченной распространенностью по латерали и тем, что скважина Восточно-Прибрежного месторождения стала первой, пересекающей данные пласты. Это не позволило заранее прогнозировать экстремальные характеристики её геологического разреза. Не имея информации об этих обстоятельствах, которые проявились в процессе цементирования эксплуатационной колонны, а именно на этапе твердения цементного камня, и оказали серьезное влияние на его качество как изоляционного материала, авторы проекта не могли предусмотреть мероприятия,

учитывающие данные факторы, такие как увеличение плотности бурового и тампонажного растворов, требуемый уровень подъема цементного раствора с учетом градиента порового давления 2,03. В связи с этим технический проект разрабатывался на основе имеющихся исходных данных и предусматривал все необходимые мероприятия для качественного крепления скважины. А возникшее после ОЗЦ заколонное проявление можно представить, как осложнение геологического характера в результате вовремя не выявленной особенности геологического разреза, которая до момента выполнения работ была неизвестна.

Механизм возникновения заколонного проявления можно представить следующим образом.

В интервале пласта с экстремальными характеристиками происходит физико-химический процесс твердения тампонажного раствора: первоначально образующаяся коагуляционная структура с течением времени преобразуется в коагуляционно-кристаллизационную, а затем в кристаллическую с образованием твердого тела (камня). Процесс твердения сопровождается изменением начального объема тампонажного раствора в сторону его уменьшения (контракция), в результате чего в зоне цементирования образуется вакуум (разрежение), который потом заполняется пластовым флюидом [10].

Учитывая градиент порового давления 2,03, наличие в пласте нефтегазоводонасыщенности, образование вакуумного пространства, реальные условия для появления каналов в цементном растворе при определенных температурах и давлениях, имеющих место в процессе крепления, становятся очевидными причины формирования путей миграции пластовых флюидов в направлении наименьшего сопротивления, а именно: в тампонажном растворе недостаточной плотности с последующим образованием газопроводящих каналов в цементном камне.

Выводы

Анализ состояния вопроса причин заколонного проявления, произошедшего в эксплуатационной скважине после проведения работ по цементированию эксплуатационной колонны, позволяет сделать следующие выводы:

1. В разрезе ствола скважины обнаружены два пласта разуплотненных битуминозных глин, имеющих линзовидное строение, с аномальностью порового давления 2,03.
2. Невозможность прогнозирования экстремальных характеристик таких тел обусловлена ограниченной распространенностью по латерали и тем, что скважина стала первой, пересекающей эти тела.
3. Характеристики пласта с экстремальным градиентом порового давления, выявленного при детальном изучении геоло-

гического разреза скважины, невозможно было спрогнозировать.

3. Неожиданно выявленный пласт с экстремальными характеристиками, относящийся к линзовидному нефтегазоводонасыщенному телу, не мог быть учтен в проекте на строительство скважины, т.к. какая-либо информация об этом пласте во время работы над проектом отсутствовала.

Заключение

Авторами выявлена зависимость качества крепи скважины от отдельных параметров продуктивного горизонта (газонасыщенность, распределение давления по разрезу и т.д.) и горно-геологических условий вскрытого интервала в скважине.

Причинами формирования каналов для миграции газа в заколонном пространстве являются выявленный пласт с экстремальными характеристиками и, как вторичный фактор, особенности процесса твердения тампонажного раствора в закрытом забойном пространстве, что обусловило появление гидродинамической связи между пластом и цементным камнем.

Библиографический список

1. Гасумов Р.А. Особенности строительства глубоких скважин в осложненных горно-геологических условиях Предкавказья / Р.А. Гасумов, В.Г. Копченков, В.Т. Лукьянов, Н.Г. Федорова, С.Н. Овчаров // Наука. Инновации. Технологии. 2017. № 1. С. 123-140
2. Сеид-Рза М.К. Технология бурения глубоких скважин в осложненных условиях. Баку: Азернешр, 1963. С. 338.
3. Антонов П.Л. Дальность и продолжительность диффузии газов из залежей в законтурные воды // Газовая промышленность. 1963. № 9. С. 1-6.
4. Малеванский В.Д. Открытые газовые фонтаны и борьба с ними. М.: Гостоптехиздат, 1963. С. 148.
5. Александров Б.Л. Определение и прогнозирование аномально высоких пластовых давлений геофизическими методами: обзор ВНИИОЭНГ. М.: ВНИИОЭНГ, 1973. 80 с.
6. Гасумов Р.А. Геологические факторы, влияющие на качество крепления скважин (на примере конкретной скважины Прибрежной группы месторождений). // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 12. С. 48-53.
7. Гасумов Р.А. К вопросу о механизме возникновения флюидопроявлений при цементировании скважин / Р.А. Гасумов, К.М. Тагиров, Ю.И. Петраков // Сб. научн. статей: Строительство га-

- зовых и газоконденсатных скважин. М.: ВНИИгаз, 1992. С. 73–76.
8. Боннет А., Пафитис Д. Миграция газа - взгляд в глубь проблемы: нефтегазовое обозрение / А. Боннет, Д. Пафитис // Шлюмберже, 1998. С. 18–33.
 9. Перейма А.А. Образование флюидопроводящих каналов в зацементированном пространстве скважин и основные пути его предотвращения / А.А. Перейма, Ю.К. Димитриади, Ю.С. Минченко // Газовая промышленность. 2011. № 7. С. 88–92.
 10. Гасумов Р.А. Предупреждение заколонных флюидопоявлений при строительстве и капитальном ремонте скважин: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ставрополь, 1994.

Bibliography

1. Gasumov R.A. Osobennosti stroitel'stva glubokih skvazhin v oslozhnennykh gorno-geologicheskikh usloviyakh Predkavkaz'ja (Features of deep wells the construction in the complicated mining and geological conditions of Transcaucasia) / R.A. Gasumov, V.G. Koptchenkov, V.T. Luk'janov, N.G. Fedorova, S.N. Ovcharov // Nauka. Innovacii. Tehnologii. 2017. № 1. S. 123-140
2. Seid-Rza M.K. Tehnologija burenija glubokih skvazhin v oslozhnennykh usloviyakh (Technology of drilling deep wells in complicated conditions). Baku: Azerneshr, 1963. S. 338.
3. Antonov P.L. Dal'nost' i prodolzhitel'nost' diffuzii gazov iz zalezhej v zakonturnye vody (The range and duration of gas diffusion from deposits in the invaded water) // Gazovaja promyshlennost'. 1963. № 9. S. 1–6.
4. Malevanskij V.D. Otkrytie gazovye fontany i bor'ba s nimi (Open gas fountains and fight with them). M.: Gostoptehizdat, 1963. S. 148.
5. Aleksandrov B.L. Opredelenie i prognozirovanie anomal'no vysokih plastovyh davlenij geofizicheskimi metodami (Determination and prediction of abnormally high formation pressures using geophysical methods): obzor VNIIOJeNG. M.: VNIIOJeNG, 1973. 80 s.
6. Gasumov R.A. Geologicheskie faktory, vlijajushhie na kachestvo kreplenija skvazhin (na primere konkretnoj skvazhiny Pribrezhnoj gruppy mestorozhdenij) (Geological factors influencing the quality of well cementing (for example a particular well of Pribrezhnaya group of fields) // Geologija, geofizika i razrabotka nefthanyh i gazovyh mestorozhdenij. 2014. № 12. S. 48-53.
7. Gasumov R.A. K voprosu o mehanizme vzniknovenija fljuidoprojavenij pri cementirovanii skvazhin (To the question about the mechanism of floodproofing during cementing of wells) / R.A. Gasumov, K.M. Tagirov, Ju.I. Petrakov // Sb. nauchn. statej: Stroitel'stvo gazovyh i gazokondensatnyh skvazhin. M.: VNIlgaz, 1992. S. 73–76.

8. Bonnet A., Pafitis D. Migracija gaza - vzgljad v glub' problem (Gas migration – a look into the problem): neftegazovoe obozrenie / A. Bonnet, D. Pafitis // Shljumberzhe, 1998. S. 18–33.
9. Perejma A.A. Obrazovanie fljuidoprovodjashhih kanalov v zacementirovannom prostranstve skvazhin i osnovnye puti ego predotvrashhenija (The formation of fluid-conducting channels in the cemented space of wells and the main prevention methods) / A.A. Perejma, Ju.K. Dimitriadi, Ju.S. Minchenko // Gazovaja promyshlennost'. 2011. № 7. S. 88–92.
10. Gasumov R.A. Preduprezhdenie zakolonnnyh fljuidoprojavlenij pri stroitel'stve i kapital'nom remonte skvazhin (Prevention of annular floodproofing during the construction and repair of wells): avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk / Stavropol', 1994.

УДК 622.241

**Гасумов Р.Р. [Gasumov R.R.],
Димитриади Ю.К. [Dimitriadis Y.K.],
Лукьянов В.Т. [Lukyanov V.T.],
Федоренко В.В. [Fedorenko V.V.]**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВОВ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ПРОВОДКИ СКВАЖИН В СЛОЖНЫХ ТЕРМОБАРИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Improvement of drilling fluids for wells under complex thermobaric conditions

В связи с естественным истощением запасов углеводородов в мезозойских отложениях большинства эксплуатируемых месторождений Северного Кавказа с целью дальнейшего развития нефтегазодобывающей отрасли в регионе необходимо активное вовлечение в разработку карбонатного комплекса юры Западного Предкавказья. Строительство глубоких разведочных скважин в осложненных горно-геологических условиях требует применения специальных технологий и технологических решений с использованием имеющегося опыта бурения аналогичных скважин. В статье рассмотрены результаты исследований в области совершенствования составов обратных эмульсий с целью повышения их термостойкости для бурения глубоких скважин в осложненных горно-геологических условиях. Рекомендуется повысить устойчивость эмульсий за счет введения соэмульгатора, влияющего на физико-механические и химические свойства эмульгатора и эмульсии. Приводятся механизм подбора соэмульгаторов для получения гидрофобных эмульсий с термостабильностью до 170 °С, результаты экспериментальных исследований, рецептуры эмульсий и практические рекомендации по обработке скважин с высокими пластовыми температурами.

Due to the natural depletion of hydrocarbon reserves in the Mesozoic deposits of the majority of exploited deposits in the North Caucasus in order to further develop the oil and gas production industry in the region, active involvement in the development of the carbonate complex of the Jurassic of the Western Ciscaucasia is necessary. The construction of deep exploration wells in complicated mining and geological conditions requires the use of special technologies and technological solutions using the experience of drilling similar wells. Consideration is given to research results for improvement of return emulsions compositions with the purpose to increase their thermal stability for drilling of deep wells in the complicated mountain-geological conditions. It is recommended to increase the stability of emulsions by introducing a co-emulsifier which affects the physical, mechanical and chemical properties of the emulsifier and emulsion. The mechanism of selection of co-emulsifiers for obtaining hydrophobic emulsions with thermostability up to 170 °C, the results of experimental studies, emulsion formulations and practical recommendations for treating wells with high reservoir temperatures are presented.

Ключевые слова: скважина, бурение, термобарические условия, буровой раствор, термостойкость, эмульгатор.

Key words: well, drilling, thermobaric conditions, drilling fluid, heat resistance, emulsifier.

Введение

Естественное истощение углеводородов в мезозойских отложениях Предкавказья требует активного вовлечения в разработку других продуктивных горизонтов, в связи с чем необходимо изучение глубоководных

ных отложений в карбонатном комплексе юры Западного Предкавказья, с глубиной залегания ниже 5300 м. Проведение ГРП в этом случае сопряжено со строительством глубоких разведочных скважин в осложненных горно-геологических условиях с применением специальных технологий и технических решений и использованием опыта бурения аналогичных скважин в регионе [1-5].

Анализ результатов промысловых и лабораторных исследований при строительстве первой разведочной скважины на данной площади показал, что до глубины 5665 м бурение проходило с осложнениями, а на глубине 5680 м в связи с падением плотности выходящего из скважины бурового раствора с высокими газопоказаниями промывочной жидкости, превышающими фоновые значения, бурение было приостановлено и конечная цель проекта не была достигнута.

Основная причина невозможности продолжения бурения – несоответствие прочностных характеристик проектной конструкции скважины фактическим горно-геологическим условиям – аномально высоким давлением (коэффициент аномальности $K_a > 2,0$) и температурой (свыше 200 °С) [1].

Материалы и методы исследований

В статье приведены результаты изучения промысловых материалов, лабораторных и теоретических исследований, полученных при строительстве глубоких разведочных скважин на месторождениях Предкавказья, с использованием расчетно-аналитических методов определения горно-геологических условий с графической визуализацией и экстраполированием.

Результаты исследований и их обсуждение

При проводке первой разведочной скважины в сложных термобарических условиях периодически замерялась температура по стволу скважины (табл. 1).

Используя данные табл. 1, определена температура пласта по геотермическому градиенту (G_r) [6]:

$$G_m = \frac{H}{T - T_o} \quad (1)$$

где H – глубина замера температуры, м;
 T – температура на глубине, °С;
 T_o – средняя годовая температура воздуха на поверхности, °С.

На рисунке 1 приведена зависимость температуры (проектная и фактическая) от глубины скважины. Температура на глубине 6150 м определена по прямолинейному участку этой зависимости и составила 210 °С.

Сравнительный анализ фактических и проектных параметров бурового раствора (табл. 2) показал их существенные различия, а время начала изли-

Таблица 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАМЕРОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО СТВОЛУ СКВАЖИНЫ

Глубина, м	Температура, принятая в проекте, °С	Фактическая температура, °С
970	41	61
1850	75	83
2180	88	91
3470	138	130
3770	150	143,5
4090	162	147,5
4580	182	152
4900	194	161
5060	200	168
5586	221	192
6150	243	210 (расчетная)

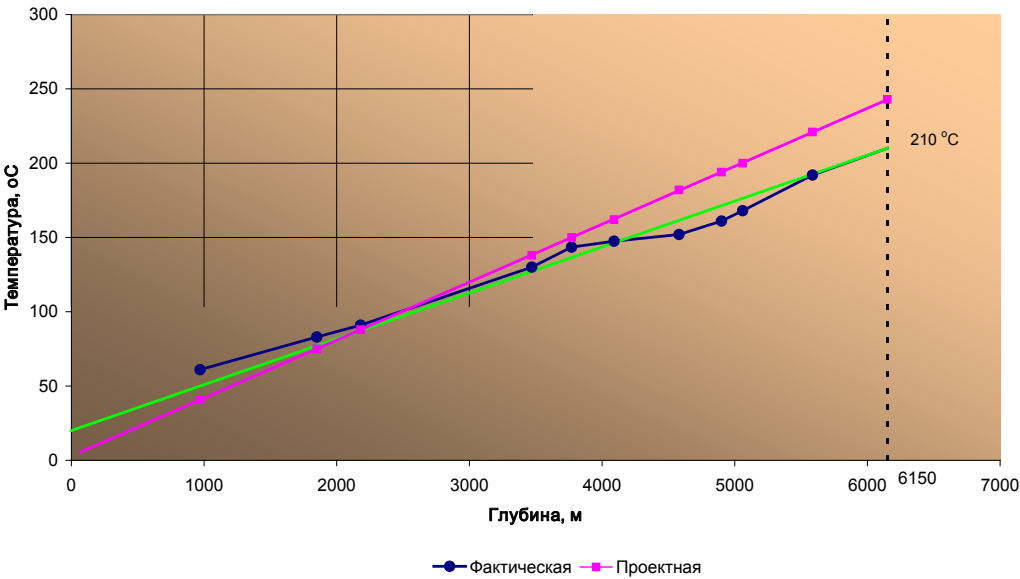


Рис. 1. Кривая зависимости температуры от глубины по стволу скважины.

Таблица 2. ПРОЕКТНЫЕ И ФАКТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
БУРОВОГО РАСТВОРА ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИНЫ
В ИНТЕРВАЛЕ 5620–5680 М

Проектные параметры бурового раствора							
Плотность, кг/м³	Условная вязкость, Па·с	СНС 1/10 мин, дПа	ДНС, дПа	Водоотдача, см³/30 мин	рН	Пластическая вязкость, мПа·с	Толщина глинистой корки, мм
1860	35–60	6/40–15/70	70–135	2,0–2,5	8,5–9,5	25–35	0,5 – 1,0

Фактические параметры бурового раствора						
Плотность, кг/м³		Условная вязкость, Па·с	СНС 1/10 мин, дПа	ДНС, дПа	Водоотдача, см³/30 мин	Пластическая вязкость, мПа·с
закачиваемого бурового раствора	выходящего бурового раствора					
1880–2350	1820–2190	40–69	57/100–95/153	172–291	2,6–3,7	27–60

вов при различных плотностях раствора остается практически неизменным, варьируя от 60 до 90 мин. Средняя плотность бурового раствора по стволу скважины составила 2143 кг/м³ (проектная 1860 кг/м³). Распределение эквивалентного давления, создаваемого буровым раствором по стволу скважины, не равномерно.

Основными причинами таких расхождений являются:

- бурение скважины в сложных термобарических и геолого-технических условиях;
- резкое увеличение механической скорости проходки и интенсивные газопроявления, которые удалось ликвидировать посредством увеличения плотности бурового раствора до 2350 кг/м³;
- завышенные значения реологических параметров бурового раствора (статическое напряжение сдвига СНС до 95/153, динамическое напряжение сдвига ДНС τ до 291 дПа, пластическая вязкость η до 60 мПа·с) не соответствовали фактическим термобарическим условиям, что привело к большой депрессии при спускоподъемных операциях бурового инструмента в скважине, вспениванию бурового раствора с последующим колебанием гидродинамического забойного давления, возникновению газопроявления.

Результаты исследований [4, 7, 8] показали, что на объем перелива из труб влияет не только наличие притока, но и «текущие термобарические условия в трубах». Установлено, что, наряду с действительным процессом восстановления давления, на формирование кривой восстановления давления (КВД) влияло повышение температуры в подпакерной зоне в процессе испытания (подтверждено результатами прямых глубинных замеров в скважине). Это показывает, что время для полного прогревания раствора не выдержано, в процессе испытания повышение температуры вызвало расширение бурового раствора и рост давления в подпакерной зоне до 130 МПа.

В период регистрации КВД подпакерная зона представляла собой замкнутую систему, ограниченную сверху пакером, сбоку обсадной колонной, снизу баритовой пробкой (глинистой коркой) на цементном камне, которая может пропускать флюид вверх, но экранирует цементный мост в обратном направлении. При нагревании раствора в замкнутом пространстве должно создаваться дополнительное давление, поэтому кривая отражает суммарный эффект от двух процессов: восстановление давления под пакером и приращение давления в замкнутой системе, вызванное продолжающимся нагревом бурового раствора [6, 9–11].

Для учета последнего по уравнению, описывающему процесс передачи тепла от бурильных труб к жидкости и уравнению теплового баланса определено изменение температуры на забое при движении буровых растворов различной плотности и их начальной температуры с учетом восходящего потока, прогретого до пластовой температуры раствора [12–15].

Все теплофизические параметры раствора найдены расчетным путем с учетом его состава. Температуру на выходе из бурильных труб $T_{\text{вых}}$ определили по формуле:

$$T_{\text{вых}} = 2T_{\text{cp}} - T_{\text{исх}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{исх}}$ – температура на входе в участок бурильных труб, °С;
 T_{cp} – средняя температура раствора на рассматриваемом участке, °С, определяемая по формуле:

$$T_{\text{cp}} = \frac{\frac{2\pi\Delta L T_{\text{ср}} \Delta \tau}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\lambda_m} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_{p-pa}} \ln \frac{R_{\text{жс}}}{r_2}} + T_{\text{исх}} mc_{p-pa}}{mc_{p-pa} + \frac{2\pi\Delta L \Delta \tau}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\lambda_m} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_{p-pa}} \ln \frac{R_{\text{жс}}}{r_2}}} \quad (3)$$

где ΔL – длина участка, по которому течет раствор, м;
 $\Delta \tau$ – время прохождения участка раствором, мин;

$T_{ср2}$ –	температура породы на середине рассматриваемого участка, °C;
$T_{ср}$ –	средняя температура раствора на рассматриваемом участке, °C;
α –	коэффициент теплоотдачи раствора ($\alpha \approx 300$ Вт/м ² ·K);
$R_{жс}$ –	радиус теплового влияния, соответствующий заданному времени, при котором определяется температура на забое, м;
λ_m и λ_{p-ra} –	коэффициенты теплопроводности соответственно бурильных труб и раствора ($\lambda_m = 52$ Вт/м·K, $\lambda_{p-ra} = 0,66$ Вт/м·K);
c_{p-ra} –	теплоемкость раствора ($c_{p-ra} = 2216$ Дж/кг·K);
r_1 и r_2 –	внутренний и наружный радиусы бурильных труб, м.

По проведенным расчетам на забой поступил раствор с температурой 123 °C.

Коэффициент упругой сжимаемости раствора β_p определяется по формуле:

$$\beta_p = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta P} = \frac{0,145}{55,7 \cdot 163} = 16 \cdot 10^{-6} \frac{1}{кгс / см^2}, \quad (4)$$

где V_0 –	физический объем внутреннего пространства бурильного инструмента, $V_0 = 55,7$ м ³ ;
ΔV –	изменение объема раствора при снижении давления до атмосферного давления;
$\Delta V = 0,145$ м ³ .	

Количество тепла Q , получаемое раствором за время нагревания τ :

$$Q = \frac{F(T_{nl} - T)\tau}{\frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (5)$$

где $\lambda_{ст}$ –	коэффициент теплопроводности материала стенки (примем как для бетона, $\lambda_{ст} \approx 1,05$ Вт/м·K);
α_1 и α_2 –	коэффициенты теплоотдачи от породы к трубе и от трубы к жидкости соответственно ($\alpha_1 \approx 4,1$ Вт/м ² ·K, $\alpha_2 \approx 300$ Вт/м ² ·K);
δ_{cm} –	толщина стенки, м;
T_{nl} и T –	пластовая температура и температура, до которой нагреется раствор за время τ , °C;
F –	площадь поверхности теплообмена, $F = 2\pi r \Delta L$, м ² .

Количество тепла, необходимое на нагревание раствора:

$$Q = mc_{p-ra}(T - T_{нач}) \quad (6)$$

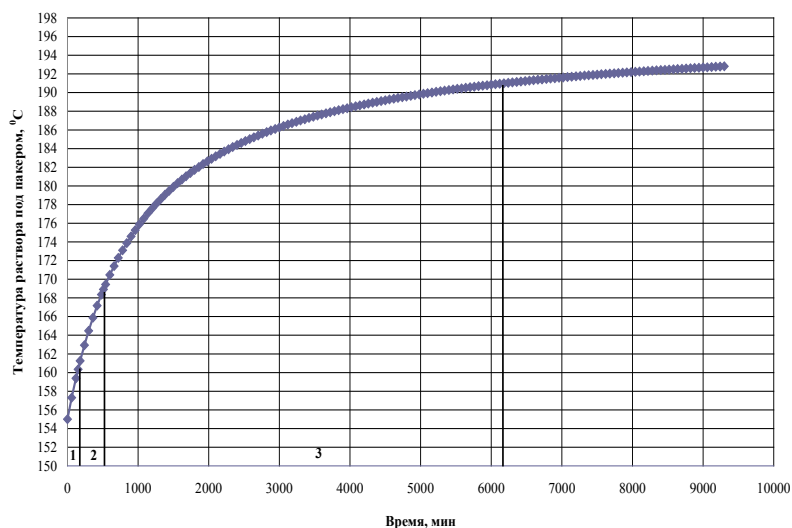
где m – масса нагреваемого раствора;
 $T_{нач}$ – начальная температура раствора.

Температура, до которой нагреется раствор за определенный промежуток времени τ :

$$T = \frac{2\tau T_{пл} + r\rho c_{p-ra} T_{нач} \left(\frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)}{r\rho c_{p-ra} \left(\frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + 2\tau} \quad (7)$$

По расчетам за 25 минут раствор над пакером нагрелся до 155 °С.

Наращение температуры раствора на забое представлено на рис. 2.



- 1 – период стоянки на притоке (открытый период);
- 2 – период регистрации КВД;
- 3 – предполагаемый отрезок времени до завершения прогревания раствора до $\approx 95\%$ от пластовой температуры.

Рис. 2.

График нарастания температуры бурового раствора на забое.

Таблица 3. ЗНАЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПЛОТНОСТИ В ТРУБНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Буровой раствор с плотностью 1440 кг/м³		Буровой раствор с плотностью 2050 кг/м³	
Время t, мин	Средняя температура Tср, °С	Время t, мин	Температура Tср, °С
0	90,50	0	136,00
60	154,83	60	173,18
120	168,64	120	180,04
150	172,15	150	181,73
180	174,66	180	182,93
240	178,04	240	184,51
300	180,19	300	185,52
360	181,69	360	186,21
420	182,79	420	186,72
480	183,64	480	187,11
510	183,99	510	187,27
540	184,30	540	187,42
600	184,84	600	187,66
660	185,29	660	187,87

Коэффициент объемного теплового расширения раствора определили по формуле:

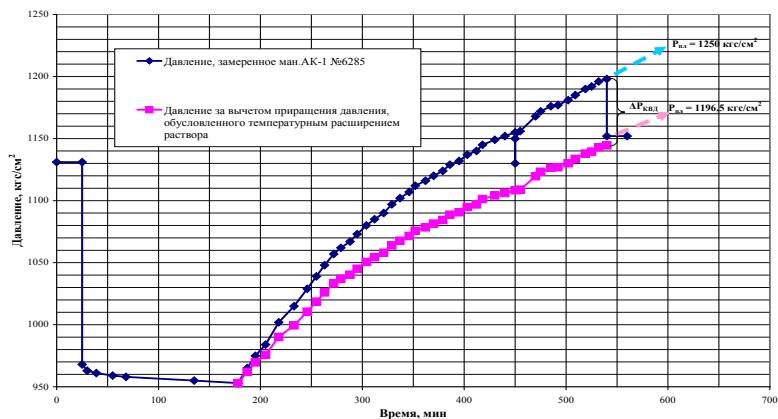
$$\beta_T = \frac{\Delta V}{V'_0 \Delta T} = \frac{0,045}{55,5 \cdot 8,7} = 9,3 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^{\circ}C},$$

(8)

где V'_0 – физический объем внутреннего пространства бурильных труб до запорного клапана, полностью заполненный раствором;

V – приращение объема раствора при нагревании его на величину ΔT .

В течение времени регистрации КВД буровой раствор находился в термобарическом процессе и происходило изменение давления, которое рассчитывается:



Давление, замеренное ман.АК–1 №6285;

Давление за вычетом приращения давления, обусловленного температурным расширением раствора.

Рис. 3.

Сравнительный график кривых восстановления давления в подпакерном пространстве.

$$\Delta P = \frac{\beta_T \Delta T}{\beta_P}, \quad (9)$$

где ΔT — изменение температуры под пакером.

В результате расчетов получена кривая восстановления давления (рис. 3).

Значение градиента пластового давления совпадает с величиной градиента порового давления, полученной по данным бурения «методом d-экспоненты» и равной 2,04 МПа/100 м.

В результате проведенных исследований установлено [15–19]:

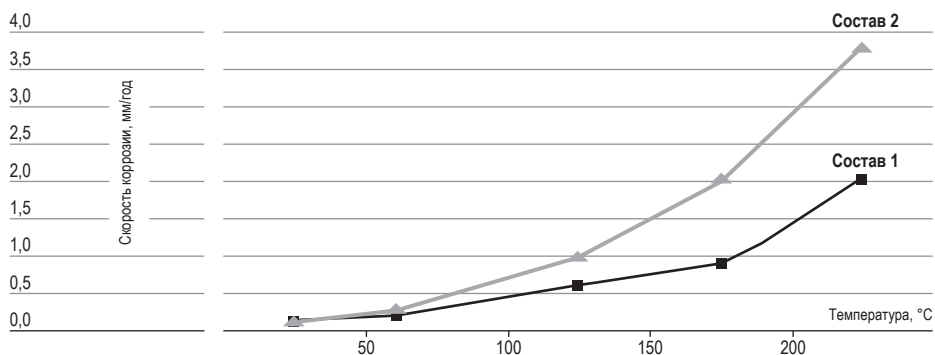
- тип бурового раствора (полимерглинистый) не соответствует сложным термобарическим условиям, т.к. используемые для его обработки реагенты подвергаются термодеструкции при температурах более 180 °С и утрачиваются функция полимерных реагентов, как регуляторов вязкости (одна из причин выпадения баритовой пробки), и фильтрационные свойства бурового раствора;

Таблица 4. ТЕРМОБАРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ В СКВАЖИНЕ

Параметр	Проектный	По расчетным данным
Расчетное пластовое давление, МПа	99,9	132,3
Градиент пластового давления, МПа/100 м	1,8	2,07 для I пачки 2,16 для II пачки
Плотность бурового раствора, кг/м³	1860	2200–2310
Градиент гидроразрыва, МПа/100 м	2,24	2,50–2,98
Температура, °C	232	240
Содержание в газе агрессивных компонентов		
Углекислый газ, %	0	6,5
Сероводород, %	0	0,033–0,3

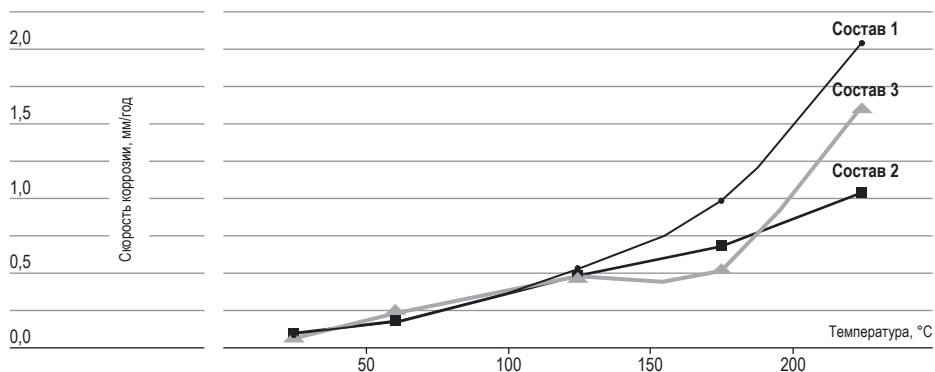
- наличие кислых компонентов в буровом растворе обусловлено выделением газов (CO_2 , SO_2 и других серосодержащих соединений) за счет взаимодействия ингредиентов бурового раствора с породой и контактирующим с ним пластовым флюидом. Снижение pH бурового раствора с ростом температуры обусловлено образованием H_2S , CO и CO_2 при термическом разложении лигносульфоната;
- источником появления CO_2 и газирования бурового раствора является применение нетермостойкого реагента – бикарбоната натрия, который начинает разлагаться при повышении температуры более 50 °C.
- колебания гидродинамического забойного давления обусловлены повышенными реологическими параметрами бурового раствора, что привело к возникновению газопроявлений (реологические параметры бурового раствора необходимо поддерживать в пределах: $\tau = 70 - 135$ дПа; $\eta = 25 - 35$ мПа·с).

