

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

ISSN 2308–4758



Выпуск № 1, 2020 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
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 Росздрав, 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. Молахосе-ини, 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	выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) ПИ № ФС77–52723 от 8.02.2013
Подп. 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	редакции и издателя: 355017, 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», 2020

	«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. Belozerov, Doctor of Geographical Sciences, professor
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. Belozerov, 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 Phone Site E-mail	355017 Stavropol, Pushkin street, 1 8 (8652) 33–07–32 www.ncfu.ru nit_ncfu@mail.ru
ISSN	2308–4758
©	FGAOU VO «North Caucasus Federal University», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

«НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ», № 1, 2020

01.04.07 ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Закинян А.Р., Закинян А.А.

Электропроводность магнитных эмульсий с цепочечной микроструктурой в магнитном поле

Zakinyan A.R., Zakinyan A.A.

Electrical Conductivity of Magnetic Emulsions with Chain Microstructure in Magnetic Field 7

25.00.12 ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Демьянов А.С., Батищев Ю.В.,

Папоротная А.А., Полосин Г.А.

Определение коэффициента нефтенасыщенности при оценке геологических запасов нефти залежей маастрихтского яруса верхнемеловых отложений Восточного Предкавказья

Demyanov A.S., Batishchev YU.V.,

Paporotnaya A.A., Polosin G. A.

Determination of Oil Saturation Coefficient when Assessing the Geological Oil Reserves of the Maastrichtian Deposits of the Upper Cretaceous Sediments of the Eastern Ciscaucasia 19

25.00.15 ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН

Гаязов М.С., Яруллин Р.К.,

Космыллин Д.В.

Оптимизация измерительной базы тепловых меточных расходомеров

	Gayazov M.S., Yarullin R.K., Kosmillin D.V.	
	Optimization of the Measuring Base of Thermal Tag Flow Meters	33

25.00.23 ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИО-
ГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ
И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

	Разумов В.В., Висхаджиева К.С., Богданова Н.Д., Лысенко А.В.	
	Опасность и активность оползневой деятель- ности на территории Кавказских Минеральных Вод	
	Razumov V.V., Viskhadzhieva K.S., Bogdanova N.D., Lysenko A.V.	
	Hazard and Activity of Landslides on the Territory of the Caucasian Mineral Waters	47

	Шальнев В.А., Мельничук В.В.	
	Геоэкология или ландшафтная экология. Что это: успехи географии или ее кризис?	
	Shalnev V.A., Melnichuk V.V.	
	Geoeology or landscape ecology. What are these: geography 's successes or its crisis?	73

25.00.24 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ,
ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИ-
ОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

	Черкасов А.А., Сопнев Н.В., Гайдуков В.Р.	
	ГИС-мониторинг формирования этнической структуры населения городских агломераций в России	
	Cherkasov A.A., Sopnev N.V., Gaydukov V.R.	
	GIS-monitoring Formation of Ethnic Structure of Popu- lation of Urban Agglomerations in Russia	89

25.00.29 ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ
И ГИДРОСФЕРЫЖакамихов Х. М., Калов Х.М.,
Кешева Л.А.**Численное исследование градоопасности развивающихся конвективных облаков депolarизацией рассеянного света облачными и дождевыми каплями**Zhakamikhov Kh.M., Kalov Kh. M.,
Kesheva L.A.Numerical Study of the Hail Hazard of Developing
Convective Clouds by Scattered Light Depolarization
by Cloud Drops and Raindrops 111

25.00.35 ГЕОИНФОРМАТИКА

Воробьёва Т.А., Котова Т.В.,
Слипенчук М.В., Тикунов В.С.**Картографирование природопользования: опыт комплексных атласов**Vorobyova T.A., Kotova T.V.,
Slipenchuk M.V., Tikunov V.S.Nature Management Mapping: Experience of Integrated
Atlases 125

25.00.36 ГЕОЭКОЛОГИЯ

Мовсесова В.В., Блузина А.С.,
Бакуменко И.А.**Экологическая оценка содержания сульфатов в воздушной среде г. Ставрополя методами биоиндикации**Movsesova V.V., Bluzhina A.S.,
Bakumenko I.A.Environmental Assessment of the Sulfate Content in
the Air of the City of Stavropol Using Bioindication Me-
thods 141

01.04.07
УДК 544.77

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Закинян А.Р.*,
Закинян А.А.

Северо-Кавказский федеральный университет,
г. Ставрополь, Россия
* zakinyan.a.r@mail.ru

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МАГНИТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ С ЦЕПОЧЕЧНОЙ МИКРОСТРУКТУРОЙ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Введение

В работе экспериментально исследуются свойства эмульсий, дисперсионная среда которых представлена магнитной жидкостью, а дисперсная фаза образована водой. Такие среды представляют собой новые функциональные материалы, свойства которых изучены не в полной мере в настоящее время. Структурообразование в данных средах может приводить к существенному изменению их макроскопических свойств. Актуальным является, в частности, изучение электрофизических свойств магнитных эмульсий.

Экспериментальные исследования
и их результаты:

Показано, что под действием магнитного поля в эмульсии происходит образование цепочечных агрегатов из капель дисперсной фазы. Такое изменение микроструктуры эмульсии влияет на ее макроскопические свойства. Измерена удельная электрическая проводимость эмульсий, показано, что под действием относительно слабых внешних магнитных полей (~ 1 кА/м) электрофизические параметры эмульсии могут изменяться в несколько раз. Изучена зависимость удельной электрической проводимости эмульсий от величины и направления внешнего магнитного поля, а также от концентрации эмульсии.

Анализ полученных
результатов:

Обнаруженные закономерности электропроводности эмульсии интерпретированы на основе имеющихся теоретических данных. В частности, проведено сопоставление с результатами расчетов в рамках приближения эффективной среды. Показано качественное согласие полученных экспериментальных данных с существующими моделями.

Заключение:

На основании проведенных исследований сделан вывод, что электропроводность синтезированных и изученных магнитных эмульсий существенно зависит от воздействия магнитного поля. Это указывает на возможность их практического применения в качестве магнитоуправляемых сред.

Ключевые слова:

эмульсия; магнитная жидкость; электропроводность; структурообразование; магнитное поле.

Zakinyan A.R.*,
Zakinyan A.A.

North Caucasus Federal University,
Stavropol, Russia
* zakinyan.a.r@mail.ru

Electrical Conductivity of Magnetic Emulsions with Chain Microstructure in Magnetic Field

- Introduction:** The paper experimentally investigates the properties of emulsions whose dispersion medium is represented by a magnetic fluid, and the dispersed phase is formed by water. Such media are new functional materials whose properties are not fully understood at the present time. Structure formation in these media can lead to significant changes in their macroscopic properties. In particular, the study of the electrophysical properties of magnetic emulsions is relevant.
- Experimental studies and their results:** It is shown that under the influence of a magnetic field in the emulsion, chain aggregates are formed from droplets of the dispersed phase. This change in the microstructure of the emulsion affects its macroscopic properties. The specific electrical conductivity of emulsions was measured. It was shown that under the influence of relatively weak external magnetic fields (~ 1 kA/m), the electrophysical parameters of the emulsion can change several times. The dependence of the specific electrical conductivity of emulsions on the magnitude and direction of the external magnetic field, as well as on the concentration of the emulsion, was studied.
- Analysis of the results obtained:** The detected peculiarities of electrical conductivity of the emulsion are interpreted on the basis of available theoretical data. In particular, a comparison was made with the results of calculations within the framework of the effective medium approximation. The qualitative agreement of the obtained experimental data with the existing models is shown.
- Conclusion:** Based on the conducted research, it is concluded that the electrical conductivity of the synthesized and studied magnetic emulsions significantly depends on the influence of the magnetic field. This indicates the possibility of their practical application as magnetically controlled media.
- Keywords:** emulsion; magnetic fluid; electrical conductivity; structure formation; magnetic field.

Введение

Магнитные эмульсии – это дисперсные системы, состоящие из двух жидких фаз, одной из которых является магнитная жидкость. Магнитная жидкость представляет собой устойчивую коллоидную дисперсию магнитных наночастиц (~ 10 нм) в некоторой несущей жидкости. Для получения магнитных эмульсий магнитная жидкость смешивается с не растворяющейся в ней жидкой средой. Магнитная жидкость при этом может образовывать как дисперсную фазу, так и дисперсионную среду эмульсии. Размер получающихся капель дисперсной фазы колеблется от 0,1 до 100 мкм, что на несколько порядков больше размеров магнитных наночастиц магнитной жидкости, поэтому последняя в большинстве случаев может рассматривать как сплошная жидкая намагничивающаяся среда. Идея создания магнитных эмульсий [1] возникла в связи с возможностью их успешного применения в качестве магниточувствительной среды. Наличие выраженных магнитных свойств делает такие эмульсии уникальными объектами исследования и отличает их от классических эмульсий.

До настоящего времени было известно небольшое число работ, посвященных в той или иной мере исследованию физических свойств магнитных эмульсий. Так в работе [2] было обнаружено, что равномерно распределенные сферические капли в магнитном поле взаимодействуют с образованием цепочечных агрегатов, ориентация которых совпадает с направлением внешнего поля. Процессы образования цепочечных агрегатов в магнитных эмульсиях исследовались также в работах [3–6].

В работах [7, 8] были изучены оптические свойства магнитных эмульсий с дисперсной фазой, представленной каплями магнитной жидкости. Приведены результаты измерения прозрачности эмульсии в зависимости от величины и направления внешнего магнитного поля. Описано образование цепочечных агрегатов капель и плотных структур типа колонн, также образованных каплями магнитной жидкости при воздействии магнитного поля. В [9] численно исследовались реологические свойства магнитных эмульсий, связанные с образованием цепочечных агрегатов в магнитном поле. Особенности магнитных свойств магнитных эмульсий с дисперсной фазой представленной магнитной жидкостью исследовались в работе [10]. Были изучены концентрационные и температурные зависимости магнитной восприимчивости эмульсии, исследован характер ее намагничивания в постоянном магнитном поле.

В работе [11] приведены некоторые результаты исследования магнитных эмульсий, в которых дисперсионная среда была представлена магнитной жидкостью, а дисперсная фаза – каплями глицерина. Отмечено образование цепочечных агрегатов из капель эмульсии при действии внешнего магнитного поля на такую систему. Указывается на появление анизотропного светорассеяния, обусловленного цепочечными агрегатами. Следует отметить, что структурообразование, имеющее место в магнитной жидкости при помещении в нее немагнитных микрочастиц под действием магнитного поля, ранее изучалось в ряде работ [12–16]. В этих работах исследовалась главным образом микроструктура и отчасти некоторые макроскопические свойства системы твердых немагнитных микрочастиц в магнитной жидкости под действием поля.

В работах [17–19] описаны некоторые особенности оптических, магнитных и электрических свойств магнитных эмульсий, обусловленные деформацией капель дисперсной фазы при воздействии внешних магнитных полей. Такая деформация под действием внешних полей относительно малой величины возможна вследствие малости межфазного натяжения на границе между дисперсной фазой и дисперсионной средой эмульсий, исследовавшихся в [17–19]. При достаточно большой величине межфазного натяжения деформации капель дисперсной фазы не происходит, в этом случае имеет место образование цепочечной микроструктуры.

В указанных работах отмечается, что даже воздействие сравнительно слабых по величине внешних магнитных полей может вызывать структурообразование в магнитных эмульсиях, влияющее на макроскопические свойства среды.

Отметим, что воздействие магнитного поля практически не приводит к изменению макроскопических свойств исходной магнитной жидкости, во всяком случае, такое изменение крайне мало и им можно пренебречь при исследовании свойств магнитных эмульсий. Таким образом, изучение макроскопических свойств магнитных эмульсий представляет большой интерес в виду возможности эффективного управления ими посредством воздействия внешних силовых полей.

В данной работе исследуются особенности макроскопической электропроводности магнитных эмульсий, обусловленные образованием цепочечных агрегатов из капель дисперсной фазы при воздействии внешнего магнитного поля. Подобное структурообразование должно приводить к специфическим особенностям электрофизических свойств данных сред, в частности, следует ожидать возникновения анизотропии электрофизических свойств эмульсий и зависимость последних от величины магнитного поля.

Экспериментальные исследования и их результаты

В качестве объекта исследования была использована магнитная эмульсия, дисперсионная среда в которой была представлена магнитной жидкостью, а в качестве дисперсной фазы использовался раствор поваренной соли в воде. Для приготовления эмульсии применялась магнетитовая магнитная жидкость на основе керосина. Начальная магнитная проницаемость магнитной жидкости имела величину $\mu \cong 1,6$, а электропроводность составляла $\kappa_e \cong 2 \times 10^{-6}$ См/м. Межфазное натяжение на границе магнитной жидкости и воды составляло $\sim 0,01$ Н/м. Выбор воды в качестве вещества дисперсной фазы был обусловлен тем, что она обладает сравнительно большой величиной электропроводности ($\kappa_i \cong 4,4 \times 10^{-2}$ См/м) по сравнению с дисперсионной средой, представленной магнитной жидкостью. Такую эмульсию можно отнести к типу «вода в масле», при этом, благодаря высокому значению электропроводности дисперсной фазы по сравнению с дисперсионной средой можно ожидать существенное изменение макроскопических электрофизических свойств данной эмульсии в процессе структурообразования под действием внешних полей. Эмульсия была приготовлена путем механического диспергирования некоторого количества воды в магнитной жидкости с помощью электромеханической мешалки. Средний размер капель дисперсной фазы эмульсии составлял 10 мкм. В процессе приготовления эмульсии в качестве эмульгирующего агента использовался полиглицерил-3 полирицинолеат ($C_{27}H_{52}O_9$).

Вначале были исследованы структурные свойства синтезированных эмульсий при воздействии внешнего магнитного поля. Для этого образец с эмульсией помещался в постоянное однородное магнитное поле, создаваемое катушками Гельмгольца. Наблюдение структурных превращений в эмульсии осуществлялось при помощи оптического микроскопа. При воздействии на такую среду магнитного поля немагнитные капли, окруженные жидкой намагничива-

ющей средой, могут рассматриваться как диамагнитные частицы («магнитные дырки»), имеющие магнитные моменты, направленные противоположно полю. Вследствие взаимодействия магнитных моментов происходит объединение немагнитных капель в цепочечные структуры, которые ориентируются вдоль вектора напряженности поля. В качестве примера, на рисунке 1 показана цепочечная структура, образующаяся в слое магнитной эмульсии при воздействии однородного постоянного магнитного поля. Заметим, что при напряженностях магнитного поля, которые имели место в экспериментах, его воздействие не вызывало заметной деформации капель дисперсной фазы эмульсии. Наблюдения структурного состояния эмульсии также показали, что при значительном увеличении объемной концентрации воды ($> 70\%$) эмульсия переходит в гелеобразное состояние, характеризующееся сильным понижением ее текучести.

Исследование электропроводности κ осуществлялось мостовым методом. По измеренной величине активной проводимости G ячейки с образцом определялась удельная электропроводность эмульсии: $\kappa = Gl/S$, где l – расстояние между электродами ячейки, S – площадь электродов. Измерения проводились на частоте сигнала 5 кГц, что позволяет пренебрегать эффектами поляризации электродов, при этом измерительная частота оказывается гораздо меньше частоты дисперсии для рассматриваемой системы, что позволяет считать режим данных измерений квазистатическим. Для исследования влияния магнитного поля на измеряемые величины образец эмульсии помещался во внешнее постоянное однородное магнитное поле, создаваемое катушками Гельмгольца. При этом ячейка имела возможность вращаться в горизонтальной плоскости, что позволяло устанавливать различные углы ориентации внешнего магнитного и измерительного электрического полей друг относительно друга. Структурообразование в эмульсии происходило только под действием приложенного внешнего магнитного поля.

Были проведены исследования зависимости величины электропроводности магнитной эмульсии от концентрации дисперсной фазы, а также от величины и направления магнитного поля. Было обнаружено, что при воздействии внешнего магнитного поля, сонаправленного с электрическим измерительным полем, удельная электрическая проводимость среды может возрасти в четыре раза по сравнению с первоначальным значением. Так, на рисунке 2 показаны экспериментальные зависимости относительного изменения удельной электрической проводимости эмульсии от величины напряженности внешнего магнитного поля при различных концентрациях дисперсной фазы, полученные в случае параллельной ориентации магнитного и электрического полей. Здесь речь идет о стационарных (установившихся) значениях электропроводности эмульсии, время установления стационарного значения электропроводности в опытах, как правило, не превышало 10–15 с.

Отметим, что величина приборной погрешности прямого измерения проводимости весьма мала, и результирующая экспериментальная погреш-

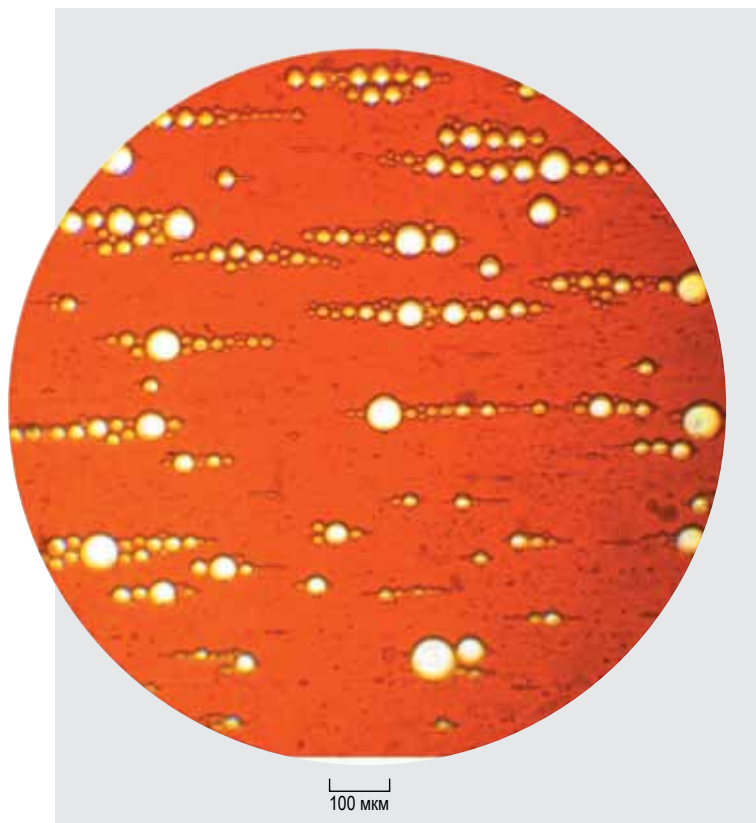


Рис. 1. Магнитная эмульсия с водой в качестве дисперсной фазы при воздействии постоянного однородного магнитного поля напряженностью $H = 4$ кА/м, направленного горизонтально вдоль плоскости рисунка.

Fig. 1. Magnetic emulsion with water as a dispersed phase exposed to a constant uniform magnetic field of intensity $H = 4$ kA/m, directed horizontally along the figure plane.

ность оценивалась по повторяемости результатов, определяющейся в основном ограниченной воспроизводимостью свойств эмульсии. Общая длительность серии измерений на одном образце эмульсии составляла порядка 2–3 мин. Произведенные оценки показали, что за это время эффект седиментационного расслоения эмульсии не успевает повлиять на измеряемые параметры образца

Также были проведены исследования зависимости электропроводности среды от угла между направлениями магнитного и электрического полей, позволяющие продемонстрировать анизотропный характер величины электропроводности. В качестве примера на рисунке 3 представлена зависимость обусловленного действием магнитного поля относительного изменения электропроводности эмульсии от угла между направлениями внешнего

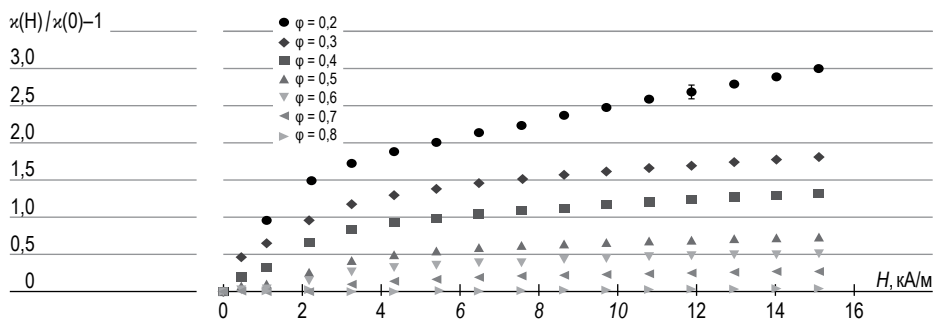


Рис. 2.