В связи с выше изложенным для бурения глубоких скважин в сложных горно-геологических и термобарических условиях целесообразно применение бурового раствора, обработанного термостойкими химическими реагентами, содержащими ингибитор коррозии оборудования, обеспечиваю-



Состав 1: КМЦ + бентонит. Состав 2: КМЦ + ФХЛС + бентонит + гипс + известь.

Рис. 4. Зависимость скорости коррозии образцов стали от состава буровых растворов и температуры.



Состав 1: КМЦ + бентонит.

Состав 2: Сополимер винилсульфоната-виниламида + бентонит.

Состав 3: Сополимер винилсульфоната-виниламида + ангидрид стиролсульфонатmaleиновой кислоты + бентонит + гипс + известь.

Рис. 5. Зависимость скорости коррозии образцов стали от состава буровых растворов и температуры.

щий нейтрализацию кислых газов в широком диапазоне значений pH и температуры до 240 °C [20, 21].

Агрессивность буровых растворов оценивали по мгновенной скорости коррозии, определенной методом поляризационного сопротивления (метод (PAIR) образцов-свидетелей из малоуглеродистой стали С 1018 (UNS G 10180). Зависимость скорости коррозии образцов стали от состава буровых растворов и температуры представлена на рис. 4, 5.

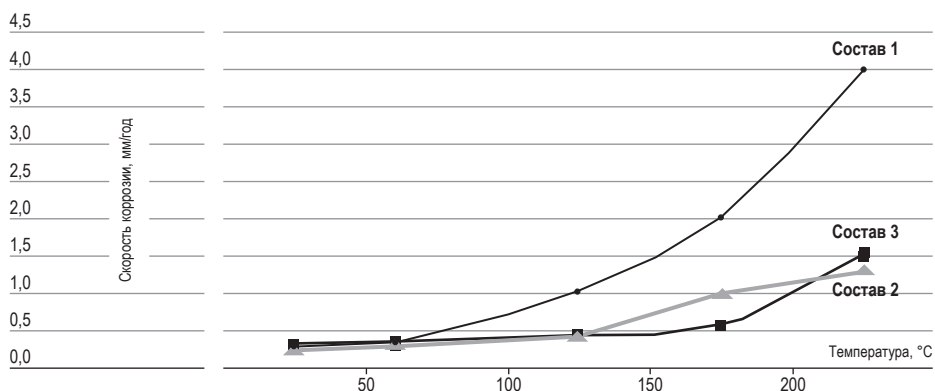
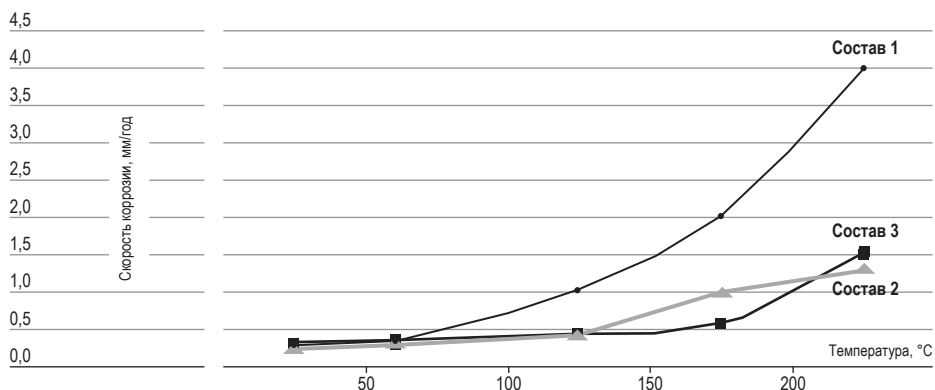
Резкое повышение скорости коррозии в буровом растворе, представляющем собой суспензию бентонита с добавками КМЦ, при температурах выше 120 °C, возможно, обусловлено выделением кислорода при термическом разложении КМЦ. Другой причиной повышения скорости коррозии может являться снижение его pH с ростом температуры. Этим же объясняется резкое повышение скорости коррозии при использовании бурового раствора с добавками лигносульфоната (рис. 4). Также повышение скорости коррозии может быть связано с образованием H_2S , CO и CO_2 при термическом разложении лигносульфоната. При замене в буровом растворе КМЦ на сополимер винилсульфоната-виниламида скорость коррозии резко снижается, что объясняется большей стойкостью сополимера к термическому разложению и практически постоянному значению pH в этом растворе (рис. 5). Сильнее всего коррозия снижается в буровых растворах, в которые введены сополимер винилсульфоната – виниламид и ангидрид стиролсульфонатмалеиновой кислоты, а часть бентонита заменена на аттапулгит (рис. 6).

В качестве ингибиторов коррозии бурильного инструмента и бурового оборудования при углублении скважины в зависимости от вида бурового раствора используются водо- или маслорастворимые вододиспергируемые ингибиторы. При применении бурового раствора на углеводородной основе эффективно использование маслорастворимых вододиспергируемых ингибиторов, в буровой раствор на водной основе необходимо введение водорастворимого ингибитора коррозии с термостойкостью в пределах 240 °C.

Установлено влияние химических реагентов – регуляторов технологических свойств на коррозионную активность буровых растворов. Исходя из результатов исследований [21], наименее активны в коррозионном отношении к металлу буровые растворы с полимером виниламидом и его сополимерами.

Одно из основных требований, предъявляемых к ингибиторам – полифункциональность. Они должны не только снижать скорость общей коррозии, но и замедлять наводороживание металла в сероводородсодержащих, углекислотных и комбинированных средах, сохраняя механические свойства металлических конструкционных материалов, обладать достаточной бактерицидной способностью и защитной эффективностью [7, 20, 21].

Накоплен опыт бурения скважин в Астраханской области, Турменистане, Узбекистане на глубину до 7500 м при забойной температуре 250 °C.



Состав 1: КМЦ + ФХЛС + бентонит + гипс + известь.

Состав 2: Сополимер винилсульфоната-виниламида + ангидрид стиролсульфонатмалеиновой кислоты + бентонит + гипс + аттапульгит + известь.

Состав 3: Сополимер винилсульфоната-виниламида + ангидрид стиролсульфонатмалеиновой кислоты + бентонит + гипс + аттапульгит + барит + известь.

Рис. 6. Зависимость скорости коррозии образцов стали от состава буровых растворов и температуры.

Испытания раствора типа DURATERM плотностью 2350 кг/м³ продемонстрировали большую седиментацию барита и потерю динамического напряжения сдвига после термостарения.

Буровой раствор на водной основе с использованием высокотемпературных полимеров PYRO-DRILL рекомендован его разработчиком фирмой BAKER HUGHES как альтернатива растворам на нефтяной основе для усло-

Таблица 5. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ БУРОВЫХ
РАСТВОРОВ

Название параметра	Единица измерения	Буровой раствор		
		DURATERM	MEGADRIL	PYRO-DRILL
Система бурового раствора		На водной основе с ингибитором температурной деструкции	Инвертный эмульсионный	Соленасыщенный полимерглинистый
Фирма-разработчик	–	M-I Swaco	M-I Swaco	Baker Hughes
Плотность	кг/м³	2300	2300	2310
Условная вязкость	с	65	–	40-60
Пластическая вязкость	мПа·с	15-25	45-55	25-45
Динамическое напряжение сдвига	дПа	60-140	136-170	86-125
Статическое напряжение сдвига	дПа	20-50/30-90	39-73/58-98	48-144/96-240
Показатель фильтрации	см³/30 мин	< 6	< 1	< 5
Предельная температура применения	°С	210-220 при плотности 2300 кг/м³ (выпадение барита из раствора плотностью 2350 кг/м³ при температуре 250 °С)	210-220 при плотности 2300 кг/м³ (выпадение барита из раствора плотностью 2350 кг/м³ при температуре 250 °С)	250 при плотности 2350 кг/м³
Стоимость 1 м³ без НДС	тыс. руб	27–29	70–80	135 (для температуры 210 °С и плотности 2310 кг/м³) 145,5-168 (для температуры 250 °С и плотности 2350 кг/м³)

вий, когда статическая температура на забое достигает 260 °С. Раствор на глубине бурения до 7010 м имел плотность 2280 кг/м³, что позволило минимизировать риски, связанные с возникновением флюидопроявлений, притока кислых газов, поглощений.

Для забойной температуры 250 °С и плотности бурового раствора 2350 кг/м³ фирмой BAKER HUGHES было предложено увеличить концентрацию полимеров-понижителей фильтрации и разжижителей с использованием двух вариантов утяжеления бурового раствора: только баритом или баритом в комбинации с тетраоксидом тримарганца в соотношении 1:3. Благодаря малым размерам частиц 1 мкм и растворимости в соляной и лимонной кислотах, MICROMAX рекомендован как утяжелитель, предпочтительный для вскрытия продуктивных пластов. Благодаря сферической форме частиц применение MICROMAX способствует снижению реологии и эквивалентной циркуляционной плотности раствора, что очень важно при проходке поглощающих пластов.

Буровой раствор MEGADRIL, реологические параметры которого изменяются в зависимости от типа его основы – минерального масла, обладает высокой стабильностью и устойчивостью к загрязнению, ингибирующей способностью и инертностью к разбураиваемым породам, низкими фильтрационными свойствами и минимальным воздействием на естественную проницаемость пластов, высокой смазывающей способностью, низким коэффициентом трения в системе «порода-металл», практически полным устранением дифференциальных прихватов, антикоррозионным действием к металлу бурового оборудования. Коэффициент его повторного использования равен 3–4.

Однако испытания раствора MEGADRIL на забойную температуру 250 °С при плотности 2350 кг/м³ также показали непригодность существующей рецептуры для повышенных термобарических условий.

Заключение

Для обеспечения работоспособности полимеров необходимо поддержание pH раствора на уровне 9–10, что особенно важно при бурении через породы, содержащие кислые газы. Для регулирования параметра pH предлагается применять каустическую соду в комбинации с окисью магния.

Стабилизация стенок скважины в потенциально неустойчивых переслаивающихся аргиллитах обеспечивается добавками сульфированного битума SULFATROL. Заданная плотность обеспечивается применением барита.

С целью минимизации риска возникновения поглощений и дифференциальных прихватов применяется карбонат кальция фракций от 5 мкм до 25 мкм, а также карбонат кальция чешуйчатой формы частиц SOLUFLAKE

фракций F (мелкий) и M (средний), которые являются утяжеляющими компонентами.

Для поглощений сероводорода необходима обработка раствора карбонатом цинка в концентрации не менее 8 кг/м^3 , а для связывания углекислого газа – обработка хлористым кальцием в концентрациях до 4 кг/м^3 . С целью предупреждения вспенивания бурового раствора применяется кремнийорганический пеногаситель DEFOMEX.

Для обеспечения смазывающих свойств раствора и уменьшения коррозии бурильного инструмента и оборудования в условиях высоких температур применяется смазывающая добавка ECCO-LUBE и поглотитель кислорода-ингибитор коррозии ECCO-COR 40.

При углублении скважины до 6150 м для высоких забойных температур 210°C фирма M-I SWACO рекомендует использовать буровой раствор на водной основе DURATHERM или буровой раствор на углеводородной основе MEGADRILL. Для забойной температуры 250°C BAKER HUGHES рекомендует использовать буровой раствор на водной основе PYRO-DRILL.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гасумов Р.А. Особенности строительства глубоких скважин в осложненных горно-геологических условиях Предкавказья / Р.А. Гасумов, В.Г. Копченков, В.Т. Лукьянов, Н.Г. Федорова, С.Н. Овчаров // Наука. Инновации. Технологии. 2017. № 1. С. 123–140.
2. Гасумов Р.А. Комплексные научно-технические решения вопросов поиска, разведки и разработки месторождений углеводородов юга России / Р.А. Гасумов, Л.А. Ильченко // Наука и техника в газовой промышленности. 2013. № 4(56). С. 16–20.
3. Гасумов Р.А. Особенности строительства глубоких поисково-разведочных скважин в осложненных горно-геологических условиях / Р.А. Гасумов // Материалы XI Международной научно-практической нефтегазовой конференции (Кисловодск, 27–31 окт. 2014 г.). Ставрополь: СевКавНИПИгаз. 2014. С. 11–13.
4. Гасумов Р.А. Инновационные решения при проектировании объектов нефтегазодобычи / Р.А. Гасумов // V Петербургский международный газовый форум (Санкт-Петербург, 6–9 окт. 2015 г.) / Конгрессная программа.
5. Гасумов Р.А. Геологические факторы, влияющие на качество крепления скважин (на примере конкретной скважины При-

- брежной группы месторождений) / Р.А. Гасумов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 12. С. 48-53.
6. Леонов Е.Г. Гидроаэромеханика в бурении: учебник для вузов / Е.Г. Леонов, В.И. Исаев. М.: Недра. 1987. 304 с.
 7. Барбакадзе Е.О. Влияние минералогического состава на устойчивость асбестоцемента в средах, содержащих сероводород / Е.О. Барбакадзе, О.И. Грачёва // Тр. НИИИАсбестоцемент. М. 1963. Вып. 17. С. 14–35.
 8. Дубенко В.Е. Расчетный метод обоснования интервалов установки колонн-хвостовиков в газовых скважинах / В.Е. Дубенко, В.И. Чернухин, В.А. Васильев // Пути повышения скоростей бурения и сокращения сроков строительства скважин: материалы научно технического совета (Тюмень, ноябрь 2004 г.). М.: ИРЦ Газпром. 2005. С. 102–112.
 9. Бабаян Э.В. Буровые технологии / Э.В. Бабаян // Краснодар: Совет. Кубань. 2009. 896 с.
 10. Горонович С.Н. Методы обеспечения совместимости интервалов бурения / С.Н. Горонович. М.: Газпром экспо. 2009. 356 с.
 11. Булатов А.И. Решение практических задач при бурении и освоении скважин: справ. пособие / А.И. Булатов, Ю.М. Проселков // Краснодар: Совет. Кубань. 2006. 744 с.
 12. Соловьев Е.М. Задачник по заканчиванию скважин: учеб. пособие для вузов / Е.М. Соловьев. М.: Недра. 1989. 251 с.
 13. Спивак А.И. Разрушение горных пород при бурении скважин: учебник для вузов / А.И. Спивак, А.Н. Попов. М.: Недра. 1994. 261 с.
 14. Гаджумян Р.А. Инженерные расчеты при бурении глубоких скважин / Р.А. Гаджумян, А.Г. Калинин, Б.А. Никитин // М.: Недра. 2000. 491 с.
 15. Rahman, S.S. Treatment of drilling fluid to combat drill pipe corrosion / S.S. Rahman // Corrosion (USA). 1990. № 9. P. 778–782.
 16. Рабинович В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин // Л.: Изд-во «Химия». 1978. 392 с.
 17. Потапов А.Г. Влияние сероводорода на буровые растворы, а также методы контроля и химического связывания сероводорода / А.Г. Потапов, А.Н.Ананьев, Ю.П. Христенко и др. // РИ Бурение газовых и морских нефтяных скважин. М.: ВНИИЭгазпром. 1980. Вып. 4. С. 28-36
 18. Александров В.П. Промышленное производство утяжеляющей добавки к буровым растворам, нейтрализующей сероводород / В.П. Александров и др. // РИ Бурение. М.: ВНИИЭгазпром. 1981. Вып. 1. С. 19-21.
 19. Рябоконт С.А. Технологические жидкости для закачивания и ремонта скважин / С. А. Рябоконт. Краснодар: Просвещение-Юг. 2002. 274 с.

20. Перейма А.А. Химическая обработка буровых растворов с целью предотвращения коррозии бурового оборудования / А.А. Перейма, В.Т. Лукьянов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2013. № 10. С. 35-40.
21. Галян Д.А. Нейтрализация сероводорода в промысловых жидкостях при бурении скважин / Д.А. Галян // Обзорная информация. Сер. Бурение газовых и газоконденсатных скважин. М.: ВНИИЭгазпром. 1983. Вып. 5. 53 с.

BIBLIOGRAPHY

1. Gasumov R.A. Osobennosti stroitel'stva glubokih skvazhin v oslozhnennyh gorno-geologicheskikh usloviyakh Predkavkaz'ja (Features of deep wells construction in the complicated mining and geological conditions of Transcaucasia) / R.A. Gasumov, V.G. Kopchenkov, V.T. Luk'janov, N.G. Fedorova, S.N. Ovcharov // Nauka. Innovacii. Tehnologii. 2017. № 1. S. 123–140.
2. Gasumov R.A. Kompleksnye nauchno-tehnicheskie resheniya vo-prosov poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenij uglevodorodov juga Rossii (Integrated scientific and technical solutions to the issues of prospecting, exploration and development of hydrocarbon fields in the South of Russia) / R.A. Gasumov, L.A. Il'chenko // Nauka i tehnika v gazovoj promyshlennosti. 2013. № 4(56). S. 16–20.
3. Gasumov R.A. Osobennosti stroitel'stva glubokih poiskovo-razvedochnyh skvazhin v oslozhnennyh gorno-geologicheskikh usloviyakh (Features of deep prospecting wells construction in complicated mining and geological conditions) / R.A. Gasumov // Materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy neftegazovoj konferencii (Kislovodsk, 27-31 okt. 2014 g.) / Stavropol': SevKavNIPGaz. 2014. S. 11–13.
4. Gasumov R.A. Innovacionnye reshenija pri proektirovanii ob#ektov neftegazodobychi (Innovative solutions for the design of oil and gas production facilities) / R.A. Gasumov // V Peterburgskij mezhdunarodnyj gazovyj forum (Sankt-Peterburg, 6-9 okt. 2015 g.) / Kongressnaja programma.
5. Gasumov R.A. Geologicheskie faktory, vlijajushhie na kachestvo kreplenija skvazhin (na primere konkretnoj skvazhiny Pribrezhnoj gruppy mestorozhdenij) (Geological factors affecting the quality of fastening wells (using the example of the particular well of the Pribrejnaya group deposits) / R.A. Gasumov // Geologija, geofizika i razrabotka nef tjanyh i gazovyh mestorozhdenij. 2014. № 12. S. 48-53.
6. Leonov E.G. Gidroajeromehanika v burenii (Hydroaeromechanics in Drilling): uchebnik dlja vuzov / E.G. Leonov, V.I. Isaev // M.: Nedra. 1987. 304 s.

7. Barbakadze E.O. Vlijanie mineralogicheskogo sostava na ustojchivost' asbestocementa v sredah, soderzhashhih serovodorod (Influence of mineralogical composition on the stability of asbestos-cement in environments containing hydrogen sulphide) / E.O. Barbakadze, O.I. Grachjova // Tr. NIIsbestocement. M. 1963. Vyp. 17. S. 14–35.
8. Dubenko V.E. Raschetnyj metod obosnovanija intervalov ustanovki kolonn-hvostovikov v gazovyh skvazhinah (Calculation method for substantiating the intervals of installation of column-liners in gas wells) / V.E. Dubenko, V.I. Chernuhin, V.A. Vasil'ev // Puti povyshenija skorostej burenija i sokrashhenija srokov stroitel'stva skvazhin: materialy nauchno tehničeskogo soвета (Tjumen', nojabr' 2004 g.). M.: IRC Gazprom. 2005. S. 102–112.
9. Babajan Je.V. Burovyje tehnologii (Drilling technologies) / Je.V. Babajan // Krasnodar: Sovet. Kuban'. 2009. 896 s.
10. Goronovich S.N. Metody obespechenija sovmestimosti intervalov burenija (Methods for ensuring the compatibility of drilling intervals) / S.N. Goronovich. M.: Gazprom jekspo. 2009. 356 s.
11. Bulatov A.I. Reshenie praktičeskix zadach pri burenii i osvoenii skvazhin (The solution of practical problems during drilling and development of wells): sprav. posobie / A.I. Bulatov, Ju.M. Proselkov // Krasnodar: Sovet. Kuban'. 2006. 744 s.
12. Solov'ev E.M. Zadachnik po zakanchivaniju skvazhin (Problem book for completing wells): ucheb. posobie dlja vuzov / E.M. Solov'ev // M.: Nedra. 1989. 251 s.
13. Spivak A.I. Razrushenie gornyx porod pri burenii skvazhin (Destruction of rocks during drilling of wells): ucheb. posobie dlja vuzov / A.I. Spivak, A.N. Popov. M.: Nedra. 1994. 261 s.
14. Gadzhumjan R.A. Inženernye rasčety pri burenii glubokix skvazhin (Engineering calculations for deep hole drilling) / R.A. Gadzhumjan, A.G. Kalinin, B.A. Nikitin. M.: Nedra. 2000. 491 s.
15. Rahman, S.S. Treatment of drilling fluid to combat drill pipe corrosion (Treatment of drilling fluid to combat drill pipe corrosion) / S.S. Rahman // Corrosion (USA). 1990. № 9. R. 778–782.
16. Rabinovich V.A. Kratkij himičeskij spravocnik (Brief Chemical Handbook) / V.A. Rabinovich, Z.Ja. Havin. L.: Izd-vo «Himija». 1978. 392 s.
17. Potapov A.G. Vlijanie serovodoroda na burovyje rastvory, a takzhe metody kontrolja i himičeskogo svjazyvanija serovodoroda (Influence of hydrogen sulphide on drilling fluids, as well as methods of control and chemical binding of hydrogen sulphide) / A.G. Potapov, A.N. Anan'ev, Ju.P. Hristenko i dr. // RI Burenie gazovyh i morskix neftjanyh skvazhin. M.: VNIIJegazprom. 1980. Vyp. 4. S. 28–36.
18. Aleksandrov V.P. Promyšlennoe proizvodstvo utjazheljajushhej dobavki k burovym rastvoram, nejtralizujushhej serovodorod (Industrial production of a weighting additive to drilling fluids neutral-

- izing hydrogen sulphide) / V.P. Aleksandrov i dr. // RI Burenie. M.: VNIIJegazprom. 1981. Vyp. 1. S. 19–21.
19. Rjabokon S.A. Tehnologicheskie zhidkosti dlja zakachivaniya i remonta skvazhin (Technological fluids for injection and repair of wells) / S. A. Rjabokon'. Krasnodar: Prosveshhenie-Jug. 2002. 274 s.
 20. Perejma A.A. Himicheskaja obrabotka burovyh rastvorov s cel'ju predotvrashhenija korrozii burovogo oborudovanija (Chemical treatment of drilling fluids to prevent corrosion of drilling equipment) / A.A. Perejma, V.T. Luk'janov // Stroitel'stvo nef'tjanyh i gazovyh skvazhin na sushe i na more. 2013. № 10. S. 35-40.
 21. Galjan D.A. Nejtralizacija serovodoroda v promyvochnyh zhidkostjakh pri burenii skvazhin (Neutralization of hydrogen sulphide in flushing liquids while drilling wells) / D.A. Galjan // Obzornaja informacija. Ser. Burenie gazovyh i gazokondensatnyh skvazhin. M.: VNIIJegazprom. 1983. Vyp. 5. 53 s.

УДК 550.834 (088.8)

**Кузнеценков Е.П. [Kuznechenkov E.P.],
Керимов А.-Г.Г. [Kerimov A-G.G.],
Петренко В.И. [Petrenko V.I.],
Гридин В.А. [Gridin V.A.]**

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ РЕШЕНИИ НЕФТЕГАЗОПОИСКОВЫХ ЗАДАЧ

Prospects of application of transverse seismic waves for oil and gas expolration problem-solving

В работе приводятся результаты исследовательских работ выполненных в области продольно-поперечной сейсморазведки для решения широкого круга нефтегазопроисловых задач вплоть до подсчета запасов месторождений нефти и газа без предварительного бурения глубоких скважин. В частности рассматриваются механизмы возбуждения поперечных волн и результаты экспериментальных исследований, проведенных в полевых условиях. Отмечается, что поперечные волны, не обладающие свойством фазовой инверсии, несут важную информацию о внутреннем строении изучаемой среды, поэтому возникает необходимость их изучения с целью дальнейшего применения для значительного повышения геолого-экономической эффективности сейсморазведочных работ. Приводятся результаты исследовательских работ полученных с помощью различных источников возбуждения сейсмических волн, а также экспериментальные зависимости интенсивности поперечных волн от величины заряда.

The paper presents the results of research made in the field of longitudinal-transverse seismic prospecting to solve a wide range of oil and gas exploration problems up to the calculation of oil and gas reserves without preliminary drilling of deep wells. In particular, the mechanisms of excitation of transverse waves and the results of experimental studies conducted in the field are considered. It is noted that transverse waves that do not possess the property of phase inversion bear important information about the internal structure of the medium under study, so it becomes necessary to study them for further use to significantly increase the geological and economic efficiency of seismic operations. The results of research carried out with the help of various excitation sources of seismic waves are presented, as well as the experimental dependences of the intensity of transverse waves on the magnitude of the charge.

Ключевые слова: сейсморазведка, поперечные волны, щелевые источники возбуждения волн, фазовая инверсия, интенсивность.

Key words: seismic prospecting, transverse waves, slot source of wave generation, phase inversion, intensity.

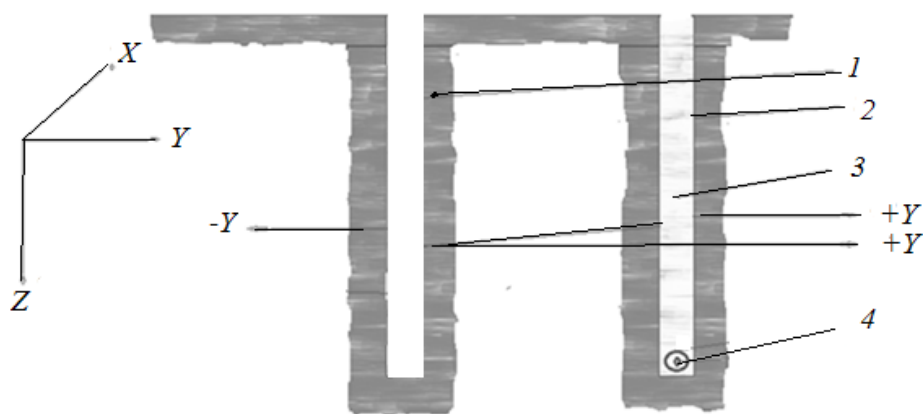
Введение

Современная геофизика характеризуется революционными процессами, связанными с комплексным применением объемной сейсморазведки 3D с результатами геофизических исследований скважин (ГИС), а также со значительно расширившимися возможностями продольно-поперечной (($P+S$) – волновой) сейсморазведки при решении широкого круга нефтегазопроисловых задач вплоть до подсчета запасов месторождений нефти и газа без предварительного бурения глубоких скважин. И здесь, как и прежде на всех

этапах ($P+S$) – волновой сейсморазведки, на первое место выступает проблема повышения эффективности возбуждения поперечных волн заданной поляризации в направлении улучшения качества и повышения технологичности и производительности S -волновой сейсморазведки.

Материалы и методы исследований

На рисунке 1 показан разрез современного экранно-щелевого источника возбуждения поперечных волн [1]. Он состоит из двух или трех вертикальных параллельно расположенных щелей в грунте. В одну из них (взрывную) помещается линейный заряд взрывчатого вещества (ВВ) заданной величины q , который укупоривают в щели рыхлым грунтом-поглотителем, препятствующим выбросу газообразных продуктов взрыва в атмосферу. Вторая щель, во время работы, оставаясь незаполненной, выполняет роль отражающего экрана для волн, возбуждаемых во взрывной щели и распространяющихся в направлении, противоположном заданному (рабочему).



- 1) вертикальная щель в грунте, экранирующая;
- 2) вертикальная щель в грунте, взрывная;
- 3) укупорка заряда во взрывной щели 2;
- 4) заряд ВВ во взрывной щели 2.

Рисунок 1. Источник возбуждения поперечных волн.

На этапе разработки метода поперечных волн, предшествовавшем созданию достаточно интенсивных и сравнительно технологичных экранно-щелевых источников возбуждения, наши представления о возбуждении и регистрации поперечных волн основывались на сравнительно простых предположениях. Считалось, что при противоположно направленных воздействиях на двух исходных сейсмограммах на фоне продольных волн и других, не

обращающихся помех, регистрируются сравнительно идентичные по своим динамическим характеристикам поперечные волны, обладающие свойством фазовой инверсии, то есть имеющие противоположную полярность записи (кривые 1,2 на рис. 2). На этом рисунке кривые 1 (схема наблюдения $-UY$) и 2 ($+UY$, где горизонтальная ось Y направлена перпендикулярно профилю наблюдений X) построены без учета влияния необращающихся поперечных волн, представленных кривой 3 (ZY), у которой вертикальная ось Z направлена вниз, перпендикулярно земной поверхности); кривые 4($-UY$) и 5($+UY$) построены с учетом влияния необращающихся поперечных волн, т.е. сложением кривой 3 с кривыми 2 и 1.

Дальнейшая обработка этих пар сейсмограмм ($\pm UY$), полученных на каждом пункте взрыва, сводилась к применению операции вычитания (Δ), в результате которой предполагалось подчеркнуть поперечные волны, обладающие свойством фазовой инверсии (обращающиеся поперечные волны $S\uparrow\downarrow$), и ослабить волны, не обладающие этим свойством – волны $S\uparrow\uparrow$. Результиру-

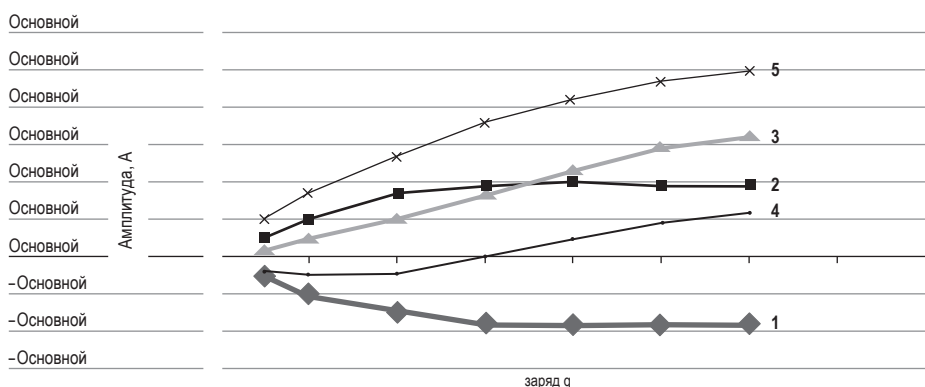


Рисунок 2. Предполагаемые зависимости интенсивности поперечных волн, возбуждаемых экранно-щелевыми источниками, от величины заряда q .

ющие разностные сейсмограммы направлялись в дальнейшую стандартную обработку. При этом не только продольные, но и другие волны, не обладающие свойством фазовой инверсии, в том числе необращающиеся поперечные волны $S\uparrow\uparrow$, относились к помехам.

При обработке сейсмических данных с использованием поперечных волн специфической операцией, повышающей отношение сигнал/помеха, является вычитание записей, полученных от двух противоположно направленных воздействий (операция Δ). При этом обращаемость поперечных волн, полученных от этих воздействий, характеризуется коэффициентом искусствен-

ной направленности источника D и коэффициентом амплитудной идентичности β , вычисляемым по формулам (1, 2):

$$D = \frac{A^+ - A^-}{A^+ + A^-} = \frac{A_d}{A_\Sigma} \quad (1)$$

$$\beta = A^+ / A^- \quad (2)$$

где A^+ , A^- , A_d , A_Σ – значения амплитуды на «знаковых», разностной и суммарной сейсмограммах

Наиболее эффективно операция Δ («вычитание») осуществляется при амплитудной и фазовой идентичности исходных записей. Однако на практике эти записи, как правило, не идентичны, что снижает эффективность не только вычитания, но и всей обработки сейсмических данных, в частности, суммирования записей по системе ОГТ. Поэтому для повышения точности сейсмических построений необходимо выявить и устранить влияние амплитудной и фазовой неидентичности поперечных волн, возбуждаемых парными источниками инверсионных волн.

Результаты исследований и их обсуждение

В работе [2] на основании опыта возбуждения поперечных волн в различных сейсмологических условиях и общих теоретических представлений высказано предположение о том, что амплитудная и фазовая неидентичность поперечных волн, возбуждаемых инверсионными источниками, объясняется влиянием поперечных волн, не обладающих свойством фазовой инверсии (необращающиеся поперечные волны), которые практически всегда возбуждаются реальными взрывными источниками одновременно с обращающимися волнами. Влияние необращающихся поперечных волн на целевые обращающиеся должно проявляться не только в амплитудной и фазовой неидентичности поперечных волн, возбуждаемых противоположно направленными воздействиями, но и в различном характере зависимости амплитуды этих волн от величины заряда q . Для одного из указанных воздействий (условно плюсовое воздействие), при котором полярность целевых поперечных волн $S\uparrow\downarrow$ совпадает с полярностью необращающихся поперечных волн $S\uparrow\uparrow$, предполагаемая зависимость $A^+ = f(q)$ представляет собой однополярную кривую с постепенно увеличивающимися значениями амплитуды при увеличении плотности заряжения (кривая 5 на рис. 2). Для противоположно направленного воздействия, при котором полярность

целевых обращающихся волн противоположна полярности необрашающихся поперечных волн (условно минусовое воздействие), предполагаемая зависимость $A = f(q)$ представляет собой двухполярную кривую, в начальной части которой, с ростом q происходит плавное возрастание амплитуды в области отрицательных значений полярности поперечных волн. При дальнейшем увеличении q амплитуда A^- постепенно уменьшается до нуля, а затем плавно возрастает в области положительных значений полярности поперечных волн (кривая 4 на рис. 2).

Исходя из характера кривых $A = f(q)$ для двух противоположно направленных воздействий, в поведении этих кривых можно выделить две области (а в работе источника соответственно два режима): область обрашаемости и область необрашаемости, в которых преобладающую роль играют соответственно обращающиеся и необрашающиеся поперечные волны. Область обрашаемости сейсмической записи характеризуется значениями коэффициента D , большими единицы, и отрицательными значениями коэффициента β . В области необрашаемости D меньше единицы, коэффициент β положителен.

Наши представления о механизме возбуждения поперечных волн значительно изменились в результате экспериментальных исследований, проведенных в реальных полевых условиях. Анализ механизма возбуждения поперечных волн экранно-щелевых источников привел к выводу о том, что в сложном волновом поле, возбуждаемом этими источниками, наряду с целевыми поперечными волнами $S\uparrow\downarrow$, обладающими свойством фазовой инверсии, возбуждаются довольно интенсивные и регулярные поперечные волны $S\uparrow\uparrow$, не обладающие этим свойством. Причем, эти необрашающиеся поперечные волны возбуждаются не только экранно-щелевыми источниками, но и щелевыми (взрывы в одиночной вертикальной щели), а также накладными и даже воздушными взрывами, которые широко используются в современной сейсморазведке в качестве источников возбуждения продольных волн, то есть реальные источники возбуждения поперечных волн возбуждают более сложное волновое поле, чем теоретические источники.

Необрашающиеся поперечные волны являются дополнительным осложняющим фактором при возбуждении и регистрации обращающихся волн, с применением которых до последнего времени связываются основные надежды на практическое использование поперечных волн в сейсморазведке.

При этом сравнительная простота возбуждения, большая интенсивность поперечных необрашающихся волн, возбуждаемых реальными взрывными источниками, предназначенными для возбуждения обращающихся волн, является серьезной помехой при использовании целевых поперечных волн, обладающих свойством фазовой инверсии. По нашему мнению, именно отрицательное влияние необрашающихся поперечных волн на целевые обрашающиеся является основным фактором, сдерживающим практическое при-

менение сейсморазведки с использованием поперечных волн, возбуждаемых взрывными инверсионными источниками.

Вместе с тем, поперечные волны, не обладающие свойством фазовой инверсии, несут важную информацию о внутреннем строении изучаемой среды, поэтому необходимо их изучение с целью дальнейшего применения, которое значительно повысит геолого-экономическую эффективность сейсморазведочных работ.

О свойствах поперечных волн $S\uparrow\uparrow$, не обладающих фазовой инверсией известно пока немного. Во-первых, эти волны возбуждаются осесимметричными вертикальными воздействиями, отличительной особенностью которых по сравнению с горизонтально направленными волнами, является большая простота возбуждения и меньшая ограниченность по интенсивности возбуждаемых поперечных волн. Это связано с тем, что при возбуждении поперечных волн горизонтальными воздействиями уже с применением зарядов сравнительно небольшой величины ударная волна начинает действовать в направлении, противоположном заданному, возбуждая сейсмические колебания в противофазе с целевыми волнами, возбуждаемыми в заданном направлении, снижая тем самым общий эффект возбуждения поперечных волн. При использовании же осесимметричных воздействий такое ограничение интенсивности возбуждаемых поперечных волн отсутствует. Следовательно, можно ожидать, что на графике зависимости интенсивности поперечных волн от величины заряда q амплитудная кривая, полученная по схеме ZU (кривая 3, рис. 2), начиная с некоторых значений q примет большие значения, чем амплитудная кривая, полученная по схеме UU (кривая 2, рис. 2).

Одновременное возбуждение экранно-щелевыми источниками обращаемых и необращаемых поперечных волн приводит к тому, что вместо идеальных поперечных волн, идентичных по амплитуде и обладающих свойством фазовой инверсии (кривые 1 и 2, рис. 2), на реальных сейсмограммах регистрируется более сложная картина, представляющая собой синфазное (кривая 5 на рис. 2) или противофазное (кривая 4 на рис. 2) сложение поперечных волн, обладающих и не обладающих свойством фазовой инверсии. Этим можно объяснить не только широко известный факт амплитудной неидентичности поперечных волн, возбуждаемых двумя противоположно направленными воздействиями, но и совпадение знака полярности поперечных волн, возбуждаемых в реальных условиях этими воздействиями при использовании больших по величине зарядов q .

Эти факты наблюдались с самого начала развития взрывных приповерхностных источников возбуждения поперечных волн. Не учёт их в конкретных условиях приводит к несинхронному сложению поперечных волн при подготовке к последующей обработке исходных сейсмограмм, полученных на одном пункте взрыва. А так как в полевых условиях оператор сейсмостан-

ции стремится увеличить глубинность исследований, в основном, путем увеличения заряда, то ситуация, когда поперечные волны, возбуждаемые противоположно направленными воздействиями, имеют одинаковую полярность, встречается довольно часто.

Формальное же применение операции вычитания в этих условиях приводит не к усилению поперечных волн $ST\downarrow$ на результирующей разностной сейсмограмме, а к их ослаблению и, в конечном итоге, к потере полезной информации, заложенной в исходной записи. Поэтому при работе экранно-целевых источников в режиме необращаемости поперечных волн ($ST\uparrow$), основной операцией для регистрации поперечных волн $ST\uparrow$ должна быть не традиционная операция вычитания (операция Δ), а операция суммирования записей поперечных волн, возбуждаемых двумя противоположно направленными воздействиями, т.е. операция Σ .

С целью экспериментальной проверки высказанных предположений изучались зависимости интенсивности и обращаемости поперечных волн от величины заряда q . В качестве источника возбуждения поперечных волн в этих опытах применялись взрывы линейных зарядов в скважине большого диаметра со снежной укупоркой (источник СБД-СУ), которые в предварительных испытаниях показали хорошую повторяемость воздействий при многократном использовании. В качестве целевых использовались преломленные волны, регистрируемые в первых вступлениях горизонтальными сейсмоприемниками, соединенными последовательно в группы по 11 сейсмоприемников на базе 15 м.

Расстояние между центрами этих групп также было 15 м, удаление взрыв-прибор составляло 240–405 м. Запись производилась на открытом канале без применения смесителя и нелинейных регуляторов усиления. На протяжении каждого эксперимента параметры записи оставались постоянными. Величина заряда q изменялась от одной нитки детонирующего шнура марки ДША до десяти ниток шнура марки ДШУ, при этом вес заряда изменялся от 12 до 330 г. Остальные параметры источника оставались постоянными в течение всего эксперимента: диаметр взрывной скважины 350 мм, глубина скважины 1,5 м, длина заряда 1 м, глубина погружения заряда от 0,3 до 1,3 м. Перед каждым взрывом заряд погружался в заранее подготовленную в снежной укупорке полость и засыпался рыхлым снегом.

Результаты эксперимента представлены на рис. 3, где приведены зависимости $A = f(q)$, построенные по исходным сейсмограммам отдельно для схем $+UU$ и $-UU$ (источник и ось максимальной чувствительности горизонтальных сейсмоприемников ориентированы вдоль оси U , т.е. перпендикулярно профилю наблюдений). Значения амплитуд снимались с сейсмограмм строго на одном и том же времени, постоянном для каждого эксперимента.

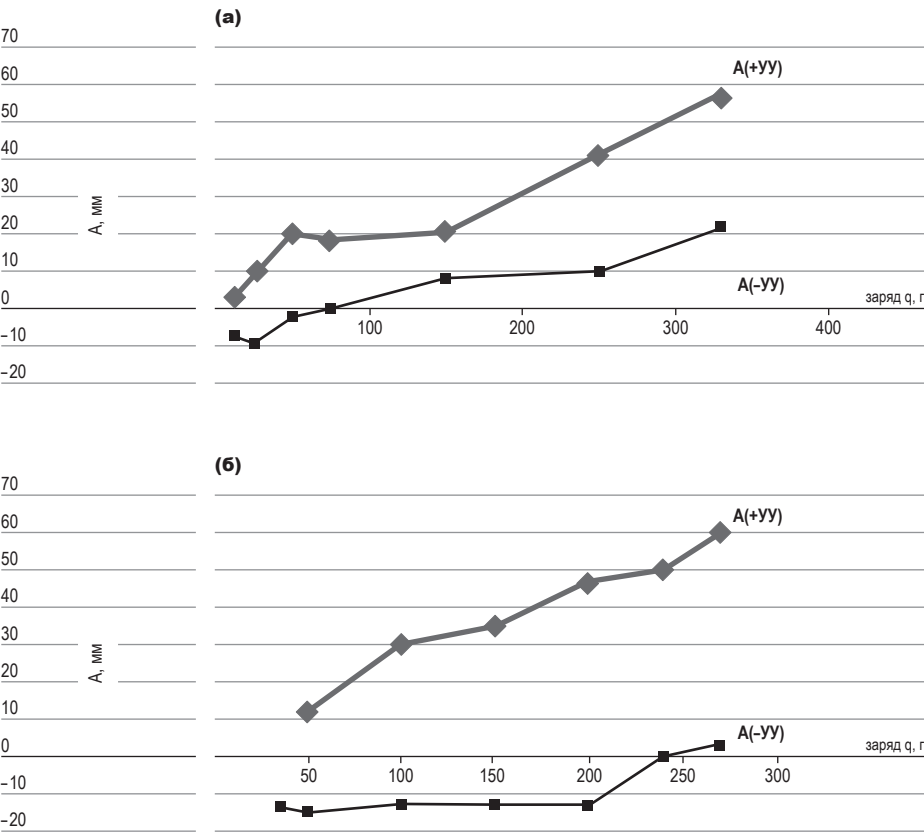


Рисунок 3. Экспериментальные зависимости интенсивности поперечных волн от величины заряда.

Источник СБД-350 со снежной укупоркой без экрана (а) и с экраном (б).

При анализе этих кривых наибольшего внимания заслуживает факт их подобия в основных чертах предполагаемым зависимостям $A = f(q)$, приведенным на рисунке 2.

Выводы

1. Амплитуда поперечной волны A^+ , полученной по схеме +UU, с ростом q возрастает в области положительной полярности до своего предельного значения. Особенность кривой $A^- = f(q)$ является смена знака полярности попе-

речной волны при переходе через нулевое значение A^+ , т.е. двойная полярность этой кривой в отличие от однополярной $A^+ = f(q)$.

2. Аналогичный результат получен с помощью источника, в котором в скважину большого диаметра, заполненную снегом, вертикально помещался металлический экран, предназначенный для ослабления действия продуктов взрыва в направлении, противоположном заданному, т.е. для повышения горизонтальной направленности источника (рис. 3б). При этом следует учесть, что поперечные волны SH, не обладающие свойством фазовой инверсии, менее ограничены по интенсивности по сравнению с традиционными обращающимися волнами $SH\uparrow\downarrow$, поэтому они обладают большей глубиной исследований. Следовательно, их применение может быть особенно эффективно при изучении нового типа месторождений нефти и газа – месторождений геосолитонного типа [3], характеризующихся большей глубиной залегания и меньшими поперечными размерами, но большей продуктивностью и способностью восполнять свои запасы, уменьшающиеся в процессе эксплуатации, в отличие от традиционных нефтегазовых месторождений, являющихся до последнего времени основной целью сейсморазведочных работ.
3. Учитывая большую глубину исследований, не инверсионным источникам возбуждения поперечных волн следует отдать предпочтение при проведении основных объемов полевых работ, оставив за инверсионными источниками функцию контроля за чистотой возбуждения поперечных волн, выполняемую дискретно на изучаемой площади работ с заданным интервалом между контрольными точками. Это, во-первых, упростит методику проведения полевых работ с применением поперечно-волновой сейсморазведки, а во-вторых, существенно повысит их производительность, максимально приблизив ее к производительности традиционной продольно-волновой сейсморазведки, что ускоренными темпами приблизит (P + S) – волновую сейсморазведку к широкому внедрению при решении нефтегазописковых задач.

Библиографический список

1. А.С. 371543 (СССР). Способ возбуждения поперечных сейсмических волн в грунте. Н.А. Гормаш, Е.П. Кузнеченков, А.А. Мигалкин. – Заявл. 03.05.71. Опубликовано в Б.И. №12, 1973.
2. Кузнеченков Е.П., Керимов А.-Г.Г., Соколенко Е.В. Роль сейсмических волн, не обладающих фазовой инверсией, в поперечно-волновой сейсморазведке // Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли. Ставрополь: ТЭСЭРА, 2016, с. 48-50.
3. Бембель Р.М., Бембель М.Р, Мегеря В.М. Геосолитонная модель формирования залежей углеводородов на севере Западной Сибири // Геофизика. 2010, №6, с. 9-17.

References

1. A.S. 371543 (SSSR). Sposob возбuzhdeniya poperechnih seismicheskikh voln v grunte (The method of excitation of transverse seismic waves in soil). N.A. Gromash, E.P. Kuznechenkov, A.A. Migalkin. – Zayavl. 03.05.71. Opublikovan v B.I. №12, 1973.
2. Kuznechenkov E.P., Kerimov A.-G.G., Sokolenko E.V. Rol seismicheskikh voln, ne obladayushih fazovoi inversiei, v poperechno-volnovoi seismorazvedke (The role of seismic waves, that don't have phase inversion, in the transverse-wave seismic prospecting) // Innovacionnie tehnologii v neftegazovoi otrasli. Stavropol: TESERA, 2016, s. 48-50.
3. Bembel R.M., Bembel M.R., Megerya V.M. Geosolitonnyaya model formirovaniya zalezhei uglevodorodov na severe Zapadnoi Sibiri (Geosoliton model of formation of hydrocarbon deposits in the north of Western Siberia). // Geofizika. 2010, №6, s. 9-17.

УДК 591+910:932:938

**Лиховид А.А. [Likhovid A.A.],
Берберян А.О. [Berberyan A.O.],
Мишвелов Е.Г. [Mishvelov E.G.],
Сердюкова А.И. [Serdyukova A.I.]**

ЗООГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЗНАНИЯ В ДРЕВНЕМ МИРЕ

Zoogeographic knowledge in the Ancient world

В данной статье поднимается проблема развития зоогеографических знаний в древневосточных и античных обществах. Применительно к анализу знаний о биогеоценозе на Древнем Востоке привлекались изображения и описания иероглифов, фресок, гробниц, статуэток и т.д., а также фольклор. Автором было выявлено, что «биогеоценотическая» тематика была востребована в Древнем Египте. В изобразительных памятниках нашли отражение сцены охоты и хозяйственной деятельности, в целом. На основе изученных материалов заключено, что в Древнем Египте происходили Древнегреческое и древнеримское наследие, которые демонстрировали попытки систематизировать данные о флоре и фауне. Анализируя труды Геродота, автор обнаруживает попытки автора объяснить численное соотношение животных различных видов в природе. Выдающимся фактом стали произведения Аристотеля по зоогеографии. Ряд его изысканий актуальны и в наше время. Ценность сведений античных авторов основана на их мобильности, путешествуя, они не только накапливали сведения о фауне и населении животных различных территорий, но делали сравнительно-географические обобщения. В выводах подчеркиваются следующие особенности: расширение знаний о географии, составление данных о большем числе систематических групп животных, синхронность в развитии «биогеоценотических» взглядов в контексте различных культур.

This article raises the problem of the development of zoogeographical knowledge in the ancient East and Antiquity societies. As regards the analysis of knowledge of biogeocenosis in the Ancient East, the images and descriptions of hieroglyphs, frescoes, tombs, figurines, etc., as well as folklore pieces were referred to. The authors found that the "biogeocenotic" theme was in demand in ancient Egypt. Generally, the scenic monuments reflected the scenes of hunting and economic activity. Based on the materials studied, it is concluded that in ancient Egypt there was Ancient Greek and Roman heritage which demonstrated attempts to systematize data on flora and fauna. The analysis of the works by Herodotus revealed the author's attempts to explain the numerical ratio of animals of different species in nature. Aristotle's works on zoogeography became an outstanding fact. A number of his researches are relevant in our time. The value of the information provided by ancient authors is based on their mobility. While traveling, they not only accumulated information about the fauna and population of animals in different territories, but made comparative geographical generalizations. The conclusions emphasize the following features: increasing knowledge of geography, compiling data on a larger number of systematic groups of animals, synchronism in the development of "biogeocenotic" views in the context of different cultures.

Ключевые слова: зоогеография, история науки, Древний Восток, античность, биогеоценоз.

Key words: zoogeography, history of science, Ancient East, antiquity, biogeocenosis.

Введение

В древнеисторический период появление земледелия, переход от присваивающего к производящему хозяйству, от натурального обмена к торговле, вызвали необходимость получения разнообразных сведений о животном мире, которые могли бы быть использованы в практических целях, а также обусловили необходимость обобщения и осмысления многих био-

географических знаний, которые к тому времени были уже накоплены. Это стало возможным в условиях становления и расцвета древних цивилизаций. В этот период «внимание людей привлекают все новые и новые группы и виды животных. Проявляется интерес к управлению животным миром, освоению его в самых различных направлениях, что невозможно без всестороннего знания животного» [1]. Подтверждение этому имеется в документах и предметах культуры древних государств.

Материалы и методы

Изучение истоков зоогеографических знаний на материалах Древнего Востока и Античности предполагает привлечение широкого круга материалов. Учитывая междисциплинарность поднимаемой проблемы и её историческую составляющую, привлекаемые материалы квалифицируются как исторические источники. С учетом использования типовой классификации можно выделить изобразительные и нарративные источники. Изобразительные источники упоминаются и описываются в трудах ряда исследователей, таких как В.К. Рахилин, К.Ф. Рулье, А.А. Каприелова. Систематизируя эти данные, мы формируем целостное представление о восприятии и способах фиксации различных данных о биоценозе в древности. Богатый фактический материал для анализа и систематизации предоставляет нарративные материалы. Внутри этой группы целесообразно выделить фольклор (например, эпические произведения «Махабхарата» и «Рамаяна») и трактаты и труды античных авторов (Геродот, Гиппократ, Аристотель, Страбон, Лукреций Кар, Гай Плиний Секунд Старший). Исследование этих видов источников в связи с поднимаемой проблемой требует привлечения различных методов. В первую очередь, следует подчеркнуть междисциплинарный подход, который лежит в основе исследования и выразился в соединении естественнонаучной и исторической проблематики. Изучение и обобщение наследия античных авторов, выявление в их трудах конкретных данных о флоре и фауне описываемых стран и территорий предполагает использование историко-систематического метода, позволяющего сгруппировать сведения в отдельные блоки по специфическим характеристикам. Особенности научной проблемы и используемые материалы вписываются в подходы новой интеллектуальной истории. Данное направление позволяет рассматривать особенности фиксации зоогеографических данных с учетом уровня развития общества и хозяйственно-экономических особенностей. Сравнение древневосточной и античной традиции развития зоогеографических знаний позволяет говорить о компаративистике, как методе данного исследования.

Результаты исследований и их обсуждение

Многие памятники древнеегипетской культуры содержат большое количество сведений о животных, в том числе и зоогеографического характера. Уже в период Древнего и Среднего царств значительно расширился

круг знаний людей о животных, особенностях его населения в тех или иных областях. Египетские иероглифы, фрески гробниц, статуэтки и пр., относящиеся к IV тысячелетию до н.э. и позже, содержат изображения многих видов животных. Среди них виды, которые могли составлять группу фоновых и доминирующих в биоте долины Нила. Известны изображения скарабея, пчелы, чибиса, ибиса, совы, сокола, перепела, ласточки и др. Многие виды животных в образе людей с птичьими и звериными головами попали в пантеон богов Древнего Египта. Это разнообразие их изображений свидетельствует о том, что наблюдения переходят на качественно новый уровень. Они уже не только фиксируют сведения о тех представителях фауны, которые составляют основные объекты охоты и культа, но и в какой-то степени систематизируют сведения о фаунистических комплексах территории Царства. Особенно наглядно прослеживается группирование зоогеографических сведений по двум крупным, резко отличающимся по своим условиям ландшафтным комплексам: пустынным ландшафтам Сахары и долины Нила. Обращает на себя внимание и увеличение числа изображений животных различных систематических групп. Если до сих пор основу зооморфных изображений составляли представители двух классов позвоночных – птиц и млекопитающих, то в Древнеегипетском государстве на многочисленных фресках, сосудах, ювелирных украшениях и т.д. часто встречаются представители насекомых (особенно скарабей священный), рыб, земноводных и пресмыкающихся. Таким образом, расширяется охват систематических групп животных, вовлекаемых в круг хозяйственных интересов человека, а это, помимо прочих сведений, требовало знаний об их количестве, численности.

Значительным продвижением в обобщении и осмыслении зоогеографических сведений стали знания, имевшиеся у жителей Нового царства. Обращает на себя внимание появление «биогеоценотической» тематики, которая прослеживается и в источниках египетской культуры. Роспись в гробнице Хемак (тысячелетие до н.э.) показывает ловлю птиц сетями [2], свидетельствует о высокой плотности населения охотничьих видов. Роспись «Заросли папируса на Ниле» (XIV век до н.э., Государственный музей, Берлин) изображает биоценоз, состоящий из папируса и других видов гелофитов, а также связанных с ними видов уток. На росписи гробницы в Фивах (XV–XIV века до н.э., Британский музей, Лондон) отражена охота в нильских зарослях. В композиции представлен практически весь биогеоценотический комплекс. Помимо папируса и других водных растений, здесь изображены бабочки, более трех видов рыб, бакланы, цапли, утки, фазаны, кулики и мелкие воробьиные птицы (всего около десяти видов птиц), камышовый кот (хаус). Также неодинаково численное соотношение различных видов. Видимо эту сцену упоминает В.К. Рахилин [3], который считает, что крик цапель, которых держит охотник за лапы, выпугивает птиц из зарослей папируса. То, что охотник сбивает птиц палкой, свидетельствует о большой плотности населения животных, дающей возможность использовать такой способ охоты. Здесь же видны интересные экологические

сведения об адаптации животных к хозяйственной деятельности человека. Так, описываемая сцена содержит изображение камышового кота, который подбегает и поедает сбитых охотником птиц. Такая особенность поведения этого вида была описана лишь в наши дни. Хаусы часто специально идут на звуки выстрела, чтобы подобрать утерянных охотниками подранков, такие случаи увлекательно описаны в «Записках натуралиста» Е.П. Спангенберга. В охотничьей сцене изображен египетский чиновник (обеспеченный по тем временам человек) с семьей. Жена и дочь чиновника держат в руках ветви папируса. Подобная сцена свидетельствует об охоте как отдыхе, спорте, а не получении пищевых продуктов, необходимых для жизни. Следовательно, в рассматриваемый период охота из разряда необходимого для жизни промысла начинает преобразовываться в способ развлечения и досуга.

Совершенствование хозяйственной деятельности, развитие скотоводства и земледелия требовали необходимости исследовательской работы по изучению природы, постоянного наблюдения за ней, фиксирования и анализа происходящих явлений. Элементарные знания механизмов управления населением животных, сокращения и ограничения численности вредителей сельскохозяйственных полей (мышей, насекомых, копытных) и увеличения полезных (мелких хищников, насекомоядных птиц и т.д.) давали возможность применять «научно обоснованный подход» к сельскохозяйственному производству. Наглядным примером этому служит обустройство крестьянами Древнего Египта специальных голубятен (искусственных мест гнездования) для увеличения численности голубей, птенцы которых использовались в пищу, взрослые – для борьбы с сорняками и вредителями, а помет этих птиц – для сохранения плодородия полей. Таким образом происходила дальнейшая антропогенная трансформация животного населения, закреплялись знания о возможности управления этим процессом. Развиваются и экологические знания. Например, папирус Эберса (1550 г до н.э.) содержит сведения о взаимоотношениях организма с окружающей природной средой. Подобные знания позднее трансформируются в современные представления об экологических механизмах формирования животного населения территорий, численности и плотности видов животных, исследования которых широко-масштабно развернулись только со второй половины XX столетия.