Экспериментальные зависимости относительного изменения удельной электропроводности обратной эмульсии магнитной жидкости от напряженности внешнего магнитного поля при различных концентрациях дисперсной фазы. Магнитное и измерительное электрическое поля ориентированы параллельно.

Fig. 2. Experimental dependences of the relative change of the electrical conductivity of the inverse magnetic fluid emulsion on the external magnetic field strength at various concentrations of the dispersed phase. The magnetic and measuring electric fields are oriented in parallel.

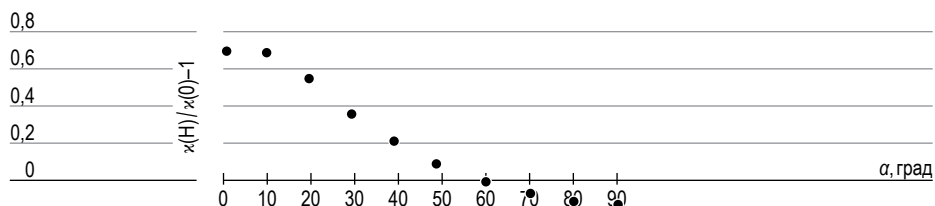


Рис. 3.

Экспериментальная зависимость относительного изменения электропроводности эмульсии от угла между направлениями внешнего магнитного и измерительного электрического полей. Концентрация дисперсной фазы 0,2; напряженность магнитного поля 1,1 кА/м.

Fig. 3. The experimental dependence of the relative change of the emulsion electrical conductivity on the angle between the directions of the external magnetic and measuring electric fields. The concentration of the dispersed phase is 0.2; magnetic field strength is 1.1 kA/m.

магнитного и измерительного электрического полей. Как видно из рисунка, наибольшее изменение (увеличение) электропроводность претерпевает при параллельной ориентации магнитного и электрического полей. В случае же взаимно перпендикулярной ориентации полей наблюдается гораздо менее значительное уменьшение проводимости среды, относительная величина которого в опытах достигает значений около 10%. При других значениях угла величина электропроводности принимает промежуточные значения.

Величина отклика на действие магнитного поля, проявляющегося в изменении электропроводности, существенно зависит от концентрации дисперсной фазы эмульсии (φ). Так, на рисунке 4 представлены экспериментальные зависимости относительного изменения электропроводности от объемной

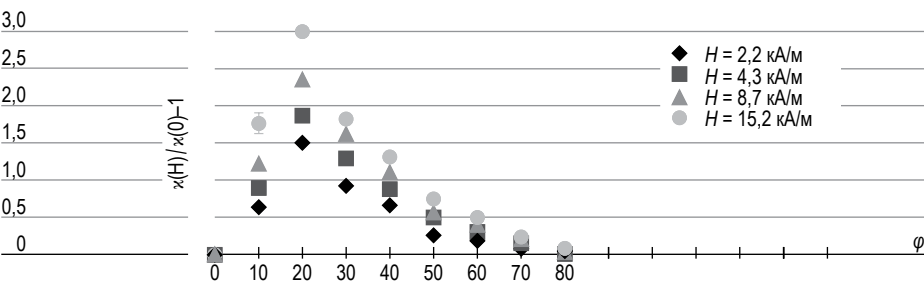


Рис. 4. Экспериментальные зависимости относительного изменения электропроводности обратной эмульсии от объемной концентрации дисперсной фазы при различных величинах напряженности магнитного поля. Внешнее магнитное поле параллельно электрическому измерительному.

Fig. 4. Experimental dependences of the relative change of the electrical conductivity of the inverse emulsion on the dispersed phase volume concentration at various values of the magnetic field strength. The external magnetic field is parallel to the electric measuring field.

концентрации эмульсии, полученные при параллельной ориентации магнитного и электрического полей. Показаны зависимости, соответствующие различным величинам напряженности магнитного поля. Как видно, данные зависимости носят немонотонный характер с максимумом, приходящимся на значение объемной доли дисперсной фазы $\approx 0,2$.

Временная эволюция микроструктуры в объеме образца эмульсии при воздействии магнитного поля проявляется в характере динамики изменения ее макроскопических свойств и, в частности, параметров, характеризующих процессы переноса в среде. Так, на рисунке 5 показана измеренная зависимость изменения электропроводности от времени действия магнитного поля, сонаправленного с электрическим измерительным полем.

По вертикальной оси на графике отложена приведенная величина

$$\frac{\Delta\kappa}{\Delta\kappa_{\max}} = \frac{\kappa(H,t) - \kappa(0,0)}{\kappa(H,t_{\max}) - \kappa(0,0)}, \tag{1}$$

где $t_{\max}$ — конечное значение временного интервала измерений. Нулевому моменту времени соответствует момент включения магнитного поля.

На рисунке представлены зависимости приведенного относительного изменения проводимости, полученные при двух различных значениях напряженности поля. Как видно, при более высоких значениях напряженности изменение проводимости и обуславливающий ее процесс структу-

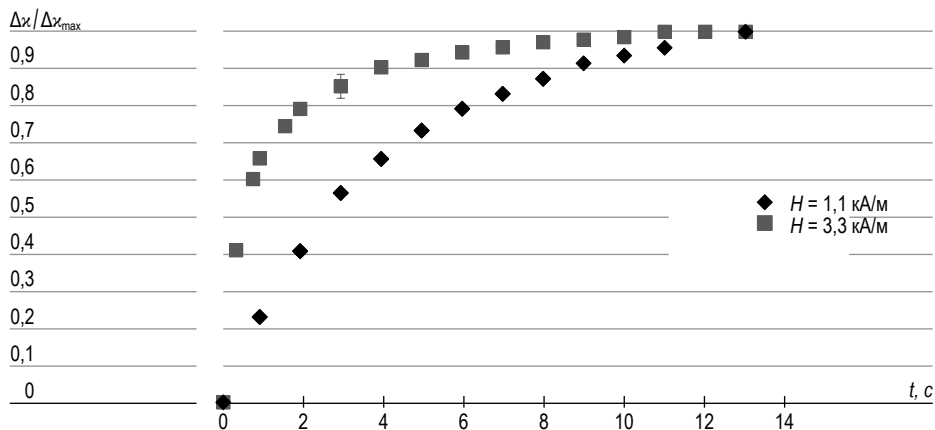


Рис. 5. Экспериментальные зависимости приведенного относительного изменения проводимости эмульсии от времени действия магнитного поля (параллельного электрическому измерительному) при различных величинах его напряженности. Концентрация дисперсной фазы 0,4.

Fig. 5. Experimental dependences of the relative change of the emulsion conductivity on the time of magnetic field action (parallel to the electric measuring field) at various values of its intensity. The concentration of the dispersed phase 0.4.

рообразования в эмульсии протекают интенсивнее, чем при низких напряженностях (соответствующая зависимость быстрее выходит на насыщение). Это связано с тем, что приводящие к структурообразованию магнитные взаимодействия между каплями дисперсной фазы эмульсии возрастают с ростом напряженности внешнего поля.

Анализ полученных результатов

Эффективная электрическая проводимость эмульсии может быть вычислена исходя из распределения электрического поля в среде, найденного путем решения уравнения Пуассона для электростатического потенциала. Однако, при большом различии свойств сред (в данном случае электрических), находящихся в расчетной области, что имеет место и в рассматриваемой ситуации, требуется применение прямых методов решения разностных уравнений и затрата больших вычислительных ресурсов. По этой причине здесь такой анализ осуществлен не будет. Ограничимся сопоставлением некоторых полученных данных с известными аналитическими результатами для удельной электрической проводимости эмульсий.

Так, для низкочастотного предела удельной электрической проводимости однородной и изотропной эмульсии (в отсутствие структурного упорядочения) в приближении эффективной среды было получено выражение [20]:

$$\frac{\kappa - \kappa_i}{\kappa_e - \kappa_i} \left(\frac{\kappa_e}{\kappa} \right)^{1/3} = 1 - \varphi. \quad (2)$$

Структурообразование в эмульсии происходит в результате магнитного взаимодействия капель дисперсной фазы, которое приближенно можно описать, как взаимодействие индуцированных диполей. Энергия взаимодействия каждой пары частиц определяется формулой:

$$W = \frac{\mu_0 \mu_e}{4\pi} \frac{m_1 m_2 (1 - 3 \cos^2 \theta)}{r^3}, \quad (3)$$

где

$$m = \frac{3(\mu_i - \mu_e)}{\mu_i + 2\mu_e} HV \quad (4)$$

μ – магнитный момент капли дисперсной фазы;
 r – расстояние между каплями;
 V – объем капли.

Формирующаяся структура в виде цепочечных агрегатов капель соответствует минимуму энергии, определяемой соотношением (2).

Некоторые количественные оценки влияния магнитного поля на электрическую проводимость эмульсии можно предпринять, если приближенно отождествить возникающие в эмульсии цепочечные структуры с частицами эллипсоидальной формы. В этом случае удельную электрическую проводимость можно определить согласно [21]

$$\frac{\kappa - \kappa_i}{\kappa_e - \kappa_i} \left(\frac{\kappa_e}{\kappa} \right)^{N_\alpha} = 1 - \varphi, \quad (5)$$

где N_α – деполяризующий фактор эллипсоида вдоль направления электрического поля.

Расчет согласно приведенным выражениям при подстановке в них реалистичных значений величины деполяризующего фактора показывает, что величина эффективной электрической проводимости эмульсии при структурообразовании может изменяться примерно в 2–2,5 раза (в зависимости от концентрации дисперсной фазы). Это примерно соответствует характеру изменения проводимости в эксперименте.

Заключение

Таким образом, в работе была исследована новая дисперсная система – магнитодиэлектрическая эмульсия, созданная на основе магнитной жидкости и воды. Продemonстрировано образование цепочечных агрегатов в такой среде под действием магнитного поля. Изучены ее макроскопические электрофизические свойства. Показано влияние образования цепочечных агрегатов на свойства эмульсии. Данные явления проанализированы и интерпретированы теоретически. На основании проведенных исследований можно заключить, что электропроводность синтезированных и изучен-

ных магнитных эмульсий существенно зависит от воздействия магнитного поля. Это указывает на возможность их практического применения в качестве магнитоуправляемых сред.

Благодарности

**Работа выполнена при поддержке РФФИ
(проект № 18-33-00796).**

References

1. Romankiw L.T. Stable emulsion and method for preparation thereof. US Patent No 3981844 // USA. 1976.
2. Drozdova V.I., Chekanov V.V. Diffusion of ferrofluid particles in a magnetic field // *Magnitnaya Gidrodinamika*. 1981. Vol. 17. No. 1. P. 55–59.
3. Zhang H., Widom M. Field induced forces in colloidal particle chains // *Phys. Rev. E*. 1995. Vol. 51. P. 2099–2103.
4. Liu J., Lawrence E.M., Wu A., Ivey M.L., Flores G.A., Javier K., Richard J. Field-induced structures in ferrofluid emulsions // *Phys. Rev. Lett.* 1995. Vol. 74. P. 2828–2831.
5. Zhu Y., Haddadian E., Mou T., Gross M., Liu J. Role of nucleation in the structure evolution of a magnetorheological fluid // *Phys. Rev. E*. 1996. Vol. 53. P. 1753–1759.
6. Flores G.A., Liu J., Mohebi M., Jamasbi N. Magnetic-field-induced nonequilibrium structures in a ferrofluid emulsion // *Phys. Rev. E*. 1999. Vol. 59. P. 751–762.
7. Bibette J. Monodisperse ferrofluid emulsions // *J. Magn. Magn. Mater.* 1993. Vol. 122. P. 37–41.
8. Ivey M., Liu J., Zhu Y., Cutillas S. Magnetic-field-induced structural transitions in a ferrofluid emulsion // *Phys. Rev. E*. 2000. Vol. 63. 011403.
9. Scherer C. Computer simulation of magnetorheological transition on a ferrofluid emulsion // *J. Magn. Magn. Mater.* 2005. Vol. 289. P. 196–198.
10. Dikanskii Yu.I., Bedzhanyan M.A., Kiselev V.V. Magnetization properties of magnetic emulsions // *Magnitnaya Gidrodinamika*. 1995. Vol. 31. No. 1. P. 73–78.
11. Dikanskii Yu.I., Bedzhanyan M.A., Kiselev V.V. The electrical properties of emulsions containing a magnetic fluid as the dispersion medium // *Colloid J.* 2002. Vol. 64. No. 1. P. 29–32.
12. Skjeltorp A.T. One- and two-dimensional crystallization of magnetic holes // *Phys. Rev. Lett.* 1983. Vol. 51. P. 2306–2309.
13. Toussaint R., Akselvoll J., Helgesen G., Skjeltorp A.T., Flekkoy E.G. Interaction model for magnetic holes in a ferrofluid layer // *Phys. Rev. E*. 2004. Vol. 69. 011407.
14. Helgesen G., Svasand E., Skjeltorp A.T. Nanoparticle induced self-assembly // *J. Phys.: Condens. Matter*. 2008. Vol. 20. 204127.
15. Popplewell J., Rosensweig R.E. Magnetorheological fluid composites // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 1996. Vol. 29. P. 2297–2303.
16. Dikansky Yu.I., Veguera J.G., Suzdalev V.N., Smerek Yu.L. Mag-

netic fluids with nonmagnetic inclusions of various shapes // *Magnetohydrodynamics*. 2002. Vol. 38. No. 3. P. 281–285.

17. Sandre O., Browaeys J., Perzynski R., Bacri J.-C., Cabuil V., Rosensweig R.E. Assembly of microscopic highly magnetic droplets: Magnetic alignment versus viscous drag // *Phys. Rev. E*. 1999. Vol. 59. P. 1736–1746.
18. Zakinyan A., Dikansky Y. Drops deformation and magnetic permeability of a ferrofluid emulsion // *Colloids Surf. A*. 2011. Vol. 380. P. 314–218.
19. Dikansky Y.I., Zakinyan A.R., Tyatyushkin A.N. Anisotropy of magnetic emulsions induced by magnetic and electric fields // *Phys. Rev. E*. 2011. Vol. 84. 031402.
20. *Emulsion Science* /Ed. by P. Sherman. Academic Press: London, New York, 1968.
21. Berthier S. Anisotropic effective medium theories // *J. Phys. I France*. 1994. Vol. 4. P. 303–318.

Об авторах

Закинян Артур Робертович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей и теоретической физики Северо-Кавказского федерального университета.

ScopusID: 15039960300, ResearcherID: K-2761-2013.

Телефон: +79187630710. E-mail: zakinyan.a.r@mail.ru

Закинян Анастасия Александровна, аспирант кафедры общей и теоретической физики Северо-Кавказского федерального университета, лаборант-исследователь проблемной научно-исследовательской лаборатории магнитных наноматериалов Института математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета. ScopusID: 56294899700. Телефон: +79880872068. E-mail: anastasiya.kolesnikova.93@mail.ru

About the authors

Zakinyan Arthur Robertovich, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the department of general and theoretical physics of the North Caucasus Federal University. ScopusID: 15039960300, ResearcherID: K-2761-2013. Телефон: +79187630710. E-mail: zakinyan.a.r@mail.ru

Zakinyan Anastasia Aleksandrovna, post-graduate student of the department of general and theoretical physics of the North Caucasus Federal University, laboratory researcher of the problem research laboratory of magnetic nanomaterials of the Institute of mathematics and natural Sciences of the North Caucasus Federal University. ScopusID: 56294899700. Телефон: +79880872068. E-mail: anastasiya.kolesnikova.93@mail.ru

25.00.12
УДК550.8.053

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Демьянов А.С. *,
Батищев Ю.В.,
Папоротная А.А.,
Полосин Г.А.

Северо-Кавказский федеральный университет,
Ставрополь,
Россия
*demyanov_aleksey@list.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА НЕФТЕНАСЫЩЕННОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАПАСОВ НЕФТИ ЗАЛЕЖЕЙ МААСТРИХТСКОГО ЯРУСА ВЕРХНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

Введение.

В статье рассмотрена проблема определения коэффициента нефтенасыщенности верхнемеловых отложений Восточного Предкавказья, и предложен к применению метод для повышения достоверности его определения. Территория исследования в региональном тектоническом плане охватывает Прикумскую систему поднятий, Ногайскую ступень, и северную часть Терско-Каспийского передового прогиба. В нефтегазогеологическом плане – Прикумский нефтегазоносный и Терско-Сунженский нефтегазоносный районы.

Материалы и методы
исследований.

В работе использованы данные полученные методами ГИС, результаты лабораторных исследований керна верхнемеловых отложений Восточного Предкавказья, для решения рассмотренной проблемы использован метод математической статистики, на основе исторических данных разработки месторождений данного региона.

Результаты исследований
и их обсуждение.

Рассмотрена эффективность применяемых для определения нефтенасыщенности методов ГИС, изучены петрофизические особенности, снижающие достоверность определения коэффициента нефтенасыщенности залежей углеводородов (УВ) маастрихтских отложений. На примере нескольких месторождений представлен алгоритм определения коэффициента нефтенасыщенности с помощью функции Баклея-Леверетта на основе исторических данных разработки.

Выводы.

Для повышения точности определения коэффициента нефтенасыщенности, предлагается комплексное применение методов, как традиционных (ГИС) так и новых, в том числе представленного метода математической статистики.

Ключевые слова:

коэффициент нефтенасыщенности, петрофизические свойства, известняк, залежь, коллектор.

Demyanov A.S.*,
Batishchev YU.V.,
Paporotnaya A.A.,
Polosin G.A.

North-Caucasus Federal University,
Stavropol,
Russia
*demyanov_aleksey@list.ru

Determination of Oil Saturation Coefficient when Assessing the Geological Oil Reserves of the Maastrichtian Deposits of the Upper Cretaceous Sediments of the Eastern Ciscaucasia

- Introduction.** The article considers the problem of determining the oil saturation coefficient of the upper Cretaceous deposits of the Eastern Caucasus, and suggests the use of a method to increase the reliability of its determination. The study area in the regional tectonic plan covers the Prikum uplift system, the Nogai stage, and the Northern part of the Tersk-Caspian forward trough. In terms of oil – Prikumsk petroleum and Terek-Sunzha oil and gas areas.
- Materials and methods of the research.** The paper uses data obtained by GIS methods, the results of laboratory studies of the core of upper Cretaceous deposits of the Eastern Caucasus. To solve the problem, the method of mathematical statistics is used, based on historical data of the development of deposits in this region.
- The results of the research and their discussion.** The efficiency used to determine the saturation GIS techniques, the studied petrophysical features, reducing the accuracy of determining the coefficient of saturation of hydrocarbons (HC) Maastricht deposits. An algorithm for determining the oil saturation coefficient using the Buckley-Leverett function based on historical development data is presented on the example of several fields.
- Conclusions.** To improve the accuracy of determining the oil saturation coefficient, a complex application of methods, both traditional (GIS) and new, including the presented method of mathematical statistics, is proposed.
- Keywords:** oil saturation coefficient, petrophysical properties, limestone, deposit, reservoir.

Введение

Освоение месторождений Восточного Предкавказья ведется с середины прошлого столетия, нефтеносность маастрихтских отложений установлена позднее, в 70-х годах. Несмотря на практически полувековой опыт изучения и разработки данных отложений, остается ряд вопросов, касающихся как пространственного размещения новых залежей и их моделей, так и неопределенностей в обосновании или уточнении подсчетных параметров уже открытых месторождений, что затрудняет объективно оценивать запасы нефти и газа.

Территория исследования в региональном тектоническом плане охватывает Прикумскую систему поднятий (ПСП), Ногайскую ступень (НС), и северную часть Терско-Каспийского передового прогиба (ТКПП). В нефтега-

зогеологическом плане – Прикумский нефтегазоносный (ПНР) и Терско-Сунженский нефтегазоносный районы (ТСНР).