Накапливаются знания о сезонной динамике животного населения, причем, на основе их анализа осуществляется фенологическое сопоставление ритмики в природе. Так, по устоявшимся тогда взглядам прилет ибисов возвещал весну и разлитие Нила, обеспечивавших плодородие земель [3] и начала проведения определенных хозяйственных работ.

Создание квазиприродных комплексов – садов, парков и т.п. способствовало дальнейшему изменению фаунистических комплексов и животного населения в целом. Особенно широко этот процесс развернулся в Древнем Риме. Примеры таких искусственных зоокомплексов также отражены в произведениях искусства того времени. Так, настенная роспись «Сад и птицы» (I

в. до н.э., Национальный музей, Рим) содержит изображение по меньшей мере семи видов птиц, гнездящихся в саду и т.д.

Налаживание торговли с соседними территориями, военные экспедиции, давали обширные зоогеографические сведения о животных других стран. Начинается процесс «коллекционирования животных», особенно в Ассирио-Вавилонских государствах. В 700 г. до н.э. там создаются первые зверинцы. Появляются списки известных животных, например, ассирийский перечень 1750 г. до н.э. [1].

Развитие сельского хозяйства, медицины определяли развитие зоогеографических знаний Древнего Востока (Китай, Япония, Вьетнам, Корея). В традиционной восточной медицине использовались главным образом естественные ресурсы. Для получения лечебных средств из животных необходимы были знания о местообитаниях видов, их численности, годовых циклах и т.п. Современный анализ фармакопии китайской медицины, основанной на применении продуктов животного происхождения, показывает, что ее составители были знакомы с экологией многих видов, имели представления о взаимосвязи животного с геохимическим составом почв их биотопов. Это свидетельствует о расширении биогеоценотических воззрений рассматриваемого периода, которые независимо прогрессировали как в странах Древнего Средиземноморья, так и на Востоке.

Здесь также, как и в Древнем Египте развивалась биотехника управления населением животных. Потребовалось обобщение и осмысление накопленных сведений по фауне, населению и практической значимости животных и их отдельных популяций. В I–II веках н.э. Шеннанг Пен Чао Чинг составил перечень известных в то время насекомых, где большое внимание уделялось вредным насекомым и борьбе с ними. В то же время предпринимались попытки искусственного увеличения численности видов, ценных в практическом плане для человека, например, выращивание тутового шелкопряда, моллюсков, рыб. Тем не менее, здесь, как и во многих других древних государствах, начальные научные представления сосуществовали с глубокими религиозными воззрениями, поскольку объем имевшихся знаний не позволял решать многие вопросы, связанные с взаимоотношениями животных и хозяйственной деятельности людей.

В рассматриваемый период помимо знаний, слагавшихся как опыт практических наблюдений в природе, появляются и первые специальные исследования, которые складываются уже в систему взглядов. Первый известный факт мечения животных относится к индийской цивилизации Мохенджо-Даро V тысячелетия до н.э.: в 1968 году на о. Мадагаскар были обнаружены кости эпиорниса, на ноге которого имелось бронзовое кольцо с печатью Мохенджо-Даро [4]. Складывается страта древнеиндийских ученых, среди которых Прастапада, Сусрута, Чарака, которые хорошо знали животных индийской фауны, условия их обитания и делали первую попытку обобщить известные им факты.

Значительное количество сведений не оформлялось в виде специальных работ, а по-прежнему обобщалось в фольклоре, произведениях народного творчества и т.п., среди которых по значимости выделяются, зародившиеся еще в добуддийский период и окончательно оформленные приблизительно к 200 г. н.э. древнеиндийские эпосы «Махабхарата» и «Рамаяна». Данные произведения, по сути, первая своеобразная сводка зоогеографических сведений по Индии. Сопоставляя данные, почерпнутые из данных произведений с современными, можно судить о трансформационных процессах, которые затронули фауну и население животных Индии за известный промежуток времени. В «Махабхарате» и «Рамаяне» [5] приводятся сведения о 24 видах млекопитающих, более 20 видах птиц, а также крокодиле, черепахах, ядовитых и неядовитых змеях, жабе, лягушке, многих насекомых и их личинках.

В «Рамаяне» дается достаточно полная по тому времени характеристика фаунистических комплексов, основанная не только на сведениях о видовом разнообразии, но также о численности отдельных видов и их связях с различными абиотическими и биотическими факторами среды (растительность, грунт, водный режим и пр.), то есть делается акцент на фауно- и населениеформирующие процессы.

«Махабхарата» прекрасно характеризует уровень эколого-зоогеографических знаний того времени. Здесь много сведений о географическом распространении и биотопической приуроченности видов животных – «Много змеиных троп на северном берегу Ганга», «Всюду может жить ворона, цапля и сова, марал же только на Мансораваре» [1] и пр. Помимо этого, эпос раскрывает и вопросы биоценотических отношений между видами, что служит свидетельством понимания тех механизмов, которые обуславливают формирование зоокомплексов – «пучок травы вирана, который кругом поедается крысой, тайно живущей в этой же яме», «Иль как бросается вдруг сокол в поле на перепелов», «Рождаются в сем мире рядом и живут вблизи всегда, водясь в воде, так лотос с пьявкой, но не сходны никогда» и т.д.

Таким образом, в государствах Древнего Востока, так же как и в Древнем Египте, развитие представлений о животном населении происходило путем не только накопления эмпирических сведений о фауне, но также и развивались знания об экологических механизмах формирования и динамики зоокомплексов, географии распространения отдельных видов. Взгляды, возникшие в условиях стран Востока и Египта, несомненно оказали свое влияние на сумму знаний Древней Греции и Древнего Рима. Такое влияние, в частности, подтверждается удивительной близостью названий европейских животных таковым в древнеюжноиндийских языках. Интересно также, что первые попытки систематизации животных здесь были предприняты гораздо раньше, чем это сделал Аристотель. Древнеримские и древнегреческие воззрения также не были лишены биогеоценотических взглядов на животное население. Экологическая зоогеография рассматриваемого периода прочно господство-

вала в имевшихся представлениях о природе. В то же время в трудах древнегреческих ученых сохранялся двойственный подход к трактованию природных процессов. Основная, реальная по своему содержанию, идея о гармоничности и стабильности природы, вышедшая из недр натурфилософии досократиков, значительно снизила роль априорно-мифических символов в объяснении явлений природы. Однако вера во всесилие богов полностью не исчезла.

Уже Геродот (около 484-425 гг. до н.э.) делал первые попытки объяснить численное соотношение животных различных видов в природе, что также демонстрирует экологическую направленность зоогеографических изысканий. Он отмечал, что неодинаковая численность видов животных на различных территориях обусловлена несовпадением их репродуктивных возможностей, а также особенностями местообитаний и взаимоотношениями с другими животными [6]. Он же впервые показывает корреляцию численности разных видов во взаимоотношении хищник – жертва.

Другим примечательным событием V века до н.э. стало создание Ксенофаном и Парменидом учения о пяти поясах Земли, которое в какой-то степени отражало явление зоогеографической зональности.

На фаунистических знаниях были основаны и первые системы классификации животных, отражавшие их использование в домашнем обиходе. Гиппократ из Коса (конец V в до н.э.) составил такую классификацию, где перечислял 50 видов млекопитающих, птиц, рыб, моллюсков и ракообразных. В своем сочинении «О диете» (410 г. до н.э.) [7] он писал: «Знание порождает науку, а незнание – веру». Это еще раз подтверждает все более глубокое проникновение естественнонаучной мысли в быт и философию того времени.

Значительной как по своей обширности, так и глубине научного анализа стала деятельность древнегреческого философа и энциклопедиста, родоначальника зоологии и экологии Аристотеля (384-322 гг. до н.э.) [8]. Созданная им классификация – показатель изученности фауны в тот период. Сочинения Аристотеля – это и первые произведения по зоогеографии Океана, поскольку большое внимание он уделял животным из Эгейского моря, из них упоминаются 116 видов рыб и 64 вида беспозвоночных.

Аристотель пробудил не только интерес к естественной истории у Александра Македонского, который повелел 5 тыс. человек, находившихся в разных местах Азии и Греции, выполнять поручения Аристотеля: отлавливать животных и подробно описывать их образ жизни и поведение, но и убедил его в значительности подобных знаний для государства.

Представления Аристотеля о приспособленности вида к жизни в определенных условиях среды, анализ вопросов трофических, мутуалистических и других биотических взаимоотношений разных видов в природе не потеряли своей актуальности и в наши дни. Касаясь вопросов численности животных, Аристотель прекрасно раскрывает механизмы, препятствующие перенаселению вида (поведение гальяна, выбрасывание орлом второго птенца из гнезда и т.п.).

С александрийской эпохой развития эллинистической науки в Египте связаны имена Евклида, Аполлония, Диофанта, Гиппарха, Тезибия, Герона, Архимена и других ученых, группировавшихся вокруг знаменитой Александрийской библиотеки, созданной Птолимеями [9]. Особое развитие там получила география, которая черпала сведения, в основном, из походов Александра Македонского. В 63 г. до н.э. основы биогеографии закладывает Страбон [10]. Он ввел в географию описания растений и животных, а также отметил, что предметами изучения данной науки служат растения и животные и подчеркивал, что существует определенная связь между историей человечества, климатом, почвой и биотой той или иной территории. Впоследствии эта мысль на новом уровне и богатом биологическом материале была сформулирована Гумбольдтом и другими биогеографами.

Сведения о животном мире содержались не только в специальных сочинениях, но и в комплексных страноведческих описаниях общегеографического характера. Одним из таких авторов был Гекатей из Милета (546–480 гг. до н.э.). По мнению Дж. Томсона [11] в работе Гекатея появлялся «известный интерес к климату, обычаям, флоре и фауне, так что она стоит того, чтобы ее называли общей географией, первой географией, о которой нам что-либо известно».

Так же как и в Греции и других государствах формированию зоогеографических и экологических знаний в Древнем Риме способствовали походы в другие страны, торговля и путешествия. Собираемые и накапливаемые таким образом знания способствовали не только распространению представлений о фауне и населении животных различных территорий, но и позволяли производить сравнительно-географические обобщения.

Древнеримский мыслитель и ученый Кай Плиний (23–79 гг.) создал 37-томную «Естественную историю», в которой были использованы и материалы трудов Аристотеля [12].

То, что население животных формируется не спонтанно, а входит в состав сложных природных комплексов, напрямую и косвенно зависит от особенностей образования, развития и сочетания других географических компонентов (климата, рельефа, почвы, растительности) отмечал древнеримский мыслитель Лукреций Кар (98–55 гг. до н.э.). В своей книге «О природе вещей» [13] он эмоционально и красочно описывает постепенный процесс формирования природных комплексов: «Сначала земля одела холмы зеленым ковром, составленным исключительно из трав и всюду по зеленым полям и лугам брызнули миллионы цветов. Затем ожесточенная борьба завязалась между деревьями, из которых каждое протягивало свои ветви в воздух. Подобно тому, как пух покрывает сначала тело птицы и зверя, так молодая земля оделась сначала травами и кустарниками, только позднее разными процессами, произвела она множество животных, потому что животные не могли уже упасть на нее с неба, или растения выйти из пучины моря. Поэтому оставим за землей имя матери, которое она заслужила произведя всех из своих недр». И далее, – «И теперь еще многие живые существа обра-

зуются в земле при помощи дождя и солнца...». Отбросив из поля нашего зрения наивные взгляды на происхождение животных «из земли», следует обратить внимание на те природные компоненты, которые Лукреций Кар называет ведущими в «зарождении животных» – дождь и солнце. Здесь, по нашему мнению, заключена интересная мысль о том, что для конкретных видов животных, их распространения и численности важен климатический фактор, а именно сочетание тепла и влаги. Подобные взгляды о роли гидротермических показателей в хорологии популяций животных, основанные на анализе полевого эмпирического материала, появились и стали укрепляться лишь в конце двадцатого столетия [14].

А.И. Герцен [15] считал, что древний мир не имел науки о природе. Древняя «наука» находилась на стадии начала осмысления эмпирических данных и первых этапах анализа природных явлений, ее направленность была узкой, на решение конкретных прикладных вопросов.

Выводы

Таким образом, в результате проделанной работы можно сделать следующие выводы о зоогеографических знаниях в древневосточном и античном обществах: 1) расширением знаний о географии известных в зоологическом отношении территорий, в том числе и в комплексных страноведческих описаниях общегеографического характера; 2) появлением данных о большем числе систематических групп животных (в частности, беспозвоночных, рыбах, земноводных и пресмыкающихся); 3) параллельным развитием «биогеоценотических» взглядов в знании различных культур; 4) первыми попытками связать условия формирования структуры животного населения с факторами, имеющими глубокую экологическую природу: сочетанием тепла и влаги, трофическими и другими биотическими взаимоотношениями, особенно отношениями «хищник – жертва» и т.д.

Библиографический список

1. Рахилин В.К. Животные в жизни людей (история изучения, использования и охраны животного мира). М., 1996. 264 с.
2. Busnel R., Gibian J. Prospective consideration concerning bio-acoustics in relation to bird-searing techniques // The problems of birds as pests. N.Y.: Acad. pres, 1968.
3. Рулье К.Ф. Священный ибис // Вестник естественных наук. 1854. № 27.
4. Каприелов А.А. Образ птицы в древнем искусстве // Орнитология. 1980. № 15. С. 179–188.
5. Никольский Г.В. Сведения по экологии животных в индийском эпосе «Махабхарата» и «Рамаяна» // Вопросы истории естествознания и техники. 1956. Вып. 2.
6. Геродот. История в девяти книгах. М.: Наука, 1978. 600 с.
7. Гиппократ. Сочинения / пер. В.И. Руднева. В 3-х т. М.-Л.: МЕДГИЗ, 1935-1944.
8. Аристотель. История животных / пер. с древнегреч. В.П. Карпо-

- ва. М.: РГГУ, 1996. 528 с.
9. Наумов Г.В. Краткая история биогеографии. М.: Наука, 1969. 201 с.
 10. Страбон. География / пер. Г.А.Стратановского М.: Наука, 1964. 944 с. + карты.
 11. Гай Плиний Секунд Старший. Естественная история URL: http://annales.info/ant_lit/plinius/.
 12. Томсон Д.О. История древней географии. М., 1953. 592 с.
 13. Лукреций Кар. О природе вещей / пер. с латин. Ф. Петровского. М.: Худож. лит., 1983. 383 с.
 14. Лиховид А.А., Шальнев В.А. К вопросу о роли ландшафтно-климатических факторов в хорологии популяций животных // Эколого-географический вестник Юга России. 2000. № 1. С. 21-29.
 15. Герцен А.И. Письма об изучении природы. Сочинения. М.: Гос. изд-во худ. лит-ры, 1955. Т. 2.

References

1. Rakhilin V.K. Zhivotnye v zhizni lyudei (istoriya izucheniya, ispol'zovaniya i okhrany zhivotnogo mira) (Animals in people's lives (the history of studying, using and protecting the animal world)). М.: Poligrafiya, 1996. 264 p.
2. Busnel R., Gibian J. Prospective consideration concerning bio-acoustics in relation to bird-searing techniques // The problems of birds as pests. N.Y.: Acad. pres, 1968.
3. Rul'e K.F. Svyashchennyi ibis (The sacred ibis) // Vestnik estestvennykh nauk. 1854. № 27.
4. Kapriellov A.A. Obraz ptitsy v drevnem iskusstve (The image of a bird in ancient art) // Ornitologiya. 1980. № 15. P. 179-188.
5. Nikol'skii G.V. Svedeniya po ekologii zhivotnykh v indiiskom epose «Makhabkhara-ta» i «Ramayana» (Information on the ecology of animals in the Indian epic «Mahabharata» and «Ramayana») // Voprosy istorii estestvoznaniya i tekhniki. 1956. Issue. 2.
6. Gerodot. Istoriya v devyati knigakh (A story in nine books). М.: Nauka, 1978. 600 p.
7. Gippokrat. Sochineniya (Works) / per. V.I. Rudneva. V 3-kh t. М.-Л.: MEDGIZ, 1935-1944.
8. Aristotel'. Istoriya zhivotnykh (History of animals) / per. s drevnegrech. V.P. Karpova Moskva: RGGU, 1996. 528 s.
9. Naumov G.V. Kratkaya istoriya biogeografii (A Brief History of Biogeography). М.: Nauka, 1969. 201 p.
10. Strabon. Geografiya (Geography) / per. G.A.Stratanovskogo. М.: Nauka, 1964.
11. Gai Plinii Sekund Starshii. Estestvennaya istoriya (Natural history) URL: http://annales.info/ant_lit/plinius/
12. Tomson D. O. Istoriya drevnei geografii (History of ancient geography). М., 1953.
13. Lukretsii Kar. O prirode veshchei. (On the nature of things) / per. s latin. F. Petrovskogo. М.: Khudozh. lit., 1983. 383 s.
14. Likhovid A.A., Shal'nev V.A. K voprosu o roli landshaftno-klimaticheskikh faktorov v khorologii populyatsii zhivotnykh (On the importance of landscape-climatic factors in the chorology of animal populations) // Ekologo-geograficheskii vestnik Yuga Rossii. 2000. № 1. P. 21-29.
15. Gertsen A.I. Pis'ma ob izuchenii prirody. Sochineniya (Letters on the study of nature. Compositions). М.: Gos. izd-vo khud. lit-ry, 1955. Т. 2.

УДК: 582.998.2

Пещанская Е.В. [Peshchanskaya E.V.]
Лиховид Н.Г. [Likhovid N.G.]

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВИДОВ РОДА *SOLIDAGO* ФЛОРЫ КАВКАЗА

The history of studying and the propagation of *Solidago* genus in the Caucasus

Род *Solidago* (золотарник) достаточно богат, его представители встречаются повсеместно. В России этот род насчитывает 22 вида, а на территории бывшего СССР – 26 видов, которые распространены почти повсеместно. На Кавказе произрастает 15 видов рода *Solidago* (*S. virgaurea*, *S. turfosa*, *S. talyschensis*, *S. caucasica*, *S. alpestris*, *S. canadensis*, *S. altissima*, *S. serotinoidea*, *S. rupestris*, *S. arguta*, *S. neglecta*, *S. laevenworthii*, *S. odora*, *S. juncea*, *S. graminifolia*), которые относятся к секциям: *Solidago*, *Unilateralis*, *Euthamia* и распространены в 11 районах флоры Кавказа. В Западном Предкавказье и Северо-Западном Закавказье встречается по 1 виду, в остальных флористических районах 2–4 вида. В Западном Закавказье отмечено максимальное количество видов рода *Solidago* – 14. Наиболее широко распространен *S. virgaurea*, который встречается в 10 районах флоры Кавказа.

The *Solidago* genus (goldenrod) is quite rich, and its representatives are found everywhere. In Russia this genus includes 22 species, and on the territory of the former USSR – 26 species, which are widespread almost everywhere. In the Caucasus, there are 15 species of the *Solidago* genus (*S. virgaurea*, *S. turfosa*, *S. talyschensis*, *S. caucasica*, *S. alpestris*, *S. canadensis*, *S. altissima*, *S. serotinoidea*, *S. rupestris*, *S. arguta*, *S. neglecta*, *S. laevenworthii*, *S. odora*, *S. juncea*, *S. graminifolia*), which belong to the sections *Solidago*, *Unilateralis*, *Euthamia* and are spread in 11 regions of the Caucasus flora. Western Ciscaucasia and North-West Transcaucasia feature 1 species each, and there are 2 to 4 species in the remaining floristic regions. The *Solidago* genus is most widely represented in the Western Transcaucasia – 14 species are noted. The most common is *S. virgaurea*, which is found in 10 regions of the Caucasus flora.

Ключевые слова: род *Solidago*, флористические районы Кавказа, встречаемость видов.

Key words: *Solidago* genus, floristic regions of the Caucasus, occurrence of species.

Введение

Изучение рода *Solidago* обусловлено поиском полезных растений на Кавказе. Известно, что один из представителей этого рода – *Solidago canadensis* L. (золотарник канадский) с давних времен используется человеком в качестве лекарственного средства. В XIII и XIV веках каталонский врач и теолог Арнольд из Виллановы (1240–1311 гг.) прописывал сырье этого растения при мочекаменной болезни. Жерар (1545–1612 гг.) использовал золотарник для лечения ран и считал растение достойным восхищения. Со времен средневековья этот вид по праву назывался золотой розгой и часто использовался в народной медицине – при заболеваниях мочевого пузыря, почек, а также при кожных заболеваниях и для заживления ран [1].

В настоящее время этот вид достаточно широко изучен и широко применяется – например, в Америке он входит в состав тонизирующих чаев, при-

меняется в разных областях медицины [2]. Отечественные ученые Всероссийского института лекарственных растений (ВИЛАР) на основе сырья золотарника канадского создали препарат «Простанорм» для лечения заболеваний предстательной железы у мужчин [3, 4]. Экстракт травы этого вида входит в состав препаратов «Марелин» и «Солидофан», применяющихся при заболеваниях почек.

Помимо лекарственных свойств золотарник канадский обладает замечательными декоративными качествами и является прекрасным медоносом в позднелетний – осенний периоды медосбора [5, 6, 7].

Учитывая, что большинство видов этого рода так же можно отнести к позднецветущим, с растянутым сроком цветения, эти виды так же могут использоваться в качестве медоносов, в декоративных целях. Следует так же обратить внимание на их лекарственные свойства. Опираясь на вышеизложенное, в целях проведения дальнейших исследований, актуально изучение распространения рода *Solidago* на Кавказе.

Материалы и методы исследования

Работа построена на анализе Конспекта флоры Кавказа - т.3(1), 2008 г. [11], литературы по теме (см. список литературы), а также работе с гербарным фондом (Гербарий Всероссийского института лекарственных и ароматических растений (Москва), Главного ботанического сада им. Цицина (Москва), Ставропольского ботанического сада им. В.В. Скрипчинского).

Результаты и обсуждение

В род *Solidago* (сем. *Asteraceae*) входит 309 видов [8]. На территории РФ и сопредельных государств встречаются 26 видов, в т.ч. 9 видов культивируются. В России в настоящее время насчитывается 22 вида [9, 10] рода *Solidago*, которые распространены почти повсеместно, его виды встречаются на Чукотке (*Solidago multiradiata*), Курильских островах, Камчатке (*S. spiraeifolia*), в Приморье (*S. kurilensis*, *S. decurrens*, *S. dahurica*), Архангельской области (*S. japonica*), Красноярском крае (*S. qebleri*, *S. dahurica*). Относительно *S. virgaurea*, есть сведения о его произрастании в различных климатических зонах – от Полярного круга (Полярный Урал, Белое море), Дальнего Востока (Приморский край), Красноярского края до средней полосы России (Московская обл., Кировская обл.), а также южных районов России. *S. canadensis* – заносной вид, встречается в диком виде в Московской области, Приморье, Приамурье, в Южных районах – Северный Кавказ (Ставропольский край, Краснодарский край), Абхазия, Европейской части России. Родина *S. canadensis* – Северная Америка, где встречается повсеместно. (Гербарий Всероссийского института лекарственных и ароматических растений, Москва, Главного ботанического сада им. Цицина, Москва, Ставропольского ботанического сада им. В.В. Скрипчинского).

Согласно данным, полученным в ходе исследования, на Кавказе в ди-
ком виде произрастает 15 видов сосудистых растений, относящихся к роду
Solidago (табл. 1).

Таблица 1. ИССЛЕДОВАНИЯ РОДА *SOLIDAGO*

Отдел	Класс	Семейство	Род	Секция	Кол-во видов
Цветковые	двудольные	Asteraceae	<i>Solidago</i>	<i>Solidago</i>	5
				<i>Unilaterales</i>	9
				<i>Euthamia</i>	1

Род *Solidago* на Кавказе включает в себя секции *Solidago*, *Unilateralis*,
Euthamia [11]. Секция *Solidago* на Кавказе представлена 5 видами – *S.*
virgaurea L., *S. turfosa* Woronov ex Grossh., *S. talyschensis* Tzvel., *S caucasica*
Kem-Nath., *S. alpestris* Waldst.ex Kit. ex Wiild. Секция *Unilateralis* включа-
ет в себя виды: *S. canadensis* L., *S. altissima* L. *S. serotinoides* A. et D. Löve, *S.*
rupestris Raf., *S. arguta* Ait., *S. neglecta* Torr. et A. Gray, *S. laevenworthii* Torr.
et A. Gray, *S. odora* Ait., *S. juncea* Ait. В секцию *Euthamia* входит 1 вид –
S. graminifolia (L.) Salisb. [11].

Распространение видов приводится согласно ботанико-географическо-
го районирования Кавказа (табл. 2) [11]. Опираясь на таблицу 2, можно сде-
лать вывод, что на Кавказе род *Solidago* распространен в 11 районах флоры.

Минимальное количество видов – в Западном Предкавказье и Северо-
Западном Закавказье – 1 вид (6,7 % от общего количества), в каждом из райо-
нов - Центральном Закавказье, Восточном Закавказье, Юго-Западном Закав-
казье произрастает 2 вида (13,3 %). В районах Восточный Кавказ, Южное За-
кавказье произрастают 3 вида (20 %), Западный Кавказ и Центральный Кав-
каз насчитывают по 4 вида (26,7 %). Максимальное количество видов - в За-
падном Закавказье – 14 (93,3 %).

Встречаемость видов в районах флоры Кавказа представлена в таблице
2. Наименее распространен вид *S. talyschensis*, который встречается только в
районе Талышинских гор и является эндемиком этого района. Виды *S. turfosa*

S. altissima, *S. rupestris*, *S. arguta*, *S. neglecta*, *S. juncea*, *S. odora*, *S.*
laevenworthii, *S. graminifolia* так же отмечены в одном районе флоры Кавка-
за – Западном Закавказье, при этом *S. turfosa* произрастает в Аджарском райо-
не (эндемик), остальные – в Абхазском районе. В трех районах флоры рас-
пространены 2 вида – *S. alpestris* (Западное Закавказье – Аджарский район,
Юго-Западное Закавказье – Арагацский район, Южное Закавказье – Дарале-
гисский и Севанский районы) и *S. serotinoides*. (Западный Кавказ, Централь-
ный Кавказ, Западное Закавказье – Абхазский район). В пяти районах флоры

ТАБЛИЦА 2. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВИДОВ РОДА *SOLIDAGO* В РАЙОНАХ
ФЛОРЫ КАВКАЗА

№	Районы флоры Кавказа	Количество видов	% от общего количества видов рода <i>Solidago</i>
1.	Зап. Предкавказье	1,0	6,7
2.	Западный Кавказ	4,0	26,7
3.	Центр. Кавказ	4,0	26,7
4.	Восточный Кавказ	3,0	20,0
5.	Северо-Западное Закавказье	1,0	6,7
6.	Запад. Закавказье	14,0	93,3
	Аджарский район	2,0	13,3
	Абхазский район	8,0	53,3
7.	Центральное Закавказье	2,0	13,3
	Карталинско-Юго- Осетинский район	2,0	13,3
	Триалетско-Нижне- карталинский р-н	2,0	13,3
	Вост. Закавказье	2,0	13,3
	Алазань-Агричай- ский район	2,0	13,3
	Иорско-Шекин- ский район	1,0	6,7
	Мургуз-Муровдаг- ский район	2,0	13,3
	Карабахский р-н	2,0	13,3
8.	Ю-З Закавказье	2,0	13,3
	Арагацский район	1,0	6,7
9.	Юж. Закавказье	3,0	20,0
	Севанский район	3,0	20,0
	Даралегисский р-н	2,0	13,3
	Зангезурский р-н	2,0	13,3
	М.-Зангеланский	1,0	6,7
10.	Южнокарабахский район	1,0	6,7
11.	Талыш	2,0	13,3

встречается *S.canadensis* – Западном Предкавказье, Западном Кавказе, Центральном Кавказе, Восточном Кавказе, Западном Закавказье. *S. caucasica* произрастает в семи районах флоры – Западном Кавказе, Центральном Кавказе, Восточном Кавказе, Западном Закавказье, Центральном Закавказье (Карталинско-Юго-Осетинский, Триалетско-Нижнекарталинский районы), Восточном Закавказье (Алазань-Агричайский, Мургуз-Муровдагский, Карабахский районы), Южном Закавказье (Севанский, Зангезурский районы), предположительно, эндемик. Наиболее широко распространен *S. virgaurea*, он встречается в 10 флористических районах – Западный Кавказ, Центральный Кавказ, Восточный Кавказ, Северо-Западное Закавказье, Западное Закавказье, Центральное Закавказье (Карталинско-Юго-Осетинский, Триалетско-Нижнекарталинский районы), Восточное Закавказье (Алазань-Агричайский, Иорско-Шекинский, Мургуз-Муровдагский, Карабахский районы), Юго-Западное Закавказье, Южное Закавказье – (Севанский, Даралегисский, Зангезурский, Мегри-Зангеланский, Южнокарабахский районы), Талыш.