Материалы и методы исследований

Параметром, характеризующим количественное содержание нефти в породах слагающих залежь, является коэффициент нефтенасыщенности (K_n), как правило, определяемый на основании комплексных данных, таких как исследование керна и геофизические методы. Также необходимо упомянуть о практике определения K_n по результатам первых опробований. Данная методика определения начальной нефтенасыщенности верхнемеловых отложений применялась на месторождениях ПНР. В данной работе предложен к дальнейшему использованию метод математической статистики, использующий функцию Баклея-Леверетта, на основе исторических данных разработки масстрихтских отложений. Кроме того, в данной работе использованы результаты исследований, выполненных на керне в разные годы в СКТБ ПГ [СКТБ] г. Грозный, СевКавНИПИнефти, ВНИГНИ, ИГиРГИ, СевКавНИПИгазе и др.

Результаты исследований и их обсуждение

Для месторождений исследуемой территории ранее разработана номенклатура деления I пачки масстрихтских отложений на пять пластов, именуемых сверху вниз I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 , в свою очередь эти пласты делятся на 22 пропластка. Данное деление приемлемо для ПНР. В геосинклинальных областях ТСНР, где толщины верхнемеловых отложений значительно увеличены, а сами отложения расчленены многочисленными разломами, корреляция их несколько усложняется, применяется отличная номенклатура с делением на шесть корреляционных пачек (I–VI).

Литолого-петрофизическая характеристика коллекторов маастрихтских отложений изучаемой территории приведены в таблице 1.

Маастрихтские отложения ПНР сложены белыми мелоподобными трещиноватыми известняками и в меньшей степени прослоями и пластами крепких пелитоморфных известняков. Мелоподобные разности известняков состоят из остатков и обломков известковых раковин фораминифер, иноцератов, а также мельчайших известковых образований. Мелоподобные пористые известняки средней плотности и крепости имеют меньшую проницаемость, чем рыхлые породы, но обуславливают эффективную емкость продуктивных пластов. Тип коллектора в этом районе установлен как трещинно-каверновый. Данные гидродинамических исследований скважин и изучение керна, отобранного с использованием инвертного, эмульсионного раствора (скв. 19 Лесная и др.) позволили сделать заключение о том, что вода занимает поровое пространство матрицы и тонкие трещины, а нефть располагается в трещинах и кавернах повышенной раскрытости.

Таблица 1. ЛИТОЛОГО-ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МААСТРИХТСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ
Table 1. Lithology-petrophysical characteristics of the maastrichtian deposits of the Eastern Ciscaucasia

№ пп	Параметр коллекторов	Прикумский нефтегазоносный район	Терско- Сунженский нефтегазоносный район
1	Литология	Известняки серые, белые, неслоистые, рыхлые и средней крепости раковинами коколитофорид	Известняки светло-серые, почти белые, однородные, зернистые, с контактами соприкосновения зерен из скелетных организмов в виде пластинок, зерен, трубочек, остатков одно-клеточных жгутиковых водорослей
2	Карбонатность CaCO ₃ , %	80–95	73–80
3	Диаметр раковин обломков, мкм	0,6–1,3	0,5–1,2
4	Количество пор на 1см ² ,шт./см ²	35–106	500–2500
5	Размер мелких пор, мкм	0,1–0,5	50 × 50
6	Размер крупных пор, мкм	2 × 4	Д200–448
7	Густота трещин, 1/м	Крепкие-120 Средние-300 «рухляки»-500	100–480
8	Раскрытость трещин,мкм	<10	500
9	Расстояние между трещинами, мм	2-70	70–100
10	Пористость матрицы,%	Крепкие-5,% Средние-21 «рухляки»-30	III K ₂ -4.5 III K ₂ -5.7 IV K ₂ -9.6
11	Вторичная пористость, % Вторичная пористость, % керн	1–3 1–5	0,46 0,49–1,0
12	Содержание связанной воды матрицы,%	95–100	92–100
13	Проницаемость матрицы, мД	0,8–1,0	0,5–1,0

№ пп	Параметр коллекторов	Прикумский нефтегазоносный район	Терско- Сунженский нефтегазоносный район
14	Проницаемость трещинных образцов, мД	1 0,01–2 2–50	1 1,0 106
15	Содержание матрицы Вытяжка- люминисцентная	Вода безцветная Не люминисцирует	Вода безцветная Не люминисцирует
16	Кажущееся удель- ное электрическое сопротивление (УЭС), Омм	Крепкие-20 Средние-3,2 «рухляки»-2,4	10-30
17	Тип коллектора	Трещинно- поровый	Трещино-каверново- поровый
18	Содержание нефти и воды	В матрице в трещинах Повышенной раскрытости	вода Нефть + вода нефть
19	Заполнение тонких трещин	Вода, кальцит	кальцит

В ТСНР маастрихтские известняки светло-серые, почти белые, однородные, зернистые, с контактами соприкосновения зерен из скелетных организмов в виде пластинок, зерен, трубочек, остатков одноклеточных жгутиковых водорослей. По данным многочисленных геофизических, гидродинамических, а также керновых исследований месторождений ТСНР тип коллектора в этом районе установлен как трещинно-каверновый-поровый. Поры матрицы содержат до 90–100% связанной воды, при этом значение фазовой проницаемости по воде близко к нулю.

Как видно из представленной таблицы, маастрихтские известняки ПНР имеют чрезвычайно мелкие поры (0,1–0,5 мкм), т.е. почти в 100 раз меньше пор известняков ТСНР, густота трещин известняков обоих регионов примерно одинаковая, однако раскрытость трещин в ТСНР намного выше, чем в ПНР. Значения пористости матрицы и вторичной пористости по ГИС и керну ПНР в 4–5 раз выше значений пористости ТСНР.

Приведенные параметры коллекторов, как ПНР, так и ТСНР, характеризуют маастрихтские залежи изучаемой территории, как весьма сложный объект для определения качественных и количественных параметров продуктивного пласта по данным геофизических исследований.

Как известно [1–3, 5–6], проблемы изучения карбонатных толщ, в том числе и маастрихтских отложений, обусловлены следующими основными причинами.

- Карбонатные коллекторы характеризуются сложным строением порового пространства. В верхнемеловых отложениях преобладают коллекторы с вторичной пористостью, фильтрационные свойства которых преимущественно определяются развитой системой тектонических трещин. Сложная структура порового пространства, состоящая в основном из пустот трещинного типа, значительно усложняет изучение карбонатных коллекторов по комплексу геолого-геофизических данных.
- Карбонатные породы, особенно на больших глубинах, характеризуются низкой общей пористостью (в пределах 3-6%), что существенно осложняет ее определение по материалам геофизических исследований. Снижение пористости существенно усложняет основные петрофизические зависимости и увеличивает погрешности ее определения геофизическими методами.
- Характерной особенностью карбонатных коллекторов является малый объем эффективных (нефтенасыщенных пор). Как правило, в сложных карбонатных коллекторах нефтенасыщенными являются трещины и каверны, доля которых редко превышает 10-30% от общего объема пор. В связи с этим, нефтенасыщенность оказывает слабое влияние на геофизические параметры, что предопределяет трудности выделения продуктивных интервалов и количественной оценки нефтенасыщенности.
- Вследствие неоднородной структуры порового пространства карбонатные коллекторы характеризуются более сложным проникновением в них бурового раствора или его фильтрата. При опережающем проникновении по системе трещин и каверн, возможно частичное или полное вытеснение пластового флюида из межзернового пространства в прискважинной зоне пласт, что создает дополнительные трудности при выделении и оценке коллекторов.

Вследствие частой смены условий осадконакопления и значительных постседиментационных преобразований карбонатные толщины характеризуются неоднородностью литологического состава и коллекторских свойств по разрезу и площади. Все это приводит к микро и макроанизотропии физических свойств карбонатных пород, что находит отражение в резкой дифферен-

циации геофизических диаграмм и значительно усложняет их интерпретацию. При этом свойства карбонатного коллектора, установленные по данным геофизических методов для прискважинной зоны лишь условно можно распространять на всю залежь.

Таким образом, основные проблемы достоверного определения К_{на} астрихтских отложений связаны с петрофизическими особенностями изучаемого разреза.

Также необходимо отнести к списку особенностей карбонатных отложений, усложняющих применение методов ГИС (метод сопротивлений), разность минерализации вод, насыщающих межзерновое пространство непроницаемой матрицы породы и вод, находящихся в кавернах и трещинах.

Для месторождений Восточного Предкавказья при определении К_н методами ГИС применяется уравнение Арчи-Дахновас использованием зависимостей, полученных для верхнемеловых отложений Восточного Предкавказья СКТБ ПГ [СКТБ] г. Грозный [6].

Величина параметра насыщения R_н, рассчитывается по формуле:

$$R_n = \rho_n / \rho_{вп}, \quad (1)$$

где ρ_n — удельное электрическое сопротивление породы по данным ИК (БКЗ);

$\rho_{вп}$ — удельное электрическое сопротивление полностью водонасыщенной породы, рассчитываемое по величине K_п:

$$\rho_{вп} = P_n \times \rho_v, \quad (2)$$

где $\rho_v = 0,05$ Ом мм изменяется в зависимости от пластовой температуры и минерализации пластовой воды г/л.

K_п — коэффициент пористости.

По зависимости СКТБ ПГ:

$$P_n = 0,6 / K_p^{2,1} \quad (3)$$

по найденной величине блоковой пористости (по АК, БКЗ) оценивается параметр пористости R_п и затем (по 2, 3) УЭС пласта при 100% его водонасыщенности $\rho_{вп}$.

Коэффициент водонасыщения K_в определяется по зависимости:

$$R_n = 1 / K_v^{1,8} \quad (4)$$

Обоснование зависимости $P_n = f(K_v)$ выполнено по керну методом центрифугирования на образцах пород с пористостью 15–27,7%.

Используемое уравнение Арчи-Дахнова, подразумевает определение K_n по параметрам пористости и электрического сопротивления оцениваемого разреза, полученных методами ГИС, на достоверность которых существенно влияют перечисленные выше особенности маастрихтских отложений. Также лабораторные исследования показывают, что эффективной емкостью данных отложений являются трещины [2] и если на месторождениях ТЧНР, имеющих заполнение трещин чистой нефтью, можно добиться контрастности, то на месторождениях ПСП данные трещины имеют двухфазное заполнение с значительно меньшей долей нефти. В данных условиях определение коэффициента нефтенасыщенности по ГИС на количественном уровне, для месторождений ПНР является еще более трудоемкой задачей [5].

С учетом вышеперечисленных факторов, осложняющих изучение карбонатных коллекторов по данным ГИС, на исследуемой территории, предлагается привлечение дополнительного метода с целью определения K_n как на новых залежах, так и на уже разрабатываемых для уточнения принятых ранее значений.