Таблица 3. ВСТРЕЧАЕМОСТЬ ВИДОВ РОДА SOLIDAGO В РАЙОНАХ ФЛОРЫ КАВКАЗА

Флористические районы Кавказа	Наименование видов рода Solidago													
	<i>S. virga-urea</i>	<i>S. turfosa</i>	<i>S. talys-chensis</i>	<i>S. cau-casica</i>	<i>S. alpestris</i>	<i>S. canadensis</i>	<i>S. al-tissima</i>	<i>S. sero-tinoides</i>	<i>S. ru-pestris</i>	<i>S. arguta</i>	<i>S. neglecta</i>	<i>S. juncea</i>	<i>S. odora</i>	<i>S. laeven-worthii</i>
Западное Предкавказье						*								
Западный Кавказ	*			*		*		*						
Центральный Кавказ	*		*			*		*						
Восточный Кавказ	*		*			*								
Северо-Западное Закавказье	*													
Западное Закавказье	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Центральное Закавказье	*		*											
Восточное Закавказье	*		*											
Юго-Западное Закавказье	*				*									
Южное Закавказье	*		*	*										
Талыш	*	*												
Всего	10	1	1	7	3	5	1	3	1	1	1	1	1	1

Таблица 3. ВСТРЕЧАЕМОСТЬ ВИДОВ РОДА *SOLIDAGO* В РАЙОНАХ ФЛОРЫ КАВКАЗА

Флористические районы Кавказа	Наименование видов рода <i>Solidago</i>														
	<i>S. virga-urea</i>	<i>S. turfosa</i>	<i>S. telys-chensis</i>	<i>S. cau-casica</i>	<i>S. alpestris</i>	<i>S. cana-densis</i>	<i>S. al-tissima</i>	<i>S. sero-tinoides</i>	<i>S. ru-pestris</i>	<i>S. arguta</i>	<i>S. neglecta</i>	<i>S. juncea</i>	<i>S. odora</i>	<i>S. laeven-worthii</i>	<i>S. grami-nifolia</i>
Западное Предкавказье	+														
Западный Кавказ	+			+		+		+							
Центральный Кавказ	+			+		+		+							
Восточный Кавказ	+			+		+									
Северо-Западное Закавказье	+														
Западное Закавказье	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Аджарский район		*			*										
Абхазский район							*		*	*	*	*	*	*	*
Центральное Закавказье	+			+											
Карталинско-Юго-Осетинский район	*			*											
Триалетско-Нижнекарталинский район	*			*											
Восточное Закавказье	+			+											
Алазань-Агричайский район	*			*											
Иорско-Шекинский район	*														
Мургуз-Муровдагский район	*			*											
Карабахский район	*			*											
Юго-Западное Закавказье	+				+										
Арагацский район					*										
Южное Закавказье	+			+	+										
Севанский район	*			*	*										
Даралегисский район	*				*										
Зангезурский район	*			*											
Мегри-Зангеланский	*														
Южнокарабахский район	*														
Талыш	+		+												
Всего	10	1	1	7	3	5	1	3	1	1	1	1	1	1	1

Выводы

Род *Solidago* на Кавказе включает в себя три секции (табл. 1) – секция *Solidago* представлена 5 видами, секция *Unilateralis* включает в себя 9 видов, в секцию *Euthamia* входит 1 вид. На Кавказе исследуемый род распространен в 11 районах флоры (табл. 2). Минимальное количество видов – в Западном Предкавказье и Северо-Западном Закавказье – 1 вид (6,7 % от общего количества), в каждом из районов – Центральном Закавказье, Восточном Закавказье, Юго-Западном Закавказье произрастает 2 вида (13,3 %). В районах Восточный Кавказ, Южное Закавказье произрастают 3 вида (20 %), Западный Кавказ и Центральный Кавказ насчитывают по 4 вида (26,7 %). Максимальное количество видов – в Западном Закавказье – 14 (93,3 %).

Встречаемость видов в районах флоры Кавказа (табл. 3) такова: наименее распространены виды – *S. talyschensis*, *S. turfosa*, *S. altissima*, *S. rupestris*, *S. arguta*, *S. neglecta*, *S. juncea*, *S. odora*, *S. laevenworthii*, *S. graminifolia* которые отмечены в одном районе флоры Кавказа. В трех районах флоры распространены 2 вида – *S. alpestris* и *S. serotinoides*. В пяти районах флоры встречается *S. canadensis*. *S. caucasica* произрастает в семи районах флоры. Наиболее широко распространен *S. virgaurea*, который встречается в 10 флористических районах.

Два вида – *S. talyschensis* и *S. turfosa* эндемичны. Предположительно, *S. caucasica* так же эндемик.

Библиографический список

1. Mensen X.G. Phytotherapeutische Welt. Frankfurt am Main, 1981. P. 146–149.
2. Balf K. Garden – worthy goldenrods // Garden West. 1992. Vol. 6. №6. P. 36–37.
3. Государственный реестр лекарственных средств. М., 2006. Т. 1. 1472 с.
4. Атлас лекарственных растений России / под общ. ред. В.А. Быкова. М., 2006. С. 126–127.
5. Образцова А.И. Медоносы-целители // Пчеловодство. 2000. №5. С. 29–30.
6. Dalby R. Classic American honey plants: Goldenrod // Am. Bee J. 2000. Vol. 140. № 11. P. 884–886.
7. Werner P.A., Bradbury I.K., Gross R.S. The biology of Canadian weeds. 45. *Solidago canadensis* L. / Canadian Journal of Plant Science, 1980. N 60. P. 1393–1409.
8. Index Kewensis. London, Oxford university press. V. I, II., & supplementary. London, 1958–1969. Vol. 3–11.
9. Флора СССР / гл. ред. В.Л. Комаров, ред. тома Б.К. Шишкин. М.; Л., 1959. Т. 25. С. 31–51.

10. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. С-Пб.: Мир и семья – 95, 1995. 991 с.
11. Конспект флоры Кавказа / отв. ред. А.Л. Тахтаджан. М.: Типография «Наука», 2008. Т. 3(1). С. 164–167.

References

1. Mensen X.G. Phytotherapeutische Welt. Frankfurt am Main, 1981. P. 146–149.
2. Balf K. Garden – worthy goldenrods // Garden West. 1992. Vol. 6. №6. P. 36–37.
3. Gosudarstvennyy reestr lekarstvennykh sredstv (State Register of Medicines). M., 2006. T. 1. 1472 p.
4. Atlas lekarstvennykh pasteniy Rossii (Atlas of medicinal plants of Russia). pod obch. red. V.A. Bykova. M., 2006. P. 126–127.
5. Obratsova A.I. Medonosy-tselitely (Nectar-bearing plant – healers), Pchelovodstvo. 2000. No 5. P. 29–30.
6. Dalby R. Classic American honey plants: Goldenrod // Am. Bee J. 2000. Vol.140. № 11. P. 884–886.
7. Werner P.A., Bradbury I.K., Gross R.S. The biology of Canadian weeds. 45. *Solidago canadensis* L. / Canadian Journal of Plant Science. 1980. N 60. P. 1393–1409.
8. Index Kewensis. London, Oxford university press. V. I, II., & supplementary. London. 1958–1969. Vol. 3–11.
9. Flora SSSR (Flora of the USSR). gl. red. V.L. Komarov, red. toma B.K. Shyshkin. M.-L., 1959. T. 25. P. 31–51.
10. Cherepanov S.K. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredelnykh gosudarstv (Vascular plants of Russia and neighboring countries). S-Pb.: Mir i semiya – 95, 1995. 991 p.
11. Konspekt flory Kavkaza (Abstract of the Caucasus Flora). отв. ред. A.L. Tahtadjan. M.: Typografia Nauka, 2008. T. 3 (1). P. 164–167.

УДК 595.6

Сигида С.И. [Sigida S.I.],
Зуев Р.В. [Zuev R.V.]

ЗООГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ CHILOPODA И DIPLOPODA ФАУНЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

Zoogeographic analysis of *Chilopoda* and *Diplopoda* of the fauna of the Central Ciscaucasia

Проведён зоогеографический анализ 55 видов губоногих и двупарноногих многоножек Центрального Предкавказья. Выявлено, что в формировании фауны данного региона наибольшее значение внесли виды, относящиеся к Бореальному, Средиземноморскому и Кавказскому зоогеографическим комплексам. Это обусловлено расположением региона на границе трёх подобластей Палеарктики: Европейско-Сибирской, Средиземноморской и Среднеазиатской. Наибольшее число видов относится к эндемикам и субэндемикам Кавказа, особенно ярко выражено у *Diplopoda*. Второй по количеству видов – Бореальный комплекс. Средиземноморский комплекс неоднородно представлен у губоногих и двупарноногих: у *Chilopoda* он вносит вклад, примерно равный Бореальному и Кавказскому комплексам, а у диплопод его значение, наоборот, невелико. Комплекс ареалов, выходящих за пределы Голарктики, представлен антропохорными видами.

There is a zoogeographical analysis of 55 species of centipedes and millipedes of the Central Ciscaucasia. It was revealed that in the formation of the fauna of this region, the most important were species that refer to the Boreal, Mediterranean and Caucasian zoogeographic complexes. This is due to the location of the region on the border of the three subregions of the Palaearctic: the European-Siberian, Mediterranean and Central Asian. The largest number of species belongs to the endemics and subendemics of the Caucasus, which is especially pronounced in *Diplopoda*. The second most numerous species is the Boreal complex. The Mediterranean complex is heterogeneously represented in centipedes and millipedes: in *Chilopoda* it contributes approximately equal to the Boreal and Caucasian complexes, while for diplopods its value is on the contrary small. The range of areas that extend beyond the Holarctic is represented by anthropochronic species.

Ключевые слова: зоогеография, многоножки, *Diplopoda*, *Chilopoda*, Центральное Предкавказье.

Key words: zoogeography, Myriapoda, *Diplopoda*, *Chilopoda*, Ciscaucasia.

Введение

Губоногие (*Chilopoda*) и двупарноногие (*Diplopoda*) многоножки – два наиболее богатых видами класса из надкласса Myriapoda. По современным оценкам в мировой фауне известно более 3100 видов хилопод [17] и более 11000 видов диплопод [18]. За небольшим исключением, все они – сухопутные животные, обитающие в верхних слоях почвы, листовом опаде, в гнилой древесине, под корой и камнями. При этом *Diplopoda* – растительноядные и сапротрофные организмы, а *Chilopoda* – активные хищники.

Небольшие размеры (до 20 см), малая подвижность и склонность к эндемизму делают многоножек удобным объектом для зоогеографических исследований [3]. Приуроченность диплопод к определённым типам почв и способность их аккумулировать кальций в покровах тела позволяют исполь-

зовать эту группу как индикатор в зоологической диагностике почв и экологическом мониторинге [1, 2].

Работ по Mugiapoda Центрального Предкавказья немного и касаются они в основном района Кавказских Минеральных Вод [4, 9, 10, 11, 12, 20, 23, 24, 25]. В дальнейшем нами был проведён обзор фауны многоножек исследуемого региона [26, 27].

Цель данной работы – провести зоогеографический анализ фауны Mugiapoda данной территории.

Материалы и методы исследований

Материалом для данной работы послужили сборы 2004-2017 гг. в разных точках и местообитаниях Центрального Предкавказья. Экземпляры собирались методами ручного сбора и почвенных раскопок. Всего было собрано и обработано более 3 тыс. Diplopoda и Chilopoda.

Ареалы отдельных видов многоножек определялись по литературным источникам [6, 7, 14, 15, 19, 21, 22, 23].

Результаты исследований и их обсуждение

На территории Центрального Предкавказья нами было выявлено 55 видов многоножек [10, 16, 26, 27] из них к губоногим относятся 31 вид из 13 родов, к двупарноногим – 24 из 20 родов (Табл. 1). Для классификации ареалов этих видов была использована номенклатура зоогеографических подразделений Палеарктики А. П. Семенова-Тян-Шанского [13] с изменениями для области Древнего Средиземья по О. Л. Крыжановскому [8]. Некоторые термины приведены из работы А. Ф. Емельянова [5].

Изучение типов ареалов многоножек исследуемой территории позволило выделить 12 зоогеографических групп видов, имеющих сходное географическое распространение, входящих в 4 зоогеографических комплекса. Общий спектр географических элементов фауны многоножек Центрального Предкавказья представлен на рисунке 1 (а).

I. Бореальный комплекс в исследуемом регионе представлен видами, которые обладают голарктическим, транспалеарктическим, европейско-сибирским, и европейским типами ареалов.

1. Транспалеарктический тип ареала включает виды, встречающиеся в пределах бореальной Евразии от Атлантики до Тихого океана: *Pachymerium ferrugineum* (Koch, 1835).
2. Европейско-сибирский тип ареала. Виды, распространенные в лесной и отчасти лесостепной зонах Европы, Кавказа и Сибири, иногда встречаются также в горах Средней Азии и восточного Средиземноморья, т. е. имеют бореомонтанные ареалы – *Geophilus flavus* (De Geer, 1778).

Таблица 1. ЗООГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА DIPLOPODA И CHILOPODA ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ		
№	Роды и виды	Тип ареала
Класс CHILOPODA		
Отряд Scutigeromorpha		
Семейство Scutigeridae		
1	Scutigera coleoptrata (Linnaeus, 1758)	КОС
Отряд Lithobiomorpha		
Семейство Henicopidae		
2	Lamycetes emarginatus (Newport, 1844)	М
Семейство Lithobiidae		
3	Lithobius (Lithobius) colchicus Muralevitch, 1907	К
4	L. (L.) coloratus Sselivanoff, 1881	К
5	L. (L.) dissimilis Zuev, 2017	К*
6	L. (L.) elegans Sselivanoff, 1881	К
7	L. (L.) forficatus (Linnaeus, 1758)	М
8	L. (L.) liber Lignau, 1903	К
9	L. (L.) melanops Newport, 1845	Е
10	L. (L.) mutabilis L. Koch, 1862	Е
11	L. (L.) peregrinus Latzel, 1880	ВС
12	L. (L.) rufus Muralevitch, 1926	К
13	L. (L.) stuxbergii Sselivanoff, 1881	К
14	L. (Monotarsobius) crassipes L. Koch, 1862	Е
15	L. (M.) curtipes C.L. Koch, 1847	ЕСА
16	L. (M.) sselivanoffi (Garbowski, 1897)	ЕСр
Отряд Scolopendromorpha		
Семейство Scolopendridae		
17	Scolopendra cingulata Latreille, 1789	Т
Семейство Cryptopidae		
18	Cryptops (Cryptops) caucasicus Verhoeff, 1934	К
19	C. (C.) hortensis (Donovan, 1810)	ЕСА

№	Роды и виды	Тип ареала
Отряд Geophilomorpha		
Семейство Dignathodontidae		
20	Henia (Henia) illyrica (Meinert, 1870)	ЕСр
21	H. (Meinertia) bicarinata (Meinert, 1870)	С
Семейство Schendylidae		
22	Escaryus retusidens Attems, 1904	ЕСА
23	E. ornatus Folkmanova, 1956	СЭР
24	Schendyla nemorensis (C.L. Koch, 1837)	Е
Семейство Geophilidae		
25	Clinopodes caucasicus (Sselivanoff, 1884)	К
26	C. flavidus Koch, 1847	С
27	C. escherichii (Verhoeff, 1896)	Е
28	Diphyonyx conjungens (Verhoeff, 1898)	ВС
29	Geophilus flavus (De Geer, 1778)	ЕС
30	Pachymerium ferrugineum (Koch, 1835)	ТПа
Семейство Linoteniidae		
31	Strigamia cf. caucasia (Verhoeff, 1938)	К
Класс DIPLOPODA		
Отряд Polyxenida		
Семейство Polyxenidae		
32	Propolyxenus trivittatus (Verhoeff, 1941)	ВС
Отряд Glomerida		
Семейство Doderiidae		
33	Trachysphaera costata (Waga, 1857)	ЕСр
Отряд Chordeumatida		
Семейство Anthroleucosomatidae		
34	Caucaseuma variabile Antić & Makarov, 2016	К
35	Vegrandosoma tabacarui Antić & Makarov, 2016	К*
Отряд Polydesmida		
Семейство Paradoxomatidae		
36	Strongylosoma kordylamythrum Attems, 1898	К

№	Роды и виды	Тип ареала
37	<i>Oxidus gracilis</i> (C.L. Koch, 1847)	скос
Семейство Polydesmidae		
38	<i>Brachydesmus</i> (s. str.) <i>assimilis</i> Lohmander, 1936	К
39	<i>B.</i> (<i>Eubrachydesmus</i>) <i>superus</i> Latzel, 1884	Е
40	<i>B.</i> (<i>Haplobrachydesmus</i>) <i>kalischewskyi</i> Lignau, 1915	К
41	<i>Polydesmus</i> <i>muralewiczii</i> Lohmander, 1936	К
Отряд Julida		
Семейство Blaniulidae		
42	<i>Archiboreoiulus pallidus</i> (Brade-Birks, 1920)	Е
43	<i>Nopoiulus kochii</i> (Gervais, 1847)	М
Семейство Nemasomatidae		
44	<i>Nemasoma caucasicum</i> (Lohmander, 1932)	К
Семейство Jilidae		
45	<i>Brachyiulus jawlowskii</i> Lohmander, 1928	СЭР
46	<i>Byzantorhopalum rossicum</i> (Timotheew, 1897) (= <i>Megaphyllum rossicum</i>)	СЭР
47	<i>Chaetoleptophyllum flexum</i> Golovatch, 1979	К
48	<i>Cylindroiulus arborum</i> Verhoeff, 1928	Е
49	<i>C. pterophylacum</i> Read, 1992	К
50	<i>Julus colchicus</i> Lohmander, 1936	К
51	<i>J. lindholmi</i> Lohmander, 1936	К
52	<i>Rossiulus kessleri</i> (Lohmander, 1927)	ЭР
53	<i>Unciger transsilvanicus</i> (Verhoeff, 1899)	Е
54	<i>Omobrachiulus caucasicus</i> (Karsch, 1881) (= <i>Megaphyllum brachyurum</i> (Attems, 1899))	К
55	<i>O. aff. roseni</i> (Verhoeff, 1921)	К

Примечание: К – кавказский, К* – эндемик Центрального Предкавказья, С – средиземноморский, ЕСр – европейско-средиземноморский, ВС – восточносредиземноморский, Т – тетийский, Е – европейский, ЕСА – европейско-среднеазиатский, ЕС – европейско-сибирский, ТПа – транспалеарктический, ЭР – эндемик Русской равнины, СЭР – субэндемик Русской равнины, М – мультирегиональный, кос – космополит, скос – субкосмополит.

3. Европейский тип ареала. Виды, широко распространенные в Европе и на Кавказе, иногда заходят в Средиземноморье, Западную Сибирь или имеют дизъюнктные и бореомонтанные ареалы – *Lithobius melanops* Newport, 1845, *L. mutabilis* L. Koch, 1862, *L. crassipes* L. Koch, 1862, *Schendyla nemorensis* (C.L. Koch, 1837), *Clinopodes escherichii* (Verhoeff, 1896), *Brachydesmus superus* Latzel, 1884, *Archiboreoiulus pallidus* (Brade-Birks, 1920), *Cylindroiulus arborum* Verhoeff, 1928, *Unciger transsilvanicus* (Verhoeff, 1899).
4. Эндемики Русской равнины. Виды распространённые преимущественно на территории Русской равнины, иногда заходят в Средиземноморье и Кавказ – *Escaryus ornatus* Folkmanova, 1956, *Brachyiulus jawlowskii* Lohmander, 1928, *Byzantorhopalum rossicum* (Timotheew, 1897), *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927).

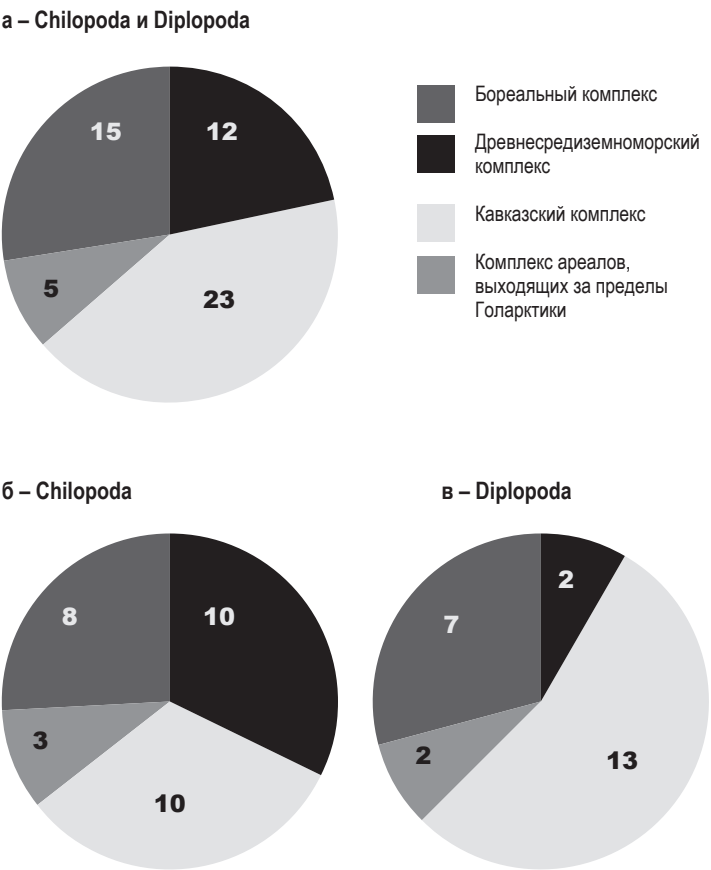


Рисунок 1. Спектр географических элементов фауны *Chilopoda* и *Diplopoda* Центрального Предкавказья.

- II. Древнесредиземноморский комплекс. Согласно взглядам О.Л. Крыжановского [1965] – область Древнего Средиземноморья – это обширная природная область, расположенная в зоне, где в верхнем мелу и палеогене простиралось древнее Средиземное море – Тетис, и охватывающая преимущественно аридные и семиаридные ландшафты. Включает Южную Европу, Северную Африку, Переднюю, Среднюю и Центральную Азию.
5. Тетийский тип ареала, или собственно Древнесредиземноморский – *Scolopendra cingulata* Latreille, 1789.
 6. Средиземноморский тип ареала. Виды, широко распространенные в области Средиземья – *Henia bicarinata* (Meinert, 1870), *Clinopodes flavidus* Koch, 1847.
 7. Восточнесредиземноморский тип ареала. Виды, заселяющие Восточное Средиземноморье к востоку от Балканского полуострова до Средней и Центральной Азии – *Lithobius peregrinus* Latzel, 1880, *Diphyonyx conjungens* (Verhoeff, 1898), *Propolyxenus trivittatus* (Verhoeff, 1941).
 8. Европейско-средиземноморский тип ареала. Виды, обитающие в Европе и Средиземноморье, иногда заходят в Казахстан и Среднюю Азию, но в этом случае встречаются лишь в Южной Европе – *Lithobius sselivanoffi* (Garbowski, 1897), *Trachysphaera costata* (Waga, 1857), *Henia illyrica* (Meinert, 1870).
 9. Европейско-среднеазиатский тип ареала характерен для *Cryptops hortensis* (Dopovan, 1810), который распространен в Европе, Кавказе и в Средней Азии, а также для *Escaryus retusidens* Attems, 1904, который обитает на юге Русской равнины и в Казахстане и *Lithobius curtipes* C.L. Koch, 1847
- III. Кавказский комплекс. Кавказский комплекс охватывает кавказские и условно кавказские виды, т. е. виды, распространенные или только на Кавказе, или преимущественно на Кавказе и, в меньшей степени, за его пределами, например в Малой Азии и Северном Иране. Попытки зоогеографического районирования Кавказа на основе распространения многоножек предпринимались Г. Льюмандером [23]. Однако распространение многих Myriapoda Кавказа не достаточно изучено и требует дальнейшего уточнения, поэтому в данной работе мы не подразделяем типы ареалов внутри кавказского комплекса.
10. Кавказский тип ареала. Данный комплекс представлен в исследуемом регионе следующими видами: *Lithobius colchicus* Muralevitch, 1907, *L. coloratus* Sselivanoff, 1881, *L. dissimilis* Zuev, 2017, *L. elegans*

Sseliwanoff, 1881, *L. liber* Lignau, 1903, *L. rufus* Muralevitch, 1926, *L. stuxbergii* Sseliwanoff, 1881, *Cryptops caucasicus* Verhoeff, 1934, *Clinopodes caucasicus* (Sseliwanoff, 1884), *Strigamia* cf. *caucasia* (Verhoeff, 1938), *Caucaseuma variabile* Antić & Makarov, 2016, *Vegrandosoma tabacarui* Antić & Makarov, 2016, *Strongylosoma kordylamythrurum* Attems, 1898, *Brachydesmus assimilis* Lohmander, 1936, *B. kalischewskyi* Lignau, 1915, *Polydesmus muralewiczii* Lohmander, 1936, *Nemasoma caucasicum* (Lohmander, 1932), *Chaetoleptophyllum flexum* Golovatch, 1979, *Cylindroiulus pterophylacum* Read, 1992, *Julus colchicus* Lohmander, 1936, *J. lindholmi* Lohmander, 1936, *Omobrachiulus caucasicus* (Karsch, 1881), *O. aff. roseni* (Verhoeff, 1921).

IV. Комплекс ареалов, выходящих за пределы Голарктики.

11. Мультирегиональный тип ареала. Виды, населяющие значительную часть тропических областей Африки и Азии и отчасти область Древнего Средиземья. Это *Lamyctes emarginatus* (Newport, 1844), *Lithobius forficatus* (Linnaeus, 1758), *Nopoiulus kochii* (Gervais, 1847).
12. Космополитный тип ареала. Виды, распространённые по всему земному шару: *Scutigera coleoptrata* (Linnaeus, 1758) и *Oxidus gracilis* (C.L. Koch, 1847).

Как следует из приведённых выше данных, фауна Myriapoda Центрального Предкавказья неоднородна по происхождению. Это обусловлено расположением региона на границе трёх подобластей Палеарктики: Европейско-Сибирской, Средиземноморской и Среднеазиатской. Обращает на себя внимание большое число эндемиков и субэндемиков Кавказа (23 вида), особенно ярко это выражено у Diporoda (рис. 1в), где доля кавказских видов составляет 54%. У Chilopoda процент эндемиков ниже (32%), хотя они и составляют значительную часть видов этой группы (рис. 1б). Два вида кавказского комплекса являются эндемиками Центрального Предкавказья: *Lithobius dissimilis* и *Vegrandosoma tabacarui*. Но не стоит исключать, что дальнейшие исследования могут значительно расширить известный ареал этих недавно описанных видов.

Второй по числу видов комплекс – Бореальный (15), в нём преобладают многоножки с европейским типом ареала (10), однако многие из этих видов являются антропохорными и обитают преимущественно в антропогенных биотопах: *Lithobius melanops*, *Clinopodes escherichii*, *Brachydesmus superus*, *Archiboreoiulus pallidus*.

Средиземноморский комплекс представлен 12 видами, среди губоногих число видов данного комплекса примерно равно числу видов Бореального и Кавказского комплексов (10, 8 и 10 соответственно), то у диплопод вклад средиземноморского комплекса незначителен (2) и составляет 8% от общего числа видов.

Выводы

В результате проведённого анализа выявлено, что наибольшее число видов многоножек Центрального Предкавказья принадлежит к Кавказскому зоогеографическому комплексу (23), особенно ярко это выражено у Diplopoda: 54% от общего числа видов. Второй по числу видов – Бореальный комплекс (15), большую часть в нём составляют виды с европейским типом ареала (10). Средиземноморский комплекс (12) представлен неравномерно у губоногих и двупарноногих: у первых он составляет большую долю (26%), приближаясь по числу видов к Бореальному и Кавказскому комплексам, у вторых же виды этого комплекса составляют только 8%. Комплекс ареалов, выходящих за пределы Голарктики, представлен антропохорными видами.