В настоящее время накоплен опыт разработки карбонатных трещинных коллекторов месторождений ПНР и ТЧНР.

Залежи нефти месторождений ТЧНР, такие как Малгобек-Вознесенское, Карабулак-Ачалуки и Заманкул окончательно сформированы и имеют достаточно высокую начальную нефтенасыщенность. При разработке таких залежей имеется длительный период, когда эксплуатация скважин проходит при безводном или незначительном обводнении получаемой продукции. Результаты же длительной эксплуатации верхнемеловых залежей Ачикулакского, Лесного и др. нефтяных месторождений ПНР свидетельствуют о наличии воды в продукции с момента их ввода в работу (начальная обводненность составляет 40–95%). Таким образом, изучаемые нефтегазоносные районы и приуроченные к ним залежи, также отличаются особенностями разработки. Различия обусловлены в большей степени разностью петрофизических свойств отложений (см. табл. 1), в меньшей – PVT свойств нефти и попутно добываемой воды (табл. 2).

Анализ разработки этих месторождений позволил выполнить моделирование процесса вытеснения и, используя функцию Баклея-Левретта, определить по доле нефти в продукции на этапе первых опробований новых залежей значения нефтенасыщенности. Для выполнения указанных расчетов были вычислены объемы подвижных запасов по каждой залежи с помощью промыслово-статистических методов и характеристик вытеснения (использовались зависимости Камбарова Г.С. и Назарова С.Н., Сипачева Н.В.).

Ниже рассмотрим данный подход на примере нескольких месторождений ТЧНР и ПНР.

Таблица 2. ХАРАКТЕРИСТИКА НЕФТИ, ПОПУТНОЙ ВОДЫ ВЕРХНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ
Table 2. Characteristics of oil, associated water of the Upper Cretaceous deposits of the deposits of the Ingush Republic and the Stavropol Territory

Характеристики	Терско-Сунженский нефтегазоносный район			Прикумский нефтегазоносный район		
	Малгобек-Вознесенское - ГН	Кара-булак-Ачалукское-ГН	Заман-кульское-Н	Ачикулакское-Н	Лесное-Н	Советское-Н
Характеристика пластов						
г) нефтенасыщенность	0,9	0,85	0,8	0,31	0,27	0,23
д) коэффициент извлечения нефти	0,7	0,59	0,55	0,44	0,41	0,3
е)проницаемость, кв. мкм	0,27	0,36	0,23	0,049	0,05	0,0068
Качественная характеристика нефти						
а) плотность, г/куб. см	0,837	0,82	0,841	0,865	0,855	0,856
б) вязкость в пластовых условиях, мПа·с	0,261	0,26	1,307	1,13	1,32	0,88
Качественная характеристика пластовой нефти						
Плотность, г/см ³	0,667	0,594	0,7846	0,760	0,717	0,705
Давление насыщения, МПа	20	28	4,1	5,4	7,2	6,5
Газосодержание, м ³ /т	208	344	30,3	34,3	76,5	52,5
Объемный коэффициент	1,6	1,9	1,12	1,16	1,3	1,31
Вязкость, мПа·с	0,261	0,26	1,24	1,13	1,32	0,88
Пластовая вода						
Плотность, г/см ³	1,027	1,043	1,027	1,025	1,034	1,025
Вязкость, мПа·с	0,35	0,37	0,35		0,4	0,4

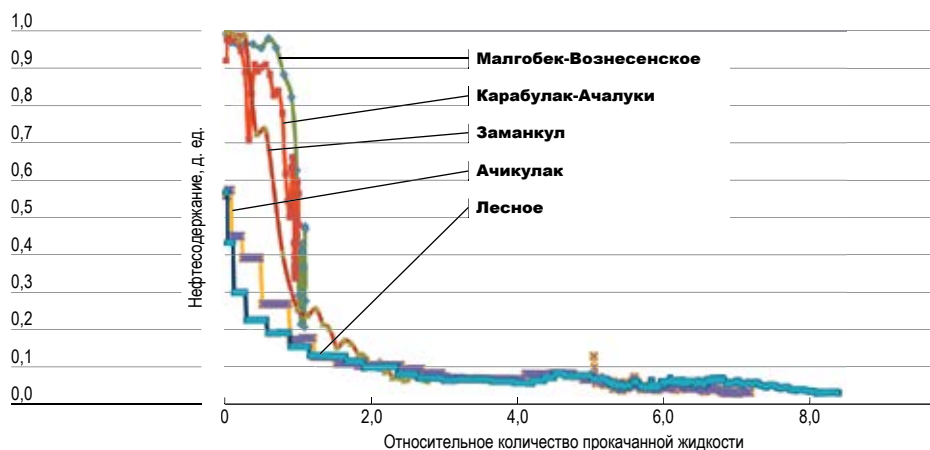


Рис. 1. Зависимость нефтесодержания продукции от относительного количества прокачанной жидкости.

Fig. 1. The dependence of the oil content of the product on the relative amount of pumped fluid.

Для месторождений изучаемых нефтегазоносных районов построены графики зависимостей характеристик вытеснения, ТСНР Малгобек-Вознесенское, Карабулак-Ачалуки, Заманкул и ПНР Ачикулакское и Лесное, представленных на рисунках 1, 2.

По данным разработки месторождений Заманкульского (рис. 3), и Ачикулакского (рис. 4) также построены зависимости обводненности продукции от степени охвата заводнением залежи (подобные построения выполнены и для месторождений Малгобек-Вознесенского, Карабулак-Ачалуковского). На график нанесена линия тренда, представленная функцией Баклея-Левретта, линии функции построены с помощью модифицированных диаграмм относительных фазовых проницаемостей для нефти и воды. Модифицированные кривые фазовых проницаемостей для нефти и воды представлены формулами вида:

$$F(S) = \frac{K_{\text{во}}(S_{\text{в}})}{K_{\text{во}}(S_{\text{в}}) \frac{\mu_{\text{в}}}{\mu_{\text{н}}} + K_{\text{но}}(S_{\text{в}})} - \text{функция Баклея-Левретта (5)}$$

$$K_{\text{но}}(S_{\text{в}}) = K_{\text{но}}(S_{\text{св}}) \times \left(\frac{1 - S_{\text{он}} - S_{\text{в}}}{1 - S_{\text{он}} - S_{\text{св}}} \right)^{a-b(S_{\text{в}} - S_{\text{св}})}, \quad (6)$$

$$K_{\text{во}}(S_{\text{в}}) = K_{\text{во}}(S_{\text{он}}) \times \left(\frac{S_{\text{в}} - S_{\text{св}}}{1 - S_{\text{он}} - S_{\text{св}}} \right)^{a+b(S_{\text{в}} - S_{\text{св}})}, \quad (7)$$

где $K_{\text{но}}(S_{\text{в}})$, $K_{\text{во}}(S_{\text{в}})$ – относительные фазовые проницаемости соответственно для нефти и воды;

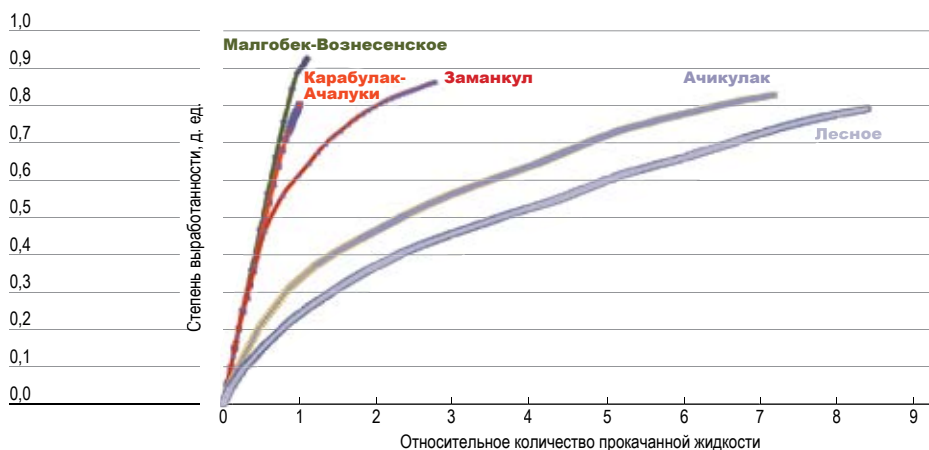


Рис. 2.

Зависимость степени выработанности от относительного количества прокачанной жидкости.

Fig. 2. Dependence of the degree of depletion on the relative amount of pumped fluid.

$S_v, S_{св}$ — соответственно текущая водонасыщенность и связанная вода;

$S_{он}$ — остаточная нефтенасыщенность;

$K_{но}(S_{св})$ — относительная фазовая проницаемость по нефти при наличии только связанной воды

$K_{во}(S_{он})$ — относительная фазовая проницаемость по воде при наличии только остаточной нефти и связанной воды

a, b и c, d — коэффициенты в степени уравнений определяются по фактическим данным истории разработки пластов.

По зависимости обводненности продукции от степени охвата заводнением залежи и соответствующей функции Баклея-Лeverетта построены модифицированные диаграммы относительных фазовых проницаемостей для нефти и воды, на рисунке 5 представлены построения для месторождения Заманкул (подобные построения выполнены и для месторождений Малгобек-Вознесенского, Карабулак-Ачалуковского).

Построенные зависимости можно использовать для определения K_n новых залежей, в этом случае за аналог принимается гидродинамическая модель разработки маастрихтского яруса в том или ином нефтегазоносном районе. Далее с помощью графиков функций Баклея-Лeverетта месторождения-аналога, по значениям обводненности определяется водонасыщенность и, соответственно, K_n изучаемой залежи.