Библиографический список

1. Ганин Г.Н. Почвенные животные Уссурийского края. Владивосток-Хабаровск: Изд-во Дальнаука, 1997. 160 с.
2. Гиляров М.С., Криволуцкий Д.А. Радиоэкологические исследования в почвенной зоологии // Зоологический журнал. 1971. Т. 50, вып. 3. С. 329-342.
3. Головач С.И. Распределение и фауногенез двупарноногих многоножек европейской части СССР // Фауногенез и филогенез. М.: Наука. 1984. С. 92-138.
4. Головач С.И., Энгхофф Х. Кивсяк *Nopoiulus kochii* (Gervais, 1847) на Кавказе (Diplopoda, Julida, Blaniulidae) // Фауна наземных беспозвоночных Кавказа. М., «Наука». 1990. С. 114-118.
5. Емельянов А.Ф. Предложения по классификации и номенклатуре ареалов // Энтомологическое обозрение. 1974. том 53. вып. 3. С. 497-522.
6. Залеская Н.Т. Определитель многоножек-костянок СССР (Chilopoda, Lithobiomorpha). М.: Наука. 1978. 212 с.
7. Залеская Н.Т., Шилейко А.А. Сколопендровые многоножки (Chilopoda, Scolopendromorpha). М.: Наука. 1991. 103 с.
8. Крыжановский О.Л. Состав и происхождение наземной фауны Средней Азии. (Главным образом на материале по жесткокрылым). Л.: Наука. 1965. 420 с.
9. Муралевич В.С. К фауне Myriapoda Кавказа // Известия Ставропольского энтомологического общества. 1927. Т. 3, № 1. С. 4-7.
10. Муралевич В.С. Scutigeraeidae и Lithobiidae кавказской фауны // Мем. зоол. отд. об-ва ест., антр. и этногр. 1929. Вып. 4. С. 1-112.
11. Селиванов А.В. Кавказские тысячножки // Труды Русского энтомологического общества. 1881. Т. 12, вып. 6. С. 177-198.
12. Селиванов А.В. Материалы к изучению русских тысячногих (Chilopoda) // Труды русского энтомологического общества. 1883-1884. Т. 18. С. 69-121.
13. Семёнов-Тян-Шанский А.П. Пределы и зоогеографические подразделения Палеарктической области для наземных сухопут-

- ных животных на основании географического распределения жесткокрылых насекомых. М., Л.: Изд-во АН СССР. 1936. 16 с.
14. Титова Л.П. Новые виды рода *Escaryus* Cook et Collins (Schendylidae, Chilopoda) // Экология почвенных беспозвоночных. М.: «Наука». 1972. С. 94-119.
 15. Фарзалиева Г.Ш., Есюнин С.Л. Обзор многоножек-костянок (Lithobiomorpha, Henicopidae, Lithobiidae) фауны Урала и Приуралья // Зоологический журнал. 2008. Т. 87, вып. 8. С. 923-947.
 16. Antić D.Ž., Makarov S.E. The Caucasus as a major hotspot of biodiversity: Evidence from the millipede family Anthroleucosomatidae (Diplopoda, Chordeumatida) // Zootaxa, 4211. 2016. 205 p.
 17. Edgecombe D.G., Zapparoli M., Bonato L. Chilopoda – Taxonomic overview // Anatomy, Taxonomy, Biology. The Myriapoda, Volume 1. 2010. P. 363-443.
 18. Enghoff H., Golovatch S.I., Short M., Stoev P., Wesener T. Diplopoda—taxonomic overview // Anatomy, Taxonomy, Biology. The Myriapoda, Volume 2. 2015. P. 363-453.
 19. Golovatch S.I., Evsyukov A.P., Reip H.S. The millipede family Polydesmidae in the Caucasus (Diplopoda: Polydesmida) // Zootaxa, 4085, 1. 2016. P. 1-51.
 20. Golovatch S.I., Matyukhin A.V. New records of millipedes (Diplopoda), mainly from bird nests, in European Russia // Arthropoda Selecta. 2011. Vol. 20 (2). P. 115-116.
 21. Kime R. D., Enhoff H. Atlas of European Millipedes (Class Diplopoda), Vol. 1 - Orders Polyxenida, Glomerida, Platydesmida, Siphonocryptida, Polyzoniida, Callipodida, Polydesmida // Series: Fauna Europeaeva Evertebrata №3. Pensoft Publishers. 2011. P. 1-282.
 22. Kime R. D., Enhoff H. Atlas of European millipedes 2: Order Julida (Class Diplopoda) // European Journal of Taxonomy 346. 2017. P. 1–299.
 23. Lohmander H. Über die Diplopoden des Kaukasusgebietes // Göteborgs Kungliga Vetenskaps- och Vitterhets-Samhälles handlingar. Följden, Ser. B 5 №1. 1936. P. 1-196.
 24. Muralewicz W.S. Zur Myriapodenfauna des Kaukasus // Zoologischer Anzeiger. Bd.31. H.11-12. 1907. P. 329–351.
 25. Muralewicz W.S. Übersicht über die Chilopodenfauna des Kaukasus // Zoologischer Anzeiger 69. 1927. P. 27-44.
 26. Zuev R.V. Preliminary data on the millipedes (Diplopoda) from the Stavropol Territory, northern Caucasus, Russia // Arthropoda Selecta. 2014. Vol.23. No.4. P. 347-354.
 27. Zuev R.V. Centipedes (Chilopoda) from the Stavropol Territory, northern Caucasus, Russia // Arthropoda Selecta. 2016. Vol.25. No.1. P. 23-38.

References

1. Ganin G.N. Pochvennye zhyvotnye Ussuriskogo kraya (Soil animals of the Ussuri region). Vladivostok-Khabarovsk: izd-vo Dalnauka, 1997. 160 p.
2. Gilyarov M.S., Krivolutskiy D.A. Radioecologicheskie issledovaniya v pochvennoy zoologii (Radioecological researches in soil zoology) // Zoologicheskij zhurnal. 1971. T. 50, vol. 3. P. 329-342.
3. Golovatch S.I. Raspredelenie i faunogenez dvuparnonogih mnogonozhek evropeyskoy chasti SSSR (Distribution and faunogenesis of millipedes of the European part of the USSR) // Faunogenez i filogenez. M.: Nauka. 1984. P. 92-138.
4. Golovatch S.I., Enghoff H. Kivsyak Nopoiulus kochii (Gervais, 1847) na Kavkaze (Diplopoda, Julida, Blaniulidae) (Millipede Nopoiulus kochii (Gervais, 1847) in the Caucasus (Diplopoda, Julida, Blaniulidae)) // Fauna nazemnyh bespozvonochnyh Kavkaza. M., Nauka. 1990. P. 114-118.
5. Emal'yanov A.F. Predlozheniya po klassifikatsii i nomenklature arealov (Proposals on the classification and nomenclature of areals) // Entomologicheskoye obozrenie. 1974. T. 53. vol. 3. P. 497-522.
6. Zalesskaja N.T. Opredelitel' mnogonozhek-kostyanok SSSR (Chilopoda, Lithobiomorpha) (Identification book of the lithobiomorph centipedes of the USSR (Chilopoda, Lithobiomorpha)). M.: Nauka. 1978. 212 p.
7. Zalesskaja N.T., Schileyko A.A. Skolopendrovye mnogonozhki (Chilopoda, Scolopendromorpha) (Chilopods Scolopendromorphs (Chilopoda, Scolopendromorpha)) // M.: Nauka. 1991. 103 p.
8. Kryzhanovsky O.L. Sostav i proiskhozhdenie nazemnoy fauna Sredney Azii. (Glavnym obrazom na materiale po zhestkokrylym) (Composition and origin of the terrestrial fauna of Central Asia. (Mainly on the coleopteran material)). L.: Nauka. 1965. 420 p.
9. Muralewicz W.S. K faune Myriapoda Kavkaza (To the fauna of Myriapoda of the Caucasus) // Izvestiya Stavropol'skogo entomologicheskogo obshchestva. 1927. T. 3, № 1. P. 4-7.
10. Muralewicz W.S. Scutigeridae i Lithobiidae kavkazskoy fauny (Scutigeridae and Lithobiidae of the Caucasian fauna) // Mem. zool. otd. ob-va est., antr. i etnogr. 1929. Vol. 4. P. 1-112.
11. Sseliwanoff A.V. Kavkazskie tys'yachenozhki (Myriapoda of the Caucasus) // Trudy russkogo entomologicheskogo obshchestva. 1881. T. 12. No. 6. P. 177-198.
12. Sseliwanoff A.V. Materialy k izucheniyu russkikh tys'yachenogih (Chilopoda) (Materials towards the study of Russian myriapods) // Trudy russkogo entomologicheskogo obshchestva. 1883-1884. T. 18. P. 69-121.
13. Sem'yonov-T'yan-Shanskyi A.P. Predely i zoogeograficheskie podrazdeleniya Palearkticheskoy oblasti dl'ya nazemnykh sukhoputnykh zhyvotnykh na osnovanii geograficheskogo raspredeleniya zhestkokrylykh nasekomykh (Limits and zoogeographical subdivisions of the Palearctic region for terrestrial land animals on the ba-

- sis of the geographical distribution of coleopteran insects). M., L.: Izd-vo AN SSSR. 1936. 16 p.
14. Titova L.P. Novye vidy roda *Escaryus* Cook et Collins (Schendylidae, Chilopoda) (New species of the genus *Escaryus* Cook et Collins (Schendylidae Chilopoda)) // *Ekologiya pochvennykh bezpozvochnykh*. Moskva, Nauka. P. 94-119.
 15. Farzaliyeva G.Sh., Esyunin S.L. Obzor mnogonozhek-kost'yanok (Lithobiomorpha, Henicopidae, Lithobiidae) fauny Urala i Priural'ya (A Review of the Centipede (Lithobiomorpha, Henicopidae, Lithobiidae) Fauna of the Urals and Cis-Ural Area) // *Zoologicheskyy zhurnal*. 2008. T. 87, vol. 8. P. 923-947.
 16. Antić D.Ž., Makarov S.E. The Caucasus as a major hotspot of biodiversity: Evidence from the millipede family Anthroleucosomatidae (Diplopoda, Chordeumatida) // *Zootaxa*, 4211. 2016. 205 p.
 17. Edgecombe D.G., Zapparoli M., Bonato L. Chilopoda – Taxonomic overview // *Anatomy, Taxonomy, Biology. The Myriapoda*, Volume 1. 2010. P. 363-443.
 18. Enghoff H., Golovatch S.I., Short M., Stoev P., Wesener T. Diplopoda—taxonomic overview // *Anatomy, Taxonomy, Biology. The Myriapoda*, Volume 2. 2015. P. 363-453.
 19. Golovatch S.I., Evsyukov A.P., Reip H.S. The millipede family Polydesmidae in the Caucasus (Diplopoda: Polydesmida) // *Zootaxa*, 4085, 1. 2016. P. 1-51.
 20. Golovatch S.I., Matyukhin A.V. New records of millipedes (Diplopoda), mainly from bird nests, in European Russia // *Arthropoda Selecta*. 2011. Vol. 20 (2). P. 115-116.
 21. Kime R. D., Enhoff H. Atlas of European Millipedes (Class Diplopoda), Vol. 1 – Orders Polyxenida, Glomerida, Platydesmida, Siphonocryptida, Polyzoniida, Callipodida, Polydesmida // *Series: Fauna Europaea Evertebrata №3*. Pensoft Publishers. 2011. P. 1-282.
 22. Kime R. D., Enhoff H. Atlas of European millipedes 2: Order Julida (Class Diplopoda) // *European Journal of Taxonomy* 346. 2017. P. 1–299.
 23. Lohmander H. Über die Diplopoden des Kaukasusgebietes // *Göteborgs Kungliga Vetenskaps- och Vitterhets-Samhälles handlingar. Följden*, Ser. B 5 №1. 1936. P. 1-196.
 24. Muralewicz W.S. Zur Myriapodenfauna des Kaukasus // *Zoologischer Anzeiger*. Bd.31. H.11-12. 1907. P. 329–351.
 25. Muralewicz W.S. Übersicht über die Chilopodenfauna des Kaukasus // *Zoologischer Anzeiger* 69. 1927. P. 27-44.
 26. Zuev R.V. Preliminary data on the millipedes (Diplopoda) from the Stavropol Territory, northern Caucasus, Russia // *Arthropoda Selecta*. 2014. Vol.23. No.4. P. 347-354.
 27. Zuev R.V. Centipedes (Chilopoda) from the Stavropol Territory, northern Caucasus, Russia // *Arthropoda Selecta*. 2016. Vol.25. No.1. P. 23-38.

УДК 553.981

**Харченко В.М. [Harchenko V.M.],
Домарева А.Е. [Domareva A.E.],
Колядова Г.В. [Kolyadova G.V.],
Мочалов В.П. [Mochalov V.P.]**

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ПОИСКОВ, РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА (на примере Величаевско-Колодезного месторождения)

**Innovative technology of operational searching,
exploration and development of oil and gas fields
(Example of the Velichaevo-Kolodez field)**

В предложенной работе излагаются оперативные методы и технология поисков месторождений полезных ископаемых и оценки сейсмичности и экологических условий на основе использования: 1. Современной спутниковой съёмки земной поверхности путём подбора масштабов космоснимков для получения определённого объёма и качества информации; 2. Теоретической основы концепции структур центрального типа, где впервые используется их интерпретация с выделением геодинамических центров, зон сжатия и растяжения, участков их интерференции и узловых точек; 3. Нового метода ландшафтно-геоэкологического картирования, с выделением на картах геолого-тектонической обстановки, структур центрального типа и линеаментов, а также основных элементов ландшафтов (гидросети, особенности рельефа, почв и растительности) и физико-геологических процессов. Согласно предложенной технологии на основе космической съёмки приводятся основные этапы и результаты выполнения научно-исследовательских работ на конкретной территории.

The proposed work outlines the operational methods and technology of prospecting for mineral deposits and estimates of seismicity and environmental conditions based on the use of: 1. Modern satellite imagery of the earth's surface by means of a selection of space images to obtain a certain volume and quality of information; 2. The theoretical basis of the concept of structures of the central type, where for the first time their interpretation is used, with the allocation of geodynamic centers, compression and stretching zones, areas of their interference and nodal points; 3. A new method of landscape geoecological mapping, with the isolation of geological and tectonic environment maps, central-type structures and lineaments, as well as the main elements of landscapes (hydrosets, terrain features, soils and vegetation) and physico-geological processes. According to the proposed technology on the basis of space imagery, the main stages and results of performing scientific research in a particular area are given.

Ключевые слова: космическая съёмка; дешифрирование космических снимков; линеаменты; структуры центрального типа (СЦТ); интерпретация СЦТ; очаги землетрясений; зоны разряжения; зоны сжатия; геодинамические центры; узловых точки; рудные узлы; зоны субвертикальной деструкции; залежи углеводородов; флюидодинамическая модель; закон скалывающих напряжений; геолого-тектоническая модель.
Key words: space survey; decoding of space images; lineaments; structure of the central type (SCT); interpretation of the SCT; foci of earthquakes; zones of rarefaction; zones of compression; geodynamic centers; nodal points; ore sites; zones of subvertical destruction; hydrocarbon deposits; fluid dynamic model; the law of shear stresses; geological-tectonic model.

Введение

Стадии поисков, разведки и эксплуатации месторождений, как известно, растянуты во времени на годы, а то и десятилетия. Поэтому разработка оперативного метода, который предлагается в представленной работе, имеет, прежде всего, громадный выигрыш не только во времени, но имеет и экономический эффект, в плане существенного сокращения геофизических и буровых работ.

Освоение труднодоступных территорий, таких как Западная, Восточная Сибирь, Арктический шельф Северного ледовитого океана, а также акватории морей (например, Карского моря и др.) естественно должно основываться, прежде всего, на применении дистанционных методов, а затем проверяться и подтверждаться сейсмическими и геохимическими методами и поисковым бурением.

Материалы и методы исследования

В настоящее время при поисках, разведки и разработки месторождений нефти и газа приоритет отдан, в первую очередь, сейсмическим работам, как правило, без применения известного давно структурно-геоморфологического и сравнительно дешёвого дистанционного (с использованием космических снимков) методов. Последние в какой-то мере себя дискредитировали из-за поспешных выводов и отсутствия должного теоретического обоснования. В частности, в основном проводился в результате дешифрирования КФС линеаментный анализ с констатированием наличия кольцевых структур, однако, их интерпретация не проводилась. Поэтому, в настоящее время, в условиях конкуренции и экономического кризиса, является актуальным новый подход с интерпретацией СЦТ и разработка в принципе новой технологии наиболее эффективных и оперативных поисков, разведки, разработки нефтяных и газовых месторождений особенно в труднодоступных районах. Таким образом, актуальность оперативных поисков, разведки и разработки МПИ на основе использования современной разномасштабной космической съёмки вполне очевидна, но требуется достаточно убедительно это показать на примерах конкретных территорий.

Результаты и их обсуждение

Новейшая технология основывается на известной концепции СЦТ (структур центрального типа), разработанной автором и другими исследователями [3;8;12;15], где впервые представляется метод их интерпретации с выделением геодинамических центров, зон сжатия и растяжения, участков их интерференции или наложения и узловые точки или зоны субвертикальной деструкции.

На первом этапе исследований, по методу от общего к частному проводится поиск по данным спутниковой съёмки конкретного известного место-

рождения в крупном масштабе с информацией о степени его освоения. В первую очередь, выявляется контур известного месторождения и наличие пробуренных скважин или горных выработок, которые на крупномасштабных космоснимках отображены, как правило, светлыми точками или пятнами на темном фоне с радиальными или своеобразными лучами прямых линий (подъездных путей).

В пределах контура месторождения в результате дешифрирования космического снимка выделяются антропогенные и оконтуривающие месторождения природные объекты, в частности тектонические нарушения – линейменты и дуги-концентры или кольцевые структуры. По существу используется, известный в ландшафтоведении, метод ключевых участков с выделением и изучением природно-территориальных комплексов (ПТК) различного ранга с составлением крупномасштабной ландшафтно-геоэкологической карты, по которой в принципе диагностируется достоверность СЦТ и линейментов различного ранга. При расширении площади исследования за пределы выделенного месторождения, осуществляется ландшафтно-геоморфологическая привязка месторождения, т.е. приуроченности его к вполне определенным элементам ландшафта.

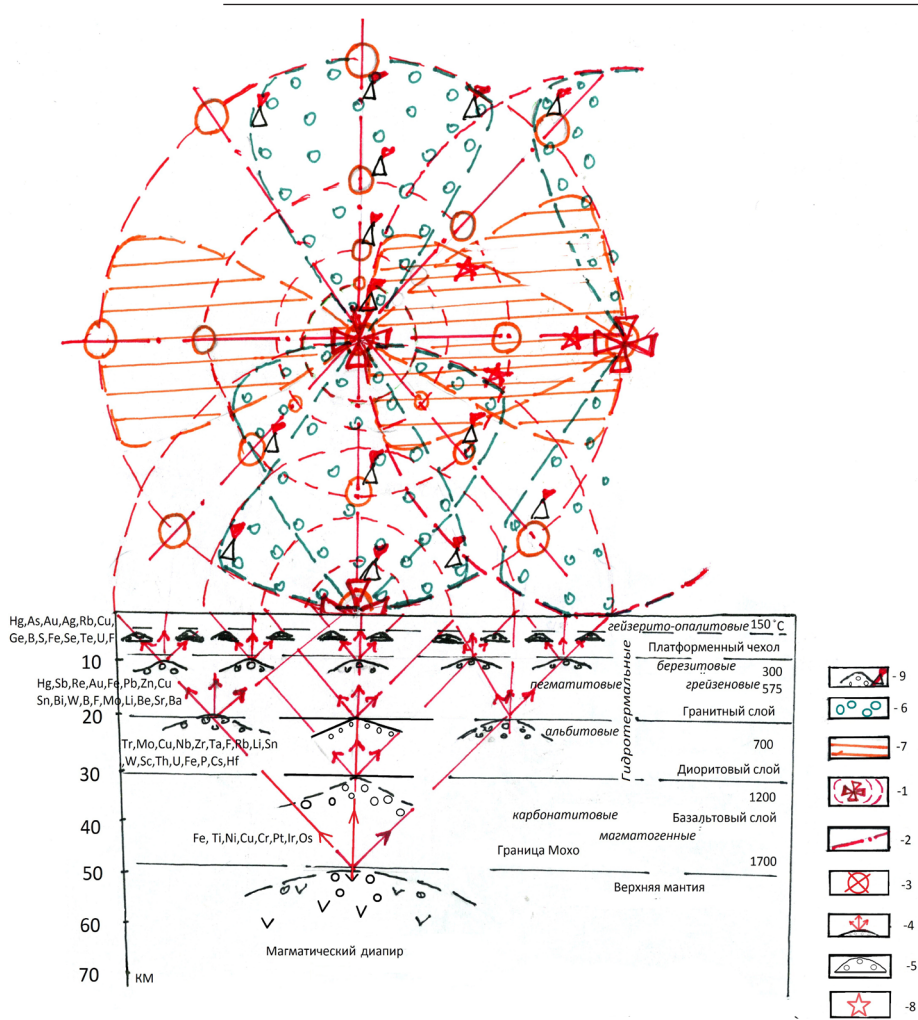
На этом же этапе делается попытка получить конкретный фотопортрет исследуемого месторождения с характерной структурой и текстурой фотопортрета, с аномальными точками, участками или даже зонами, которые в дальнейшем интерпретируются на предмет выявления рудных и нефтегазовых залежей. На предмет рудоносности такой подход является довольно эффективным, так как часто фотоаномалии приурочиваются к геохимическим аномалиям, связанных с рудными узлами, которые методом аналогии переносятся на другие соседние или сходные по геолого-тектоническому строению территории. Что касается нефтегазовых залежей, то они приурочиваются, как правило, к местам наложения кольцевых структур или СЦТ [10; 11] и также к узловым точкам или зонам субвертикальной деструкции [13; 14; 15]. Конкретного фотопортрета месторождения нефти или газа получить никому не удалось, так как прямых дешифровочных признаков для них, вероятно, не существует, поэтому их обнаружение требует несколько других методов, т.е. выявления косвенных дешифровочных признаков и разработки специальных теоретических представлений для их интерпретации. Таким дешифровочным признаком в какой то мере оказались структуры центрального типа и линейменты, образующие в совокупности форму «разбитой тарелки» и участки их интерференции или наложения, которые, как правило, приурочиваются ко всем известным месторождениям нефти и газа практически во всех природных условиях, как континентов, так и океанов. Это доказано автором в своих научных работах, в работах В.Д. Скарятин (1985) [10; 11], в известных последних публикациях по Калининградской области, а также данных Л.В. Милосердовой и др. по приуроченности кольцевых структур к известным месторождениям УВ в России и за рубежом.

Второй этап данных исследований по выявлению залежей УВ основывается на освоении теоретических основ концепции СЦТ и заключается в картировании и достоверном выделении линеаментов и СЦТ по дуговым центрам различных радиусов, начиная с крупного масштаба в контурах известного месторождения, постепенно увеличивая площадь исследования, изменяя масштабы съемок в 2-3 и более раз в зависимости от информативности и необходимости генерализации выделяемых объектов (СЦТ).

Третий этап исследования заключается в интерпретации СЦТ различного размера и построения геолого-тектонической и флюидодинамической моделей. Под интерпретацией СЦТ понимается выделение в плане и разрезе геологических тел или их сочетания с благоприятными условиями для образования, миграции и сохранения рудных и углеводородных залежей. Это в первую очередь по дугам-центрам определяются геодинамические центры, далее по аналогии с моделью очага землетрясения [17] выделяются зоны растяжения и сжатия и участки их интерференции и, наконец, узловые точки - зоны пересечения линеаментов и дуг-центров СЦТ различных размеров (рис. 1).

Предлагаемая модель согласуется с известными теоретическими флюидодинамическими моделями Б.А. Соколова, Ф.А. Алексеева и др., миксгенетической теорией В.П. Гаврилова, полигенетической концепцией А.Н. Дмитриевского и фактически является их практическим воплощением на любой конкретной территории.

Концепция образования структур центрального типа объясняет формирование залежей УВ под действием тектонических напряжений на флюидодинамические системы, которые представляют собой глубинные флюидопроводящие структуры различного ранга, контролирующее размещение как углеводородные так и рудные месторождения и обуславливавшие формирование геофизических и геохимических аномалий над залежами УВ и рудными телами. Проницаемые зоны развиваются в соответствии с действием тектонических напряжений и распространением трещиноватости и разломов, фиксируются в геофизических и геохимических полях, благодаря миграции по ним флюидов и развитию наложенной минерализации. Таким образом, возможно образование залежей УВ двояким путем: за счет глубинного прогрева осадков и подтока флюидов снизу, и путем преобразования органики в осадочной толще также за счет прогрева снизу. Такая схема образования и формирования УВ может объяснить возобновления запасов на разрабатываемых месторождениях и формирование залежей не только в осадочных толщах, но и в кристаллических породах фундамента. «Елочные» или воронкообразные структуры в разрезе и СЦТ в плане в форме «разбитой тарелки», образованные путем действия нормальных и максимальных касательных напряжений и подтверждаемые магнитными, гравитационными и геохимическими аномалиями, могут являться надежными поисковыми признаками залежей УВ. На-



(Согласно Ф.А Алексееву, 1978; О.Ю. Баталина, 2010; В.М. Харченко, 2012)

Рисунок 1. Концептуальная модель формирования рудных и УВ залежей (в плане и разрезе).

и более перспективными на предмет нефти и газа являются СЦТ с минимальными градиентами скоростей вертикальных движений размером по радиусу соответственно 1-5, 5-10 км, зоны их растяжения и узловые точки (места пересечения тектонических разломов).

Для проведения и понимания сути интерпретации СЦТ необходимо как минимум иметь знания и надежные представления о симметрии в природе [16; 18], о симметрии колебательных движений [15; 16; 18], о закономерностях распространения тектонических напряжений и законе скалывающих напряжений [1; 2; 3; 15], о локальных и региональных очагах землетрясений и модели очага землетрясения [7], о геометрической сейсмике [9], о концепции структур центрального типа [3; 8; 13; 14; 15].

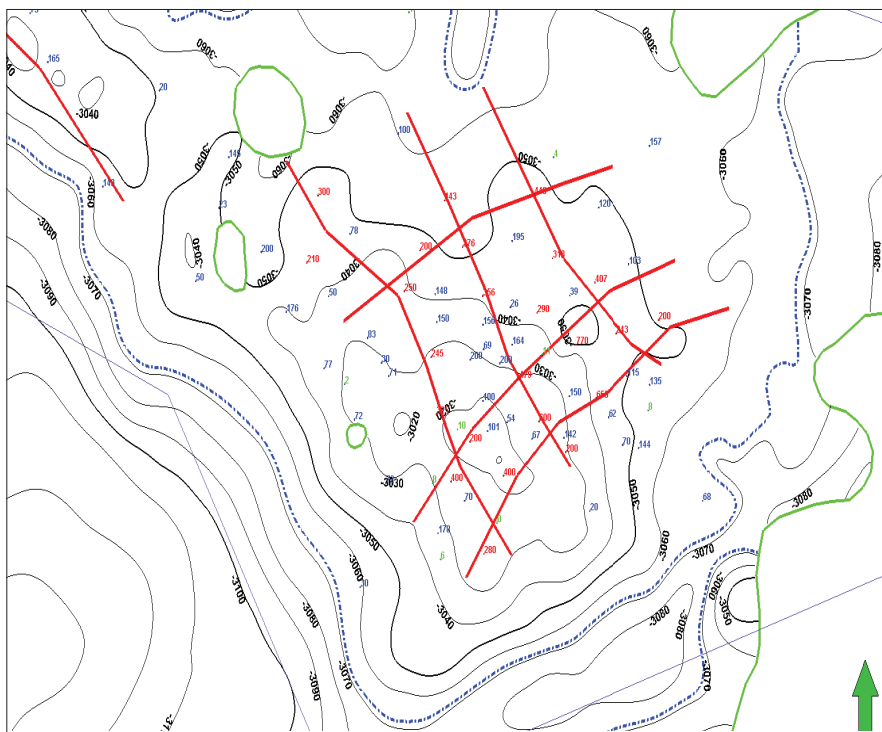
Для подтверждения предложенной технологии приводится наглядный пример сопоставления традиционных данных сейсморазведки и бурения с результатами дешифрирования космического снимка и интерпретации СЦТ и линеаментов по Величаевско-Колодезному месторождению газа Восточно-Предкавказья [4;5].

Величаевско-Колодезное месторождение открыто в 1956 году, введено в разработку в 1957 году. Нефтегазоносность месторождения характеризуется широким стратиграфическим диапазоном продуктивности от триаса до нижнего мела. Рассматривается наиболее охваченный разработкой VIII пласт нижнего мела. Стандартная карта разработки дает слабое представление о распределении добычи по площади, оно в принципе кажется равномерным.

Если соединить между собой скважины с высокой добычей (рис. 2), то получаются линии северо-западного и северо-восточного направлений. Можно было бы предположить, что подобная линейность добычи вызвана особой системой разработки. Разделив скважины по вводу в разработку, ввод скважин можно описать в большей степени «пятнами», чем линиями. Следовательно, линейный характер накопленной добычи, скорее всего, объясняется геологическими, а не техногенными причинами.

Является ли такое линейное распределение добычи случайным или оно присуще всем пластам месторождения? Что бы ответить на этот вопрос, нами проанализированы другие пласты месторождения, и на всех них можно выделить субширотные и субмеридиональные линейные зоны, в большей или меньшей степени, проявленные в зависимости от количества скважин, участвовавших в разработке пласта.

Чтобы разобраться, какой геологический фактор мог повлиять на линейное распределение добычи, нами рассматривались основные геологические параметры залежи: структурный фактор, нефтенасыщенная толщина, высота над контактом, пористость, нефтенасыщенность, удельные запасы пласта. Можно с уверенностью сказать, что ни один из этих параметров не имеет линейного распределения по площади.



Условные обозначения:

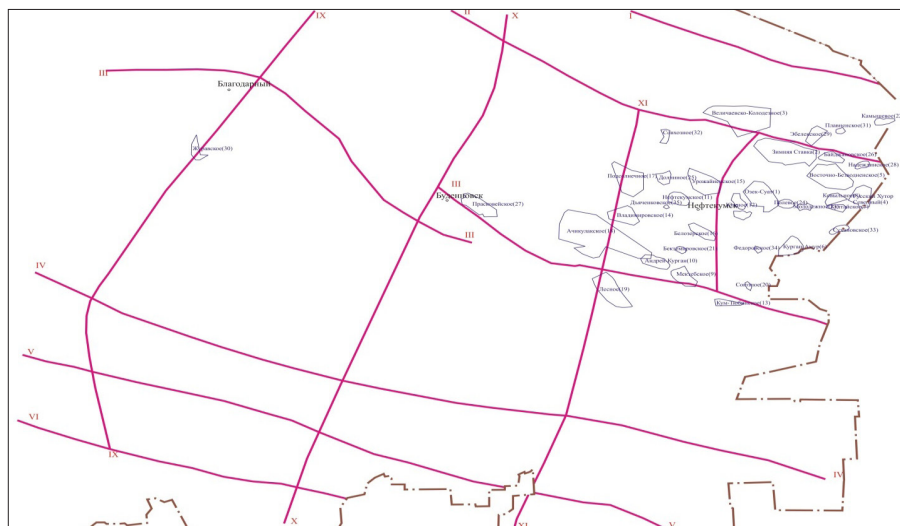
- 210, 101, 2 – добыча нефти в у.е
- контур нефтеносности;
- линия неколлектора
- линии высокой добычи нефти

Рисунок 2.

Накопленная добыча VIII3 пласта нижнего мела по классам скважин.

Вместе с тем, похожий рисунок линейных зон можно увидеть на карте Ставропольского края с нанесенными глубинными разломами и схемы линеаментов поверхности этой территории (рис. 3).

Эти факты позволяют сделать предположение о связи накопленной добычи нефти по скважинам месторождения с тектоническими нарушениями осадочного чехла Величаевско-Колодезного месторождения. С точки зрения современной планетарной геодинамики субмеридиональные разрывные нарушения являются зонами растяжения, а субширотные – зонами сжатия. Уз-



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Линейно-тектонические нарушения (разломы) фундамента:

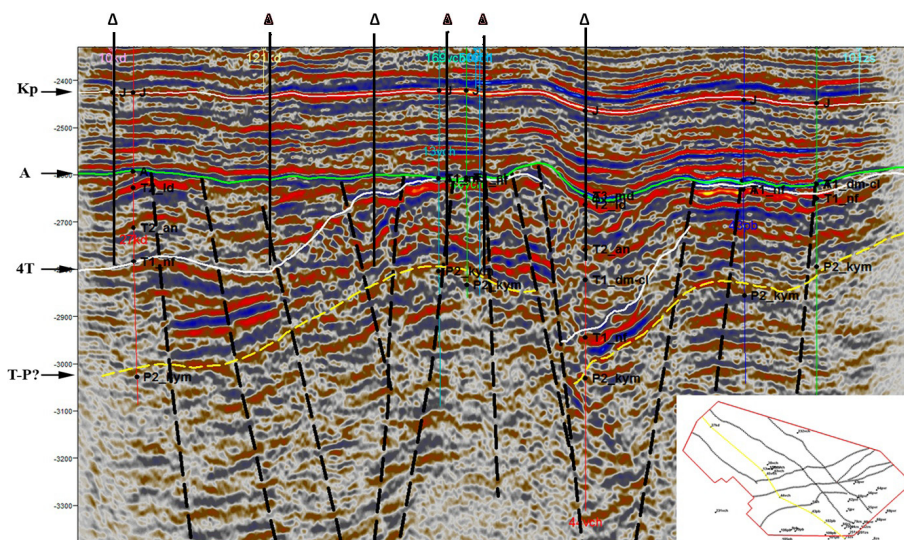
- I Центрально-Маньчжурский разлом
- II Южно-Маньчжурский разлом
- III Предкавказский разлом
- IV Надзорненский разлом
- V Невинномысско-Терский разлом
- VI Черкесский разлом
- IX Восточно-Ставропольский разлом
- X Георгиевско-Арзгирский разлом
- XI Кабардино-Сарпинский разлом
- XII Величаевско-Мектебский разлом

Рисунок 3.

Схема разломов фундамента.

лы пересечения этих зон представляют собой участки, наиболее активные, согласно геодинамическим представлениям, к которым (по опыту работ в Западной Сибири, так называемые «геосолитоны» по данным Р.М. Бембеля, 2010), к которым приурочены высокие дебиты нефти, повышенная обводненность скважин, а также их аварийность. Подобные режимы работы скважин вполне возможны и на исследуемом месторождении, конкретно в узловых точках и участках интерференции СЦТ.

В качестве доказательства возможного наличия разрывных нарушений в осадочном чехле исследуемого месторождения можно отметить, что на временных разрезах 3D сейсморазведки выделяется большое количество разрывных нарушений в фундаменте и в осадочных отложениях нижнего триаса (рис. 4).



Условные обозначения:

-  – скважины с повышенной добычей нефти,
-  – другие скважины
-  – разрывные нарушения

Рисунок 4. Пример выделения разрывных нарушений в нижнем триасе и палеозойском фундаменте на Величаевско-Колодезном месторождении нефти и газа.

Выявленные закономерности особенностей разработки Величаевско-Колодезного месторождения с тектоническими особенностями геологического строения могут быть выявлены в дальнейшем и на других месторождениях Восточного Ставрополя, анализ и обобщение накопленной информации позволит оптимизировать систему разработки этих месторождений.

Согласно изложенной технологии, на первом этапе наших исследований было проведено дешифрирование космического снимка интересующей нас Величаевско-Колодезной площади. В результате чего были выделены структуры центрального типа и их геодинамические центры, серия линейных разломов, впервые выполнена интерпретация СЦТ и линеаментов (рис.5,6).

При интерпретации СЦТ особо выделяются зоны сжатия и растяжения и участки их интерференции (зоны растяжения являются перспективны-

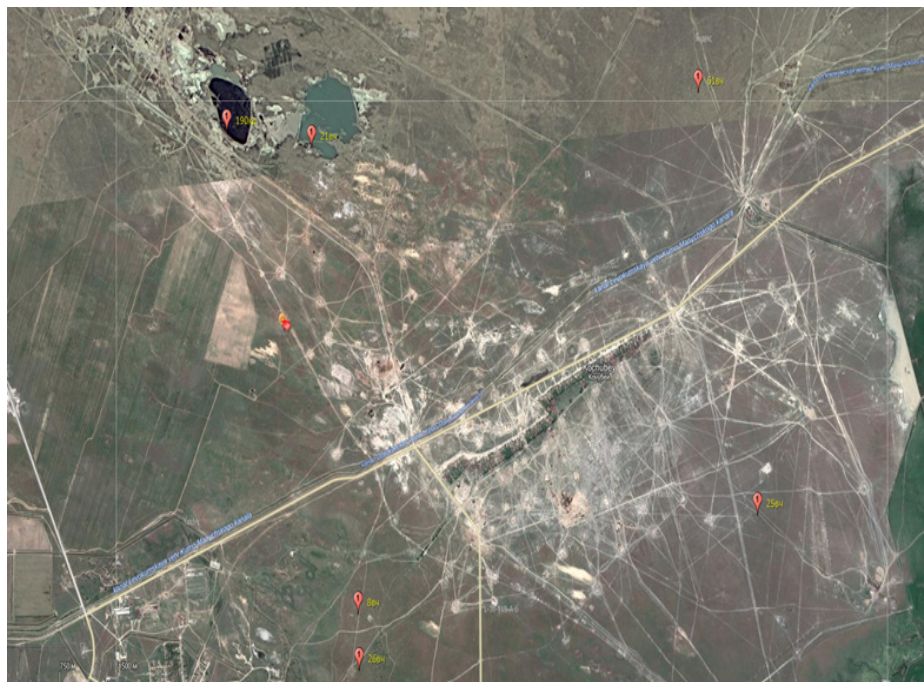


Рисунок 5. Космический снимок крупного масштаба Величаевско-Колодезной площади с характерными белыми точками-пятнами и линиями подъездных дорог-пробуренными буровыми скважинами на нефть и газ.

ми на предмет нефтегазоносности, а зоны сжатия являются благоприятными термобарическими условиями для генерации нефти и газа и перспективными на предмет выделения локальных очагов землетрясений). 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 покрывшей) формируют залежи нефти и газа (рис. 6).

Участки с наложением зон растяжения, (то есть наложение СЦТ одинакового или различного ранга) образуют зону интерференции с максимальной возможностью проницаемости флюидов. Данные участки наиболее перспективны для формирования приразломных ловушек различного типа, что и подтверждается бурением скважин, а именно, скважины, находящиеся в пределах выделенного участка вблизи узловой точки, имеют максимальные дебиты и вскрывают, как правило, разрез с максимальным насыщением коллек-

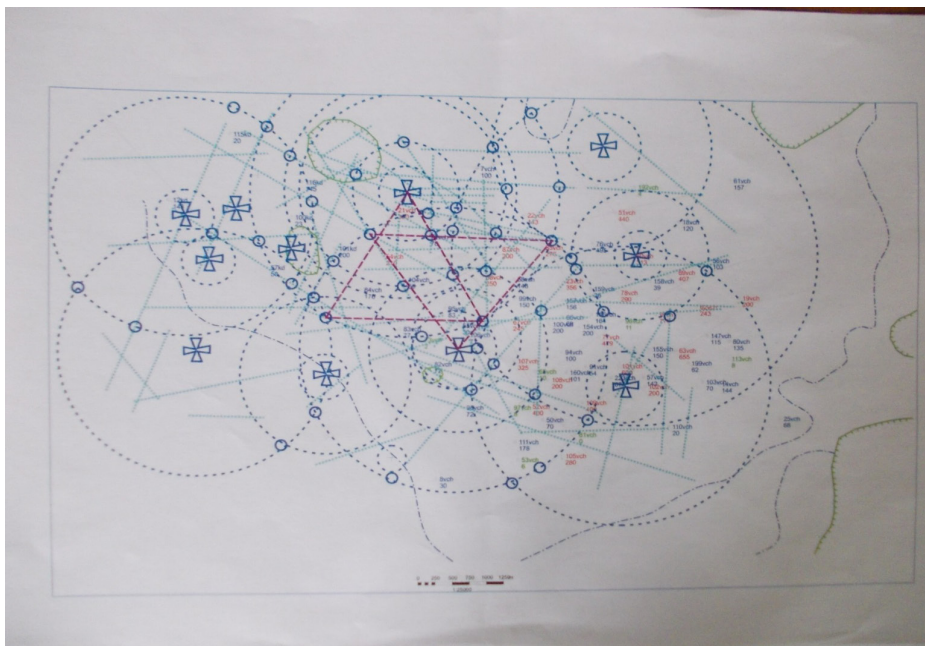


Рисунок 6.

Результаты сопоставления данных интерпретации СЦТ и данных эксплуатационного бурения, где отмечается приуроченность нефтегазоносных скважин к зонам растяжения и участкам их интерференции и отсутствие их в узловых точках, где возможны максимальные дебиты скважин.

торов и количеством этажей нефтегазоносности. В отдельных случаях это подтверждается бурением скважин и сейсмическими исследованиями на Колодезно-Величаевской площади Восточного Предкавказья. Следует особо отметить, что ни одна из пробуренных скважин не попала в узловую точку и не вскрыла естественно пласт и зону субвертикальной деструкции, где должны быть максимальные дебиты.

Выводы и рекомендации:

В результате проведенных исследований выявлено, что продуктивность эксплуатационных скважин пространственно связана с зонами субвертикальной деструкции и участкам наложения СЦТ различного размера, выделяемые как по сейсмическим данным, так и по результатам дешифрирования космических снимков различного масштаба.

Важным преимуществом результатов дешифрирования перед сейсмическими данными является экономический аспект. В этой связи, конкретные результаты дешифрирования носят конфиденциальный характер. Очевидно, что данные полученные по результатам дешифрирования космических снимков, значительно сокращают затраты на проведение сейсморазведки и бурения скважин.

Рекомендуется при поисках, разведке и разработки месторождений нефти и газа проведение работ по дешифрированию космических снимков с интерпретацией СЦТ и линеаментов перед постановкой сейсмических, геохимических исследований и бурения, с целью получения максимальных дебитов эксплуатационных скважин (при разработке месторождений).

С использованием вышеизложенной технологии оперативных поисков МПИ, в том числе нефти и газа, наступает эра новых открытий не только на неизведанных территориях, но и на давно известных месторождениях, особенно нефти и газа.

Библиографический список

1. Гзовский, М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 327 с.
2. Горшков Г.П. Дизъюнктивная тектоника Копет-Дага и закон скалывающих напряжений // Вестник МГУ. 1947. №1. С. 103-115.
3. Ежов Б.В., Худяков Г.И. Морфоструктуры центрального типа и глубинные геофизические разделы: Докл. АН СССР. М.: 1982 г. № 3 (265). С. 667-669.
4. Милосердова Л.В., Тунг Фи Мань Космические образы месторождений нефти и газа // Теоретические основы и технология поисков и разведки нефти и газа. 2012. №1. С. 59-62.
5. Нелепов М.В., Логвинова Т.В., Лиховид А.А. Закономерности изменения продуктивности нефтяных скважин Величаевско-Колодезного месторождения // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2013. № 6 (39). С. 54-58.
6. Нелепов М.В., Харченко В.М., Нелепов С.В., Ибрагимова Т.В. Влияние тектонических факторов осадочного чехла на добычу углеводородов в скважинах месторождений Ставрополя // Материалы международной научной конференции. Ставрополь, 2015. С. 70-72.
7. Певнев А.К. Пути к практическому прогнозу землетрясений. М.: ГЕОС, 2003. 153с.
8. Петров А.И. О механизме образования структур центрального типа / А.И. Петров // Советская геология. М., 1969. № 9. С. 139-145.
9. Сейсморазведка: справочник геофизика / под ред. В.П. Номоконова. М.: Недра, 1990, кн.1, изд. 2. 336 с.
10. Скарятин В.Д., Атанасян С.В. Кольцевые структуры Предкавказья // Тезисы докладов VI Краевой конференции по геологии

- и полезным ископаемым Северного Кавказа. Ессентуки, 1985. С. 168-169.
11. Скарятин, В.Д. Нефтяные скопления – баланс прихода и ухода углеводородов // Мат-лы международной конференции: Нефтегазоносные системы осадочных бассейнов. М.: ГЕОС, 2006. С. 416-417.
 12. Соловьев В.В. Морфоструктурный метод изучения глубинного строения литосферы. Л.: Труды ЛОЕ, 1883. Т. 77. Вып. 2. С. 25-33.
 13. Харченко В. М., Перлик В.А., Кузнецова А.А. К вопросу о природе бугров Бэра // Астраханский ГУ, Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. 2009. №3 (14). С. 66-71.
 14. Харченко В.М. Структуры центрального типа, их связь с месторождениями полезных ископаемых (на примере объектов Предкавказья и сопредельных территорий): автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Ставрополь, 2012. 49 с.
 15. Шафрановский И.И. Симметрия в природе. Л.: Недра, 1985. 165 с.
 16. Шебалин Н.В. Проблемы макросейсмики // Вычислительная сейсмология. Вып. 14. М.: ГЕОС, 2003. С. 55-210.
 17. Шубников А.В. Симметрия: законы симметрии и их применение в науке, технике и прикладном искусстве. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 176 с.

References

1. Gzovsky M.V. Osnovi tektonofiziki (Fundamentals of Tectonophysics). M.: Nauka, 1975. 327 p.
2. Gorshkov G.P. Dizuktivnaya tektonika Kopen-Daga i zakon skali-vayoshikh napryazhenii (Disjunctive tectonics of the Kopet-Dag and the law of the shear stress) // Vestnik MGU, 1947. №1. Pp. 103-115.
3. Ezhov B.V., Khudyakov G.I. Morfostrukturi tsentral'nogo tipa i glubinnii geofizicheskie razdeli (Morphostructures of the Central type and deep geophysical sections): Dokl. AN SSSR. M., 1982. №3 (265). Pp. 667-669.
4. Miloserdova, L.V., Tung Fi Man' Kosmicheskiye obrazy mestorozhdeniy nefi i gaza (Space images of oil and gas fields) // Teoreticheskiye osnovy i tekhnologiya poiskov i razvedki nefi i gaza, 2012. №1. Pp. 59-62.
5. Nelepov M.V., Logvinova T.V., Likhovid A.A. Zakonomernosti izmeneniya produktivnosti neftyanykh skvazhin Velichayevsko-Kolodeznogo mestorozhdeniya (Regularities of changes in the productivity of oil wells Velichaevsko-Kolodeznogo field) // Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta, 2013. № 6 (39). Pp. 54-58.

6. Nelepov M.V., Kharchenko V.M., Nelepov S.V., Ibragimova T.V. Vliyaniye tektonicheskikh faktorov osadochnogo chekhla na dobychu uglevodorodov v skvazhinakh mestorozhdeniy Stavropol'ya (The influence of tectonic factors of the sedimentary cover on hydrocarbon production in wells of oil fields Stavropol) // Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Stavropol', 2015. Pp. 70-72.
7. Pevnev A.K. Puti k prakticheskomu prognozu zemletryaseniy (The way to practical earthquake prediction). M.: GEOS, 2003. 153 p.
8. Petrov A.I. O mekhanizme obrazovaniya struktur tsentral'nogo tipa (About the mechanism of formation of structures of the central type). Sovetskaya geologiya. M., 1969. № 9. Pp. 139-145.
9. Seysmorazvedka: spravochnik geofizika (Seismic survey: handbook of geophysics) / pod redaktsiyey V.P. Nomokonova. M.: Nedra, 1990. kn.1, izd. 2. 336 p.
10. Skaryatin V.D., Atanasyan S.V. Kol'tsevyye struktury Predkavkaz'ya (The ring structure of the Ciscaucasia) / Tezisy dokladov VI Krayevoy konferentsii po geologii i poleznym iskopayemym Severnogo Kavkaza. Yessentuki, 1985. Pp. 168-169.
11. Skaryatin V.D. Neftyanyye skopleniya – balans prikhoda i ukhoda uglevodorodov (Petroleum accumulations – the balance of arrival and departure hydrocarbons) // Mat-ly mezhdunarodnoy konferentsii: Neftgazonosnyye sistemy osadochnykh basseynov. M.: GEOS, 2006. Pp. 416–417.
12. Solov'yev V.V. Morfostrukturnyy metod izucheniya glubinnogo stroyeniya litosfery (The morphological method of studying the deep structure of the lithosphere). L.: Trudy LOE, 1883. T.77. vyp.2. pp.25-33.
13. Kharchenko V. M., Perlik V.A., Kuznetsova A.A. K voprosu o prirode bugrov Bera (To the question about the nature of Baer's mounds) // Yuzhno-Rossiyskiy vestnik geologii, geografii i global'noy energii. Astrakhanskiy GU, 2009. №3 (14). Pp. 66-71
14. Kharchenko V.M. Struktury tsentral'nogo tipa, ikh svyaz' s mestorozhdeniyami poleznykh iskopayemykh (na primere ob"yektov Predkavkaz'ya i sopredel'nykh territoriy). Doct.Diss. Abstract (The structures of the central type, their relationship to mineral deposits (for example, objects of Ciscaucasia and adjacent territories). Doct. Diss. Abstract). Stavropol', 2012. 49 p.
15. Shafranovskiy, I.I. Simetriya v geologii (Symmetry in Geology). L.: Nedra, 1975. 165 p.
16. Shebalin, N.V. Problemy makroseysmiki (Problems macroseismic) // Vychislitel'naya seysmologiya. Vyp.14. M.: GEOS, 2003. P. 55-210.
17. Shubnikov, A.V. Simmetriya: zakony simmetrii i ikh primeneniye v nauke, tekhnike i prikladnom iskusstve (Symmetry: the symmetry laws and their application in science, technology and applied arts). M.: Izd-vo AN SSSR, 1940. 176 p.

УДК 615.322

Супрунчук В.Е. [Suprunchuk V.E.],
Денисова Е.В. [Denisova E.V.]

ФУКОИДАНСОДЕРЖАЩИЕ МИКРОКАПСУЛЫ, СФОРМИРОВАННЫЕ РЕАКЦИЕЙ МАЙЯРА НА РАЗЛИЧНЫХ НОСИТЕЛЯХ

Fucoidan-containing microcapsules formed on different matrices with the use of the maillard reaction

В данной работе исследуется возможность формирования многослойных микрокапсул на носителях различной природы, таких как мезопористые ватеритные частицы CaCO_3 и полистирольные частицы, в качестве биополимеров – фукоидан и бычий сывороточный альбумин (БСА). Оценка размеров была осуществлена методами динамического рассеяния света (ДРС) и сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), форма – методами оптической микроскопии и СЗМ. В результате работы установлены условия формирования микрокапсул с применением реакции Майяра, а также зависимость размера микрокапсул от природы носителя.

In this paper, we investigate the possibility of forming multi-layered microcapsules containing fucoidan on matrices of different nature. As carriers were used vaterite mesoporous CaCO_3 particles and polystyrene particles. As biopolymers have been used fucoidan and bovine serum albumin (BSA). Measuring the size of the obtained microcapsules was carried out using the method of dynamic light scattering (DLS) and scanning probe microscopy (SPM). Optical microscopy and SPM was used to establish the shape of the microcapsules. The work has also identified conditions for the formation of microcapsules with the use of the Maillard reaction and the dependence of the size of the microcapsules of the nature of the media.

Ключевые слова: реакция Майяра, фукоидан, БСА, микрокапсулы.

Key words: the Maillard reaction, fucoidan, BSA, microcapsule.

Введение

В настоящее время существует множество методов получения микрокапсул на основе природных полимеров. Они получили широкое применение в области биотехнологии, косметологии, фармакологии и медицины, что связано с высокой биодоступностью исходных компонентов. Использование микрокапсул как системы доставки позволяет повысить эффективность действия лекарственных веществ за счет оптимизации их биораспределения и токсикодинамики. С их помощью возможна доставка ферментов при энзимотерапии. Благодаря развитию генной инженерии, в микрочастицы осуществляется капсуляция не только лекарственных веществ, но и генов, которые помогут в лечении наследственных заболеваний.

Формирование микрокапсул и микрочастиц на основе природных полимеров осуществляется в виде различных типов межмолекулярных взаимодействий, приводящих к созданию определенных видов связей. Известно, что возможно образование связей как ковалентной природы, так и не ковалентной, формирование которых происходит в результате электростатического взаимодействия между биополимерами, несущими противоположные заряды. Микрочастицы могут быть образованы при смешивании растворов двух полисахаридов.

Так нековалентное взаимодействие положительно заряженного хитозана и несущего отрицательный заряд фукоидана приводит к образованию конъюгатов, получивших название «фукосферы» [9]. Для выравнивания распределения микрочастиц по размерам раствор полисахаридов обрабатывают ультразвуком.

Примером микрочастиц, основанных на ковалентном взаимодействии являются БСА/фукоидан конъюгаты, сформированные с помощью реакции Майяра. Kim D. с соавторами [3] проводили реакцию при 60 °C в течение 96 ч. С помощью гель-хроматографии и электрофореза (SDS-PAGE) было доказано наличие ковалентных связей. Кроме того, определено количественное соотношение исходных компонентов: на 1 моль БСА приходится 1,5-2 моль фукоидана. Ковалентная конденсация по реакции Майяра улучшает эмульгирующие свойства, повышает устойчивость частиц к тепловой денатурации и стабильность при низких значениях pH (≈ 5) [4].

В данной работе рассматривается возможность формирования полых микрокапсул на носителях органической и неорганической природы, с последующим использованием для капсуляции биологически активных веществ. В качестве носителей использовали полистирольные микросферы и высокопористые ватеритные частицы CaCO_3 , основным достоинством последних является возможность их разрушения в мягких условиях. В качестве биополимеров выбрали фукоидан и БСА. Фукоидан бурых водорослей является высокосульфатированным гетерополисахаридом, обладающим антикоагулянтным [8], иммуномодулирующим [2], противовоспалительным [5] и другими биологически активными свойствами. Кроме того, он способен модифицировать свойства поверхности клетки. Фукоидан в оболочке микрочастицы может взаимодействовать с макрофагами [6]. Высокосульфатированный фукоидан увеличивает миграцию эндотелиальных клеток и усиливает образование сети микрососудов [7]. Низкомолекулярный фукоидан существенно увеличивает жизнеспособность клеток 7F2, способствует остеогенной дифференцировке, установленной *in vitro* [1]. Однако, несмотря на обширные возможности применения фукоидана, остается малоизученным его использование в качестве компонента микрокапсул, применяемых для доставки лекарственных средств.

Оценка размеров была осуществлена методами динамического рассеяния света (ДРС) и сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), форма – методами оптической микроскопии и СЗМ.

Материалы исследования

Известно несколько способов получения микрочастиц CaCO_3 , в том числе имеющих различную полиморфную модификацию. В данной работе было осуществлено приготовление мезопористых ватеритных микросфер CaCO_3 , полученных при смешивании эквимольных растворов Na_2CO_3 и CaCl_2 по методике [10]. Для этого к 10 мл 0,33 М Na_2CO_3 при постоянном перемешивании на магнитной мешалке прикапывали в течение нескольких минут 10 мл 0,33 М CaCl_2 . Полученные микросферы дважды промывали водой, сушили при 60–65 °С до сохранения постоянной массы. Затем вносили в раствор БСА (1 мг/л) до конечной концентрации 0,5% при постоянном перемешивании. Полученную суспензию использовали для приготовления микрокапсул I (МК I). Для формирования микрокапсул II (МК II) использовали аналогичную систему, где частицы CaCO_3 были заменены на синтетические полистирольные микросферы (Hirschberg an der Bergstrasse, Германия). Дальнейшее формирование микрокапсул осуществлялось по оптимизированной методике, описанной в работе [11]. Для этого к 1 мл суспензии, содержащей БСА и частицы CaCO_3 /полистирольные частицы, при постоянном перемешивании на магнитной мешалке вносили такой же объем 1,5 % раствора фукоидана в фосфатном буфере (рН 7,4), повышали температуру до 60–65 °С. Центрифугировали (3,500 × g, 30 мин), промывали дистиллированной водой. Вносили 1 мл БСА (1 мг/л) при 60–65 °С, промывали. Каждое нанесение повторяли 5 раз. Затем микрокапсулы обрабатывали 0,1 М HCl для удаления ядра, доводя рН до 4. МК II дополнительно обрабатывали ТГФ в течение 12 ч. После чего оба образца центрифугировали (3,500 × g, 30 мин) и промывали.

Размер полученных микрокапсул после удаления ядра оценивали методом ДРС и методом СЗМ. Исследование с помощью ДРС осуществляли на спектрометре PHOTOCOR COMPLEX ((ООО «Антекс-97», Россия). Программное обеспечение FAST Version 2.8.3. (Alango Ltd.) осуществляет расчет по формуле Стокса–Эйнштейна, что позволяет получить оптимальное распределение по размерам микрочастиц. Возможность изменения диаметра микрокапсул после удаления матрицы определяли на оптическом микроскопе Motic со встроенной цифровой камерой DM-111 при увеличении 100 × 0,65.

Обсуждение результатов

В работе были получены мезопористые микросферы CaCO_3 диаметром 2–5 мкм, что согласуется с данными работы [13], где отмечается наличие фракции субмикронного размера ($315,000 \pm 0,200$ мкм). При получении частиц CaCO_3 нами так же была обнаружена часть микросфер сущес-

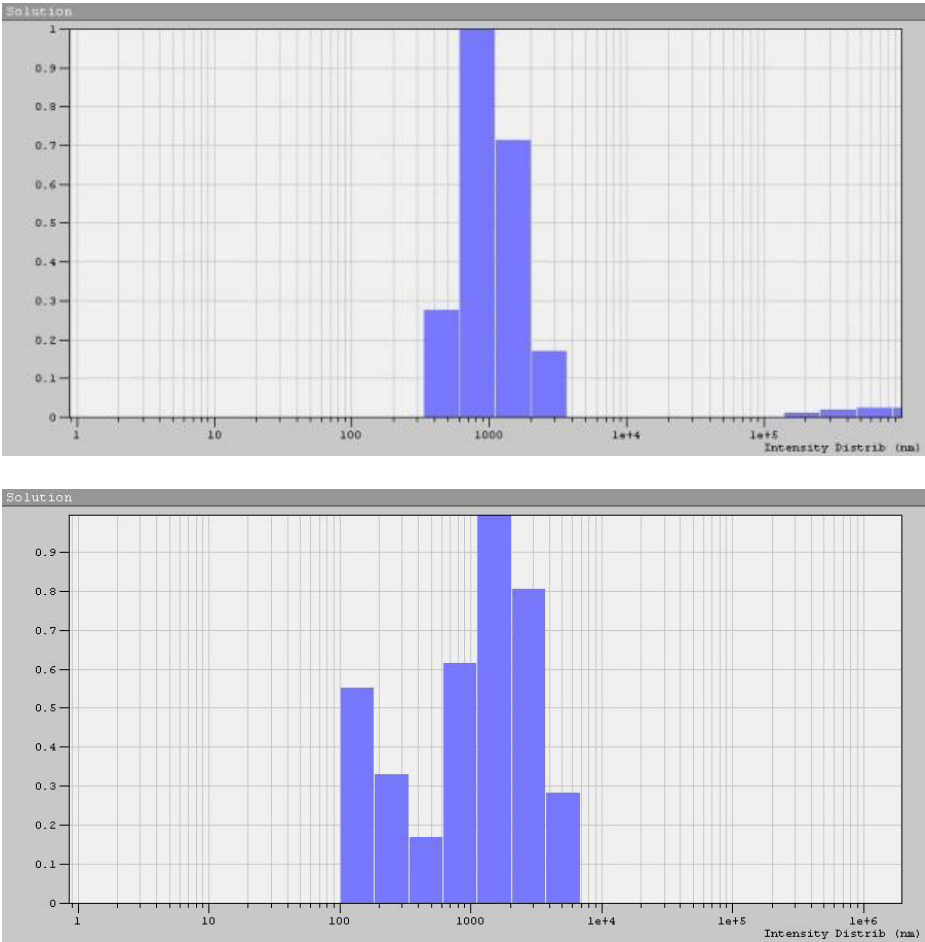


Рис. 1. Профиль распределения микрокапсул по размеру, полученный методом ДРС
где: а – МК I;
б – МК II.

Таблица 1. РАЗМЕРЫ ФУКОИДАНСОДЕРЖАЩИХ МИКРОКАПСУЛ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ МЕТОДОМ СЗМ И ДРС

Метод измерения \ Природа носителя	Размер микрокапсул, мкм			
	МК I		МК II	
	Фракция А	Фракция В	Фракция А	Фракция В
ДРС	2,380 ± 0,670	6,800 ± 0,400	0,370 ± 0,065	4,208 ± 0,130
СЗМ	0,256 ± 0,150	–	0,230 ± 0,110	–

твенно меньшего размера ($0,215 \pm 0,080$ мкм). Установленный экспериментально размер полистирольных микрочастиц составил $0,150 \pm 0,120$ мкм.