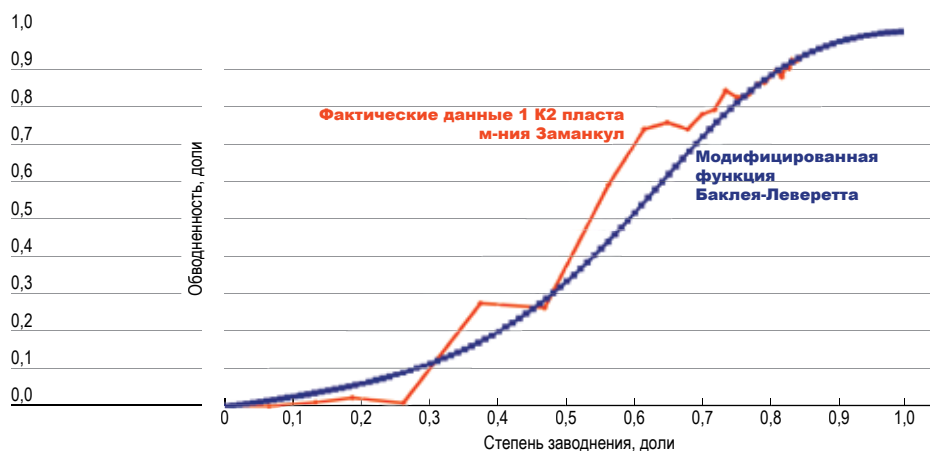


Рис. 3. Зависимость обводненности продукции от степени заводнения пласта 1 K2 верхнего мела месторождения Заманкул.
Fig. 3. The dependence of the water cut of the product on the degree of water flooding of the reservoir 1 K2 of the Upper Cretaceous of the Zamankul deposit.

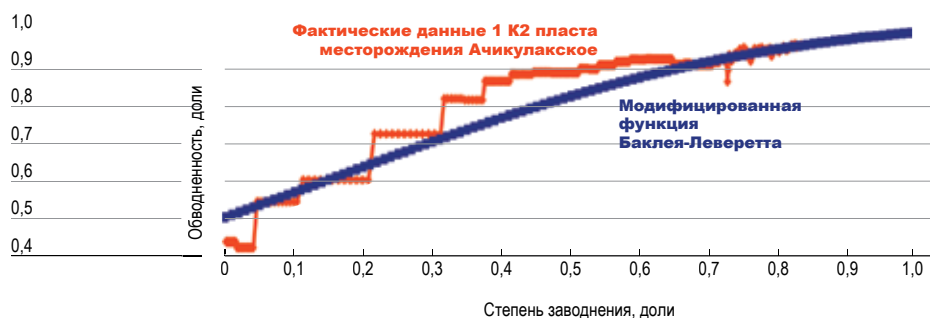


Рис. 4. Зависимость обводненности продукции от степени заводнения пласта 1 K2 верхнего мела месторождения Ачикулак.
Fig. 4 The dependence of the water cut of the product on the degree of water flooding of the reservoir 1 K2 of the Upper Cretaceous of the Achikulak deposit.

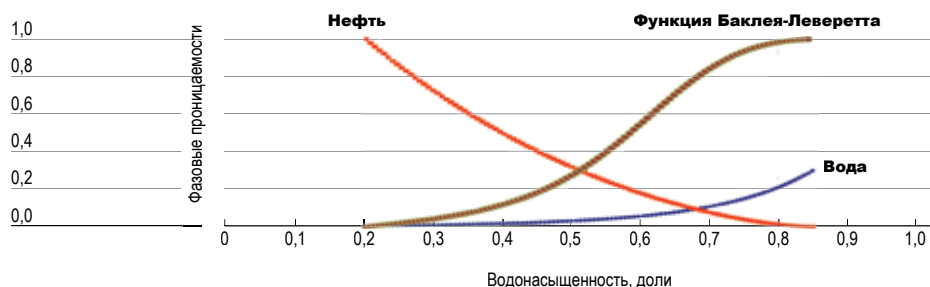


Рис. 5. Относительные фазовые проницаемости верхнего мела месторождения Заманкул.
Fig. 5. Relative phase permeability of the Upper Cretaceous of the Zamankul deposit.

Полученные результаты определения K_n подтверждаются данными опробований и историей разработки многочисленных уже эксплуатируемых месторождений ПНР.

Выводы

В отличие от методов ГИС, решающих задачу определения K_n скорее на качественном уровне, представленный алгоритм определения нефтенасыщенности позволяет дать количественную оценку указанного параметра. На более зрелых стадиях разработки при получении собственных данных строится функция Баклея-Лeverетта уже для самого месторождения с получением более точных данных, позволяющих эффективно проектировать дальнейшую разработку. Вместе с тем предложенная методика несколько не умоляет значение методов ГИС при определении подсчетных параметров маастрихтских залежей нефти и газа, как отмечено в работе [3, 5], к решению данной задачи нужно подходить комплексно с применением как данных ГИС, ГДИ, так и расчетных с использованием статистических данных.

Библиографический список

1. Багринцева К.И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. М., ВНИГНИ, 1999.
2. Бурлаков И.А., Плотников М.С., Полосин Г.А., Маастрихтские отложения Восточного Ставрополя. «Геология нефти и газа», №6, М., «Недра», 1978, с. 66-70.
3. Демьянов А.С., Дудаев С.М., Дудаев С.А., Батагов И.В., Блашенко С.О. Обоснование эффективности геолого-геофизических методов выделения и оценки продуктивных объектов в нефтекумской свите нижнетриасовых отложений // Каротажник. Тверь. 2018. №6. С. 28-40.
4. Ибатуллин Р.Р. Теоретические основы процессов разработки нефтяных месторождений. Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2009. 200 с.
5. Итенберг С.С., Шнурман Г.А. Интерпретация результатов каротажа сложных коллекторов. М.: Недра, 1984.
6. Методические рекомендации «Выделение и оценка сложных карбонатных коллекторов методами промысловой геофизики в разрезе глубоких скважин» / А.Ф. Боярчук, Г.А. Шнурман, В.С. Афанасьев, О.В. Бирюкова, В.П. Кереселидзе, Л.П. Чурилов, И.Г. Чурилова. Грозный: Изд. СКТБ ПГ, 1978.

References

1. Bagrintseva K.I. Formation conditions and properties of carbonate reservoirs of oil and gas. M., VNIGNI, 1999.
2. Burlakov I.A., Plotnikov M.S., Polosin G.A., Maastricht deposits of the Eastern Stavropol Territory. «The Geology of Oil and Gas», No. 6, M.: Nedra, 1978, p. 66–70.
3. Demyanov A.S., Dudaev S.M., Dudaev S.A., Batagov I.V., Blash-

enko S.O. Justification of the effectiveness of geological and geophysical methods for isolating and evaluating productive objects in the Neftekum suite of Lower Triassic deposits // Logger. Tver. 2018. No 6. S. 28–40.

4. Ibatullin R.R. Theoretical foundations of oil field development processes. Almet'yevsk: Almet'yevsk State Oil Institute, 2009. 200 p.
5. Itenberg S.S., Shnurman G.A. Interpretation of the logging results of complex reservoirs. M.: The bowels, 1984.
6. Methodical recommendations "Isolation and evaluation of complex carbonate reservoirs by field geophysics methods in the context of deep wells" / A.F. Boyarchuk, G.A. Shnurman, V.S. Afanasyev, O.V. Biryukova, V.P. Kereselidze, L.P. Churilov, I.G. Churilova. Grozny: Publ. SKTB PG, 1978.

**Поступило в редакцию 21.02.2020,
принята к публикации 02.03.2020**

Сведения об авторах

- Демьянов** Алексей Сергеевич, ген. директор ООО «ПолитехГЕО». Телефон: 89034413054. E-mail: demyanov_aleksey@list.ru
- Батищев** Юрий Васильевич, гл. инженер ООО «ПолитехГЕО», Телефон: 89034413054. E-mail: batishev.y.v@yandex.ru
- Папоротная** Анна Александровна, канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры геофизические методы поиска и разведки полезных ископаемых СКФУ. 89614537991. anna2273@yandex.ru
- Полосин** Геннадий Александрович, канд. геол.-минерал. наук, консультант ООО «ПолитехГЕО». Телефон: 89282661480. E-mail: polosin37@yandex.ru

About the authors

- Demyanov** Alexey Sergeevich, gene. Director of PolytechGEO LLC. Phone: 89034413054. E-mail: demyanov_aleksey@list.ru
- Batishchev** Yuri Vasilyevich, Ch. Engineer, LLC PolytechGEO, Phone: 89034413054. E-mail: batishev.y.v@yandex.ru
- Paporotnaya** Anna Alexandrovna, Candidate of Geological and Mineral Sciences, Associate Professor of the Department of Geophysical Methods for the Search and Exploration of Minerals of SKFU 89614537991. anna2273@yandex.ru
- Polosin** Gennady Alexandrovich, Ph.D. geol.-mineral.science, consultant, LLC PolytechGEO. Phone: 89282661480. E-mail: polosin37@yandex.ru

25.00.15
УДК 532.542,550.8.014

ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН

Гаязов М.С.,*
Яруллин Р.К.,
Космыллин Д.В.

Башкирский государственный университет,
г. Уфа,
Россия. * gaiver28@mail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ТЕПЛОВЫХ МЕТОЧНЫХ РАСХОДОМЕРОВ

Введение.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований применимости метода регулярных тепловых меток для решения практических задач в условиях горизонтальной скважины. По полученным результатам произведена оценка минимально и максимально возможной измерительной базы между двумя соседними точками контроля термоаномалии. Результаты исследования показали принципиальную возможность применения метода в условиях однофазного и двухфазного расслоенного потока.

Материалы и методы исследования.

Исследования проводились на сертифицированном термогидродинамическом стенде Башкирского Государственного Университета, с использованием малоинерционных датчиков температуры (термопар k-типа). Большая точность измерений достигнута путем накопления достаточного количества лабораторных данных и предварительной тарировкой средств измерения. Методы исследования заключается в обобщении и анализе регистрируемой информации, изучении аналитических зависимостей гидродинамических параметров флюида внутри горизонтального ствола скважины.

Результаты исследования и их обсуждение.

Экспериментально исследована эволюция искусственно сгенерированной тепловой метки вдоль горизонтального/субгоризонтального потока. Работы проводились в условиях однофазного и двухфазного потока жидкости. Отработан алгоритм обработки данных для построения кривых распределения профиля потока с выходом на общий дебит. Рассчитан градиент затухания термоаномалии в процессе его продвижения. Аналитически и экспериментально подобраны максимально и минимально допустимые диапазоны измерительной базы меточного расходомера в зависимости от скорости (дебита) потока жидкости.

Выводы.