В результате проведения анализа гидродинамического диаметра многослойных микрочастиц методом ДРС было выявлено наличие двух фракций как для МК I, так и для МК II. При этом следует отметить, что размеры микрокапсул порядка нескольких нанометров, имеющие малый вклад в изменение интенсивности (менее 5%), отбрасывали. Первая фракция имеет микронный (Фракция В), вторая – субмикронный размер (Фракция А) (рис. 1).

Диаметр микрокапсул фракции В для МК I и МК II составил $6,800 \pm 0,400$ и $4,208 \pm 0,130$ соответственно (табл. 1).

В результате работы установлено, что фракция А МК II, имеет схожие размеры при измерении методом СЗМ и ДРС, составляет $0,230 \pm 0,110$ и $0,370 \pm 0,065$ соответственно. При сравнении измерений фракции А МК I наблюдаются более высокие показатели для метода ДРС ($2,380 \pm 0,670$), в отличии от СЗМ ($0,256 \pm 0,150$) (рис. 2).

Данное увеличение параметров объясняется тем, что в методе ДРС частицы схожих размеров плохо различимы, но в тоже время вклад в интенсивность для частиц разного размера различен (с увеличением размера вклад в

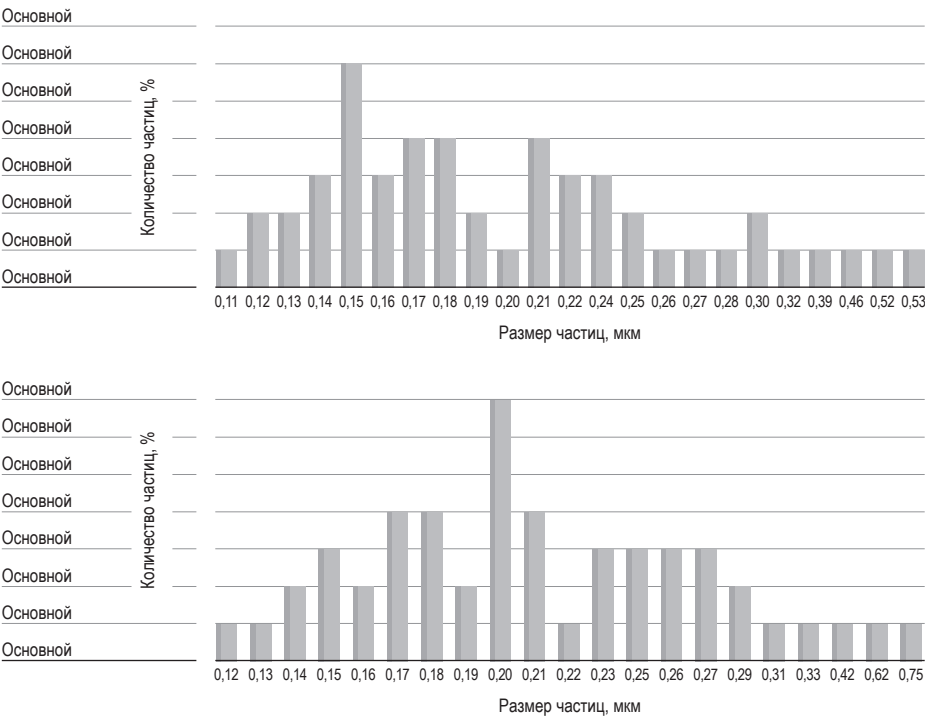


Рис. 2. Профиль распределения микрокапсул по размеру, полученный методом СЗМ
где: а – МК I; б – МК II.

интенсивность увеличивается). Поэтому данные показатели могут свидетельствовать о присутствии некоторых количеств более крупных микрокапсул. Кроме того, измерение с помощью метода ДРС проводится в растворе, что приводит к росту размера за счет формирования гидратной оболочки.

Согласно данным оптической микроскопии и СЗМ установлено, что микрокапсулы МК I и МК II имеют форму, близкую к сферической, что согласуется с результатами, полученными в работе [3].

Выводы

- 1) В результате работы реакцией Майяра получены многослойные микрокапсулы на основе природных полимеров (БСА/фукоидан) на носителях неорганической (CaCO_3) и органической (полистирол) природы.
- 2) Осуществлена оценка размеров полученных микрокапсул методами ДРС и СЗМ.
- 3) Методом ДРС в обеих системах МК I и МК II была установлена полидисперсность и выявлено наличие двух фракций (А и В).
- 4) Фракция А МК I имеет схожие размеры при измерении методами СЗМ и ДРС.
- 5) Метод ДРС при измерении фракции А МК II дает более высокие показатели в отличие от СЗМ.
- 6) Согласно данным полученным оптической микроскопии и СЗМ, установлено, что микрокапсулы МК I и МК II имеют форму, близкую к сферической.
- 7) Исследование размера частиц методом СЗМ для крупной фракции нецелесообразно в связи с трудностью прохождения зонда по их поверхности.

Библиографический список

1. Hwang P. A. et al. The brown seaweed *Sargassum hemiphyllum* exhibits α -amylase and α -glucosidase inhibitory activity and enhances insulin release in vitro // *Cytotechnology*. – 2015. – Т. 67, №. 4. – С. 653-660.
2. Khil'chenko S. R. et al. Immunostimulatory activity of fucoidan from the brown alga *Fucus evanescens*: role of sulfates and acetates // *Journal of Carbohydrate Chemistry*. – 2011. – Т. 30, №. 4-6. – С. 291-305.
3. Kim D. Y., Shin W. S. Characterisation of bovine serum albumin-fucoidan conjugates prepared via the Maillard reaction // *Food chemistry*. – 2015. – Т. 173. – С. 1-6.

4. Kim D. Y., Shin W. S. Functional improvements in bovine serum albumin–fucoidan conjugate through the Maillard reaction // *Food chemistry*. – 2016. – Т. 190. – С. 974-981.
5. Lee S. H. et al. Anti-inflammatory effect of fucoidan extracted from *Ecklonia cava* in zebrafish model // *Carbohydrate polymers*. – 2013. – Т. 92, № 1. – С. 84-89.
6. Lira M. C. B. et al. Cytotoxicity and cellular uptake of newly synthesized fucoidan-coated nanoparticles // *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics*. – 2011. – Т. 79, № 1. – С. 162-170.
7. Marival N. et al. 0024: Angiogenesis potentialized by highly sulfated fucoidan: role of the chemokines and the proteoglycans // *Archives of Cardiovascular Diseases Supplements*. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 148.
8. Nagumo T., Nishino T. Fucan sulfates and their anticoagulant activities // *Polysaccharides in medicinal applications*. – 1996. – С. 545-574.
9. Sezer A. D., Akbuğa J. Fucosphere—new microsphere carriers for peptide and protein delivery: preparation and in vitro characterization // *Journal of microencapsulation*. – 2006. – Т. 23, № 5. – С. 513-522.
10. Volodkin D.V., Larionova N.I., Sukhorukov G.B. Protein encapsulation via porous CaCO₃ microparticles templating // *Bio-macromolecules*. – 2004. – Т. 5. – № 5. – С. 1962-1972.
11. Супрунчук В.Е., Денисова Е.В. Белок-полисахаридные микрокапсулы, сформированные на матрицах различной природы // *Наука. Инновации. Технологии*. – № 2. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2017. – С. 199-207.
12. Шолина Е.А., Филатова Л.Ю., Киржанова Е.А., Балабушевич Н.Г. Полиэлектrolитная система доставки лекарственных средств с использованием муцина // *Актуальные вопросы биологической химии и физики*. – 2016. – № 2. – С. 82-86.

References

1. Hwang P. A. et al. The brown seaweed *Sargassum hemiphyllum* exhibits α -amylase and α -glucosidase inhibitory activity and enhances insulin release in vitro // *Cytotechnology*. – 2015. – Т. 67, № 4. – С. 653-660.
2. Khil'chenko S. R. et al. Immunostimulatory activity of fucoidan from the brown alga *Fucus evanescens*: role of sulfates and acetates // *Journal of Carbohydrate Chemistry*. – 2011. – Т. 30. № 4-6. – С. 291-305.
3. Kim D. Y., Shin W. S. Characterisation of bovine serum albumin–fucoidan conjugates prepared via the Maillard reaction // *Food chemistry*. – 2015. – Т. 173. – С. 1-6.
4. Kim D.Y., Shin W.S. Functional improvements in bovine serum

- albumin–fucoidan conjugate through the Maillard reaction //Food chemistry. – 2016. – Т. 190. – С. 974-981.
5. Lee S. H. et al. Anti-inflammatory effect of fucoidan extracted from *Ecklonia cava* in zebrafish model // Carbohydrate polymers. – 2013. – Т. 92, № 1. – С. 84-89.
 6. Lira M. C. B. et al. Cytotoxicity and cellular uptake of newly synthesized fucoidan-coated nanoparticles // European journal of pharmaceuticals and biopharmaceutics. – 2011. – Т. 79, № 1. – С. 162-170.
 7. Marinval N. et al. 0024: Angiogenesis potentialized by highly sulfated fucoidan: role of the chemokines and the proteoglycans //Archives of Cardiovascular Diseases Supplements. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 148.
 8. Nagumo T., Nishino T. Fucan sulfates and their anticoagulant activities // Polysaccharides in medicinal applications. – 1996. – С. 545-574.
 9. Sezer A. D., Akbuğa J. Fucosphere – new microsphere carriers for peptide and protein delivery: preparation and in vitro characterization // Journal of microencapsulation. – 2006. – Т. 23, № 5. – С. 513-522.
 10. Volodkin D.V., Larionova N. I., Sukhorukov G. B. Protein encapsulation via porous CaCO₃ microparticles templating //Biomacromolecules. – 2004. – Т. 5. – № 5. – С. 1962-1972.
 11. Suprunchuk E.V., Denisova E.V. Protein-polysaccharide microcapsules formed on the matrix of different nature // Science. Innovation. Technology. – №. 2. – Stavropol: NCFU, 2017. – P. 199-207.
 12. Salina E.A., Filatova L.Y., Kirzhanova E.A., Balabushevich N.G. Polyelectrolyte delivery system for medicines using the mucin // Topical issues of biological physics and chemistry. – 2016. – № 2. – P. 82-86.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

«Наука. Инновации. Технологии», №4, 2017

Антипов Станислав Олегович – аспирант кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (г. Ставрополь). Телефон: +7(928) 654-73-34. E-mail: antistas@yandex.ru.

Белозеров Виталий Семенович – доктор географических наук, профессор, советник при ректорате, заведующий кафедрой социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: (8652) 95-68-00, (доб. 49-91). E-mail: vsbelozerov@yandex.ru.

Берберян Арсен Оганесович, кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета; адрес: г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1. Телефон: (8652) 35-84-34. E-mail: eco.skfu@gmail.com

Бондарь Елена Васильевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и природопользования Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: (8652) 911-20-81. E-mail: evbondar68@gmail.com

Волкова Валентина Валентиновна, научный сотрудник лаборатории интродукции тропических растений Ставропольского ботанического сада имени В.В. Скрипчинского - филиала Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра; адрес: г. Ставрополь, ул. Ленина, 478. Телефон: (8652) 56-03-75. E-mail: lotos026@mail.ru.

Гасумов Рустам Рамизович, кандидат технических наук, директор научного центра по строительству, эксплуатации и ремонту скважин АО «СевКавНИПИгаз». Телефон: 88652358077. E-mail: GasumovRR@scnipgaz.ru

Гришанина Ольга Алексеевна, заведующая кафедрой дизайна и рекламы, Ставропольский филиал Московского педагогического государственного университета. 355042 г. Ставрополь, ул. Доваторцев, 66Г. Тел. +7-918-741-08-06 e-mail: grishanina_o_a@mail.ru

Денисова Евгения Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биомедицины и физиологии Института живых систем Северо-Кавказского федерального университета. Телефон (8652) 33-08-53. E-mail: den_ev@mail.ru

Димитриади Юлианна Константиновна, кандидат технических наук, и.о. заведующего кафедрой строительства нефтяных и газовых скважин Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: 8865295-68-00, 5230. E-mail: ngs@ncstu.ru

Домарева Алина Евгеньевна, ассистент кафедры геологии нефти и газа Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: 8-905-445-21-79. E-mail: alina-domareva@rambler.ru.

Зуев Роман Владимирович, ассистент кафедры общей биологии и биоразнообразия Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: 8-(988)-755-42-50. Email: romus00@yandex.ru.

Калита Диана Ивановна, старший преподаватель кафедры информационных систем и технологий ИИТТ ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».

Колядова Галина Валентиновна, аспирант кафедры геологии нефти и газа Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: (962)-001-84-90. E-mail: Geya-313@mail.ru

Литвин Дмитрий Борисович, заведующий кафедрой математики, Ставропольский государственный аграрный университет, 355000 г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, тел: +7-918-793-14-86, e-mail: litvin-372@yandex.ru

Лиховид Андрей Александрович, доктор географических наук, кандидат биологических наук, профессор, проректор по научной работе и стратегическому развитию, профессор кафедры экологии и природопользования института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета; адрес: г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1. Телефон: (8652) 95-64-87. E-mail: alikhovid@ncfu.ru

Лиховид Наталья Геннадьевна, доктор биологических наук, профессор кафедры общей биологии и биоразнообразия института живых систем Северо-Кавказского федерального университета; адрес: г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, корпус № 3.. Телефон: (8652) 33-08-55. E-mail: likhovid@rambler.ru

Лиховид Наталья Геннадьевна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры общей биологии и биоразнообразия института живых систем Северо-Кавказского федерального университета; адрес: г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, корпус № 3. Телефон: (8652) 33-08-55. E-mail: likhovid@rambler.ru

Лукьянов Владимир Тимофеевич, доктор технических наук, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: 88652940096. E-mail: RANGM26@yandex.ru

Ляхов Павел Алексеевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики и математического моделирования. Северо-Кавказский федеральный университет, Институт математики и естественных наук.

Мишвелов Евгений Георгиевич, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и природопользования института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета; адрес: г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1. Телефон: (8652) 35-84-34. E-mail: eco.skfu@gmail.com

Наац Виктория Игоревна, доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики и математического моделирования, Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: 8-918-744-82-89. E-mail: vinaac@yandex.ru

Наац Игорь Эдуардович, Доктор физико-математических наук, Ведущий научный сотрудник института повышения квалификации и научно-педагогических кадров Северо-Кавказского федерального университета (СКФУ). Телефон (8-652) 35-21-10 (1154). E-mail naatsie@yandex.ru

Осадчая Ирина Леонидовна, кандидат технических наук, ученый секретарь аппарата при руководстве АО «СевКавНИПИгаз». Телефон: 88652355641. E-mail: Osadchayall@scnipigaz.ru

Пещанская Екатерина Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории флоры и растительности Ставропольского ботанического сада имени В.В. Скрипчинского - филиала Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра; адрес: г. Ставрополь, ул. Ленина, 478. Телефон: (905) 447-18-70. E-mail: ekaterina108@mail.ru.

Рыскаленко Роман Андреевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики и математического моделирования Института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета (СКФУ). Телефон 8-918-751-92-82. E-mail azerton@yandex.ru

Сердюкова Алина Игоревна, аспирант кафедры экологии и природопользования Северо-Кавказского федерального университета; адрес: г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1. Телефон: (8652) 95-64-87. E-mail: aserdiukova@ncfu.ru

Сигида Сергей Иванович, доктор биологических наук, профессор кафедры общей биологии и биоразнообразия Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: 8-(905)-411-44-58. Email: Omophon@yandex.ru.

Симоновский Александр Яковлевич, профессор кафедры физики, Северо-Кавказский федеральный университет, Тел.: +7-918-747-06-01, e-mail: simonovchkij@mail.ru

СОЛОВЬЕВ Иван Алексеевич – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: (8652) 95-68-00, (доб. 49-91). E-mail: soloivan@mail.ru.

Супрунчук Виктория Евгеньевна, аспирант, ассистент кафедры фармации Института живых систем Северо-Кавказского федерального университета. Телефон (8652) 33-08-53. E-mail: vikasuprunchuk@gmail.com

Супрунчук Илья Павлович – кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма ФГАОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь), кандидат географических наук. Телефон: +7(928) 306-90-88. E-mail: ilia_suprunchuk@mail.ru.

Федоренко Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры строительства нефтяных и газовых скважин Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: 8652330282 (доб. 4933). E-mail: k-fmf-primath@stavsu.ru

Харин Константин Викторович, кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: 8(962)016-52-48 E-mail: k-harin79@mail.ru

Харченко Владимир Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры геологии нефти и газа Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: (8652) 94-72-38

Червяков Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и математического моделирования. Северо-Кавказский федеральный университет, Институт математики и естественных наук. E-mail: k-fmf-primath@stavsu.ru

ЧИХИЧИН Василий Васильевич – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: (8652) 95-68-00, (доб. 49-91). E-mail: wawachi@yandex.ru.

Шульженко Кирилл Сергеевич, студент специальности «Прикладная математика и информатика», Северо-Кавказский федеральный университет, Институт математики и естественных наук.

ЩИТОВА Наталия Александровна – доктор географических наук, профессор, профессор кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: (8652) 95-68-00, (доб. 49-91). E-mail: stavgeo@mail.ru.

Яновский Александр Александрович, доцент кафедры физики, Ставропольский государственный аграрный университет, 355029 г. Ставрополь ул. Ленина, 417и, кв. 99, Тел.: +7-918-866-96-64, e-mail aa.yanovskiy@yandex.ru

ABOUT THE AUTHORS

«Наука. Инновации. Технологии», №4, 2017

Antipov Stanislav Olegovich – postgraduate student of the department of social and economic geography, geoinformatics and tourism North Caucasus Federal University (Stavropol), Phone: +(7928) 654-73-34. E-mail: antistas@yandex.ru.

Belozеров Vitaliy Semenovich – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Social and Economic Geography, Geoinformatics and Tourism of the North Caucasus Federal University. Phone: (8652) 95-68-00, (ext. 49-91). E-mail: vsbelozerov@yandex.ru.

Berberman Arsen Oganovich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Nature Management of the Institute of Mathematics and Natural Sciences of the North Caucasus Federal University; address: Stavropol, st. Pushkin, 1. Phone: (8652) 35-84-34. E-mail: eco.skfu@gmail.com

Bondar Elena Vasilievna, candidate of biological Sciences, associate Professor, Department of ecology and nature management, North Caucasian Federal University. Phone: 8(928)911-20-81 E-mail: evbondar68@gmail.com

Chervyakov Nikolay Ivanovich, doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of the Applied Mathematics and Mathematical Modeling, Institute of Mathematics and Natural Sciences, North Caucasus Federal University. E-mail: k-fmf-primath@stavsu.ru

Chihichin Vasily Vasil'yevich – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Socio-Economic Geography, Geoinformatics and Tourism of the North Caucasus Federal University. Phone: (8652) 95-68-00, (ext. 49-91). E-mail: wawachi@yandex.ru.

Denisova Evgeniya Vladimirovna, the candidate of biological sciences, the associate professor, of the department of biomedicine and physiology Institute of living systems North Caucasus Federal University. Phone: (8652) 35-50-68. E-mail: den_ev@mail.ru

Dimitriadi Yulianna Konstantinovna, Candidate of Technical Sciences, Acting Head of Oil and Gas Wells Department, North-Caucasus Federal University. Phone: 8865295-68-00, 5230. E-mail: ngs@ncstu.ru

Domareva Alina Evgenyevna, assistant, chair of department of geology of oil and gas of the North-Caucasian Federal University. Phone: 8-905-445-21-79. E-mail: alina-domareva@rambler.ru.

Fedorenko Vladimir Vasilyevich, doctor of Technical Sciences, professor, professor of Oil and Gas Wells Construction Department in the North Caucasus Federal University. Phone: 8652330282 (доб. 4933). E-mail: k-fmf-primath@stavsu.ru

Gasumov Rustam Ramizovich, Candidate of Technical Sciences, Head of Scientific Center of Wells Construction, Operation and Workover, JSC SevKavNIPGaz. Phone: 88652358077. E-mail: GasumovRR@scnipgaz.ru

Kalita Diana Ivanovna, senior Lecturer of Department of Information Technologies IITT, North Caucasus Federal University. E-mail: diana.kalita@mail.ru

Kharchenko Vladimir Mikhaylovich, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, professor of department of geology of oil and gas of the North-Caucasian Federal University. Phone: (8652) 94-72-38.

Kharin Konstantin Viktorovich, candidate of geographical Sciences, associate Professor, Department of ecology and nature management, North Caucasian Federal University. Phone: 8(962)016-52-48 E-mail: k-harin79@mail.ru

Kolyadova Galina Valentinovna, postgraduate student of department of geology of oil and gas of the North-Caucasian Federal University. Phone: (962)-001-84-90. E-mail: geya-313@mail.ru

Likhovid Andrey Aleksandrovich, Doctor of Geographical Sciences, Candidate of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research and Strategic Development, Professor of the Department of Ecology and Nature Management of the Institute of Mathematics and Natural Sciences of the North Caucasus Federal University; address: Stavropol, st. Pushkin, 1. Phone: (8652) 95-64-87. E-mail: alikhovid@ncfu.ru

Likhovid Natalya Gennadiyevna, doctor of Biological Sciences, Assistant Professor, Professor of chair of General Biology and Biodiversity Institute of Life Sciences of North Caucasus Federal University; Stavropol, st. Pushkin, 1, building № 3. Phone: (8652) 33-08-55. E-mail: likhovid@rambler.ru.

Likhovid Natalya Gennadiyevna, doctor of Biological Sciences, Assistant Professor, Professor of chair of General Biology and Biodiversity Institute of Life Sciences of North Caucasus Federal University; Stavropol, st. Pushkin, 1, building № 3. Phone: (8652) 33-08-55. E-mail: likhovid@rambler.ru.

Lukyanov Vladimir Timofeyevich, doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Development and Operation of Oil and Gas fields in the North Caucasus Federal University. Phone: 88652940096. E-mail: RANGM26@yandex.ru

Lyakhov Pavel Alekseyevich, Ph. D., Assistant Professor, Department of the Applied Mathematics and Mathematical Modeling, Institute of Mathematics and Natural Sciences, North Caucasus Federal University. E-mail: ljahov@mail.ru

Mishvelov Evgeny Georgievich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Ecology and Nature Management of the Institute of Mathematics and Natural Sciences of the North Caucasus Federal University; address: Stavropol, st. Pushkin, 1. Phone: (8652) 35-84-34. E-mail: eco.skfu@gmail.com

Naats Igor Eduardovich, Doctor of physical-mathematical sciences, Leading researcher of the Institute of training and scientific-pedagogical personnel of the North-Caucasian Federal University (SKFU). Telephone (8-652) 35-21-10 (1154). E-mail naatsie@yandex.ru

Naats Victoria Igorevna, doctor of physical-mathematical sciences, Professor, Department of mathematical analysis, Institute of mathematics and natural Sciences of the North-Caucasian Federal University (SKFU), Telephone 918-744-82-89. E-mail vinaac@yandex.ru

Osadchaya Irina Leonidovna, Candidate of Technical Sciences, Scientific Secretary of the staff under the management of JSC "SevKavNIPlgaz". Phone: 88652355641. E-mail: OsadchayaL@scnipgaz.ru

Peshchanskaya Ekaterina Vladimirovna, candidate of Biological Sciences, Senior Researcher Laboratory of Flora and Vegetation, Stavropol Botanical Garden V.V. Skripchinsky - a branch of the North Caucasus Federal Scientific Agricultural Center; Stavropol, st. Lenin, 478. Phone: (905) 447-18-70. E-mail: ekaterina108@mail.ru.

Ryskalenko Roman Andreevich, candidate of physical-mathematical sciences, associate Professor of mathematical analysis at the Institute of mathematics and natural Sciences of the North-Caucasian Federal University (SKFU). Telephone 8-918-751-92-82. E-mail azerton@yandex.ru

Serdyukova Alina Igorevna, postgraduate student of the Department of Ecology and Nature Management of the North Caucasus Federal University; address: Stavropol, st. Pushkin, 1. Phone: (8652) 95-64-87. E-mail: aserdiukova@ncfu.ru.

Shchitova Nataliya Aleksandrovna – Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Social and Economic Geography, Geoinformatics and Tourism of the North Caucasus Federal University. Phone: (8652) 95-68-00, (ext. 49-91). E-mail: stavgeo@mail.ru

Shulzhenko Kirill Sergeevich, Student in "Applied Mathematics and Informatics", Institute of Mathematics and Natural Sciences, North Caucasus Federal University. E-mail: kirill-joker@mail.ru

Sigida Sergey Ivanovich, Doctor of Biological Science, professor of the Department of general biology and biodiversity Northern Caucasus Federal University. Phone: 8-(905)-411-44-58. Email: Omophon@yandex.ru.

Soloviev Иван Алексеевич – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Socio-Economic Geography, Geoinformatics and Tourism of the North Caucasus Federal University. Phone: (8652) 95-68-00, (ext. 49-91). E-mail: soloivan@mail.ru.

Suprunchuk Ilya Pavlovich – associate professor of the department of social and economic geography, geoinformatics and tourism North Caucasus Federal University (Stavropol), the candidate of geographical sciences. Phone: +7(928) 306-90-88. E-mail: ilia_suprunchuk@mail.ru

Suprunchuk Viktoria Evgen'evna, post-graduate studies, assistant of the department of the pharmacy Institute of living systems North-Caucasus Federal University. Phone: 8 (8652) 35- 50-68. E-mail: vikasuprunchuk@gmail.ru

Valentina Valentinovna Volkova, Researcher of the Laboratory for the Introduction of Tropical Plants of the Stavropol Botanical Garden named after V.V. Skripchinsky - a branch of the North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center; Stavropol, st. Lenin, 478. Phone: (8652) 56-03-75. E-mail: lotos026@mail.ru.

Zuev Roman Vladimirovich, assistant of the Department of general biology and biodiversity Northern Caucasus Federal University. Phone: 8-(988)-755-42-50. Email: romus00@yandex.ru.

CONTENTS

«Наука. Инновации. Технологии», №4, 2017

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

Gerasimov V.P., Kovalev V.D., Gerasimov S.V., Darzhania A.Y.

The exponential correlation function in the mathematical model of the investigated channel differential correlator with unmanned aerial vehicles 7

Naats I.E., Naats V.I., Ryskalenko R.A.

A numerical method for solving ill-posed problems for two-dimensional integral equations of the first kind 17

**Simonovskij A.Ja., Grishanina O.A.,
Janovskij A.A., Litvin D.B.**

Hydrostatics of a magnetic fluid in the vicinity of a magnetized plate 27

Chervyakov N.I., Lyakhov P.A., Kalita D.I., Shulzhenko K.S.

Integrated improvement of technical characteristics of wavelet signal processing devices using residue number system 43

EARTH SCIENCES

Antipov S.O., Suprunchuk I.P.

Gis analysis of the transport accessibility of ski resorts in Russia 55

Amburtsev R.A., Khrushchev S.A.

Ethnopolitic problems of modern Dagestan 63

Belozеров V.S., Shchitova N.A.,**Chikhichin V.V., Soloviev I.A.**

Foreign students in the North Caucasus: regional differences and problems of adaptation (on the example of the North Caucasus Federal University) 79

Bondar E.V., Kharin K.V.

Reintroduce species of the family Cervidae in the reserves of the Stavropol territory 93

Vatiashvili M.R.

Radar reflection of cloud and weather precipitation at the various waves 105

Volkova V.V., Likhovid N.G.

The role of species of carex l. Genus in the vegetation of the relict lake Kravtsovo (Stavropol plateau) 119

Gasumov R.A., Gridin V.A.,**Ovcharov S.N., Gasumov E.G.**

Research the causes of annular manifestations during cementing of wells production casing 125

Gasumov R.R., Dimitriadi Y.K.,**Lukyanov V.T., Fedorenko V.V.**

Improvement of drilling fluids for wells under complex thermobaric conditions 137

Kuznechenkov E.P., Kerimov A-G.G.,**Sokolenko E.V.,****Petrenko V.I., Gridin V.A.**

Prospects of application of transverse seismic waves for oil and gas expolration problem-solving 157

Likhovid A.A., Berberyan A.O.,**Mishvelov E.G., Serdyukova A.I.**

Zoogeographic knowledge in the Ancient world. 167

Peshchanskaya E.V., Likhovid N.G.

The history of studying and the propagation of
Solidago genus in the Caucasus 177

Sigida S.I., Zuev R.V.

Zoogeographic analysis of Chilopoda and
Diplopoda of the fauna of the Central Cis-
caucasia 185

**Harchenko V.M., Domareva A.E.,
Kolyadova G.V., Mochalov V.P.**

Innovative technology of operational search-
ing, exploration and development of oil and
gas fields (Example of the Velichaevo-Kolo-
dez field) 197

BIOLOGICAL SCIENCES

Suprunchuk V.E., Denisova E.V.

Fucoidan-containing microcapsules formed
on different matrices with the use of the mail-
lard reaction211

Научное издание

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

2017

Выпуск 4

Корректор — М.И. Толмачев.

Компьютерная версия — О.Г. Полевич.

Подписано в печать 25.12.2017. Формат 70 × 108 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная. Усл. печ. л.
19,75. Тираж 1 000 экз.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».
355029, г. Ставрополь, пр-т Кулакова, 2.