По итогам исследований показана принципиальная возможность применения метода регулярных температурных меток в условиях одно-двухфазного расслоенного потока жидкости. Главная сложность расчета регистрируемых данных – определения уровня водомасляного (нефтяного) контакта (Hold Up) в горизонтальном расслоенном потоке. Кроме того, дополнительную сложность измерения вносит эффект термогравитационного расслоения внутри каждой жидкости. Экспериментально подтверждено, что увеличения измерительной базы приводит к увеличению точности измерения, но добавляет сложности при обработке данных, за счет не постоянного уровня НУ по длине стенда и неравномерного профиля фронта скорости движения. Также обозначены требования к конфигурации скважинной аппаратуры, обеспечивающей возможность оценки поинтервальных фазовых расходов в низкодебитных горизонтальных скважинах. За счет субъективного фактора при анализе и обработке регистрируемых данных, для успешной работоспособности метода время “пробега” термоаномалии не должно быть менее 15 сек.

Ключевые слова:

горизонтальные скважины, температурные метки, локальные скорости, контроль за разработкой.

Gayazov M.S. *,
Yarullin R.K.,
Kosmillin D.V.
Bashkir State University,
Ufa,
Russia
* gaiver28@mail.com

Optimization of the Measuring Base of Thermal Tag Flow Meters

Introduction. The article presents the results of experimental studies of the applicability of the method of regular thermal labels for solving practical problems in a horizontal well. According to the obtained results the estimation of the minimum and maximum gauge length between two adjacent control points of Terminalia. The results of the study showed that the method can be applied in a single-phase and two-phase stratified flow.

Materials and methods of the research. The research was carried out on a certified thermohydrodynamic stand of Bashkir State University, using low-inertia temperature sensors (K-type thermocouples). Greater measurement accuracy is achieved by accumulating a sufficient amount of laboratory data and pre-calibration of measuring instruments. Research methods consist in generalization and analysis of the recorded information, study of analytical dependencies of hydrodynamic parameters of the fluid inside the horizontal well bore.

The results of the study and their discussion. The evolution of an artificially generated heat label along a horizontal/subhorizontal flow is experimentally investigated. The work was carried out in conditions of single-phase and two-phase fluid flow. The algorithm of data processing for constructing distribution curves of the flow profile with output to the total flow rate has been developed. The calculated gradient of the decay of Terminalia in the process of its promotion. Analytically and experimentally selected the maximum and minimum permissible ranges of the measuring base of the label flow meter, depending on the speed (flow rate) of the liquid flow.

Conclusions. Based on the results of the research, the principal possibility of using the method of regular temperature labels in the conditions of a single-two-phase stratified fluid flow is shown. The main difficulty in calculating the recorded data is determining the level of water-oil (oil) contact (Hold Up) in a horizontal stratified flow. In addition, the effect of thermogravitational stratification inside each liquid adds to the complexity of measurement. It is experimentally confirmed that increasing the measurement base leads to an increase in measurement accuracy, but adds complexity to data processing, due to a non-constant level of movement along the length of the stand and an uneven profile of the speed front. The requirements for the configuration of downhole equipment that provides the ability to assess the point-to-point phase flow in low-flow horizontal wells are also outlined. Due to the subjective factor in the analysis and processing of recorded data, for the successful operation of the method, the "run" time of thermoanomaly should not be less than 15 seconds.

Keywords: horizontal wells, temperature tags, local speeds, development control.

Введение

В связи с постепенным истощением традиционных залежей углеводородов, постепенно увеличивается доля добычи нефти за счет разработки трудноизвлекаемых залежей, в том числе высовязких нефтей и разработки нефтяных пластов со сложным геологическим строением и малой проницаемостью. В таких условиях одним из используемых приемов увеличения коэффициента извлечения углеводородов является бурение горизонтальных скважин, нередко с применением технологии гидроразрыва пластов. Причем, горизонтальное бурение применяется как на месторождениях старого фонда, так и при освоении новых.

По мнению Deloitte, рост горизонтального бурения за 2018 год на 19% – до 13,4 млн. м., стал одной из ключевых тенденций развития нефтесервисного рынка в прошлом году, и составляет почти половину всех объемов эксплуатационного бурения (48%) [1]. Эта тенденция влечет за собой развитие нефтесервисных услуг, в том числе в области промысловых геофизических исследованиях (ПГИ).

На сегодняшний день остро стоит вопрос по определению фазовых расходов с оценкой поинтервального дебита. Поставленная задача осложняется при наличии двух и более работающих пластов или при наличии нескольких портов гидроразрыва пласта (ГРП).

Традиционные методы измерения расходных параметров, проверенные временем в вертикальных или слабонаклонных скважинах, не справляются с поставленными задачами. Прежде всего, это обусловлено наличием в горизонтальном стволе скважины расслоенного многофазного потока и не равномерностью вертикального распределения скоростей течения каждой из фаз [2].

Как альтернативу традиционным расходомерам, нами предложен метод регулярных температурных меток, который является ответвлением метода активной термометрии, для определения локальных фазовых скоростей с выходом на общий дебит [3]. Данный метод имеет свои значимые преимущества в сравнении с известными меточными расходомерами:

- Не требует дорогостоящего и хрупкого генератора нейтронов;
- Отсутствует необходимость применения контрастных жидкостей;
- Нет ограничений по количеству и длительности генерируемых тепловых меток за одну спуск-подъемную операцию.

Для внедрения в производство и в сферу геофизических услуг разрабатываемого метода, необходимо разработать аппаратный комплекс, отвечающий требованиям по метрологии ПГИ. Одним из важных критериев, учиты-

ваемых при конструировании аппаратуры, являются его геометрические параметры. Зачастую считается, что приборный комплекс должен иметь минимальную длину, что противоречит принципам применения меточных расходомеров.

С целью оптимизации линейных размеров скважинной аппаратуры, на базе инновационного центра «Технопарк» БашГУ был проведен ряд экспериментов, направленных на исследование формирования тепловой метки, ее эволюцию и определения минимального базового расстояния между группами датчиков температуры. Исследования выполнялись на трех конфигурациях стендов, моделирующих различную геометрию хвостовика горизонтальной скважины.

Материалы и методы исследований

Конструктивные особенности термогидродинамического стенда.

Стенд №1. Изучение скорости расформирования тепловой метки проводилось на стенде из оптически прозрачного стекла с внутренним диаметром $D = 149 \pm 1$ мм и длиной более 12 м (рис. 1) [4]. Отличительной чертой стенда является наличие интервала фильтра, диаметром 210 мм, без притока, эквивалентного увеличению эффективного сечения потока, что позволяет оценить вклад от элементов конструкции скважины.

Особенности стенда:

- оптически прозрачная конструкция позволяет визуально наблюдать структуру потока с применением оптически контрастных меток;
- диаметр трубы обеспечивает гидродинамическое подобие с традиционной стальной колонной $D = 168$ мм, широко используемой в конструкции скважин.

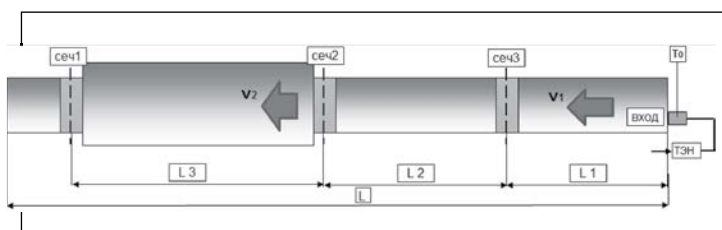


Рис. 1.

Конфигурация гидродинамического стенда с вертикальными термосканерами. Сеч1, сеч2, сеч3 – места размещения датчиков Т; ТЭН – проточный нагреватель, Т0 – точка контроля входной температуры, $L = 12$ м, $L1 = L3 = 3$ м, $L2 = 2.8$ м.

Fig.1 – Configuration of a hydrodynamic stand with vertical thermal scanners. Сеч1, Сеч2, Сеч3 – locations of sensors T; ten – flow heater, T0 – point of control of the input temperature, $L = 12$ m, $L1 = L3 = 3$ m, $L2 = 2.8$ m.

По длине стенда размещены три группы малоинерционных датчиков температуры. Базовые расстояния между точками регистрации

$$L_1 = L_3 = 3 \text{ м}, L_2 = 2,8 \text{ м}.$$

На каждом сечении в вертикальной плоскости размещены 5 датчиков температуры с постоянным шагом по 30 мм. Крайние датчики для снижения краевых эффектов отнесены от стенок трубы на 15 мм.

Стенд №2. Внутренний диаметр оптически прозрачной трубы составляет $D = 96 \pm 2$ мм, что сопоставимо с внутренним диаметром стальной колонны $D = 114$ мм, используемой в «хвостовике» горизонтальной скважины, рис. 2. Элементы конструкции стенда обеспечивают изменение угла наклона труб в диапазоне от -3.50 (нисходящий поток) до $+3.50$ (восходящий поток).

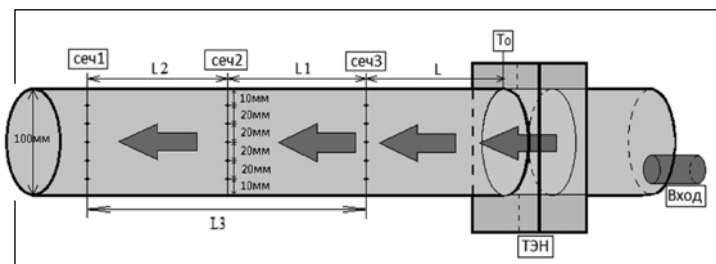


Рис 2.

Схематическое представление стенда с основными размерами. $L_1 = L_2 = 1$ м. ТЭН – зона формирования термоаномалии.

Fig. 2. Schematic representation of the stand with the main dimensions.

$L_1 = L_2 = 1$ m. ten – zone of formation of a thermoanomaly.

На трех сечениях стенда размещены группы из 5 вертикально разнесенных датчиков температуры (рис. 3), что позволяет наблюдать и регистрировать динамику движения температурной метки по длине стенда в условиях расслоенного потока.

Стенд №3. Внутренний диаметр 50 ± 2 мм (рис. 4), что соответствует традиционно используемым обсадным колоннам боковых стволов при разбуривании старого фонда скважин.

Для формирования термоаномалии в потоке используется интервал стальной трубы, перегреваемой кратковременным выделением тепла электрическим нагревателем.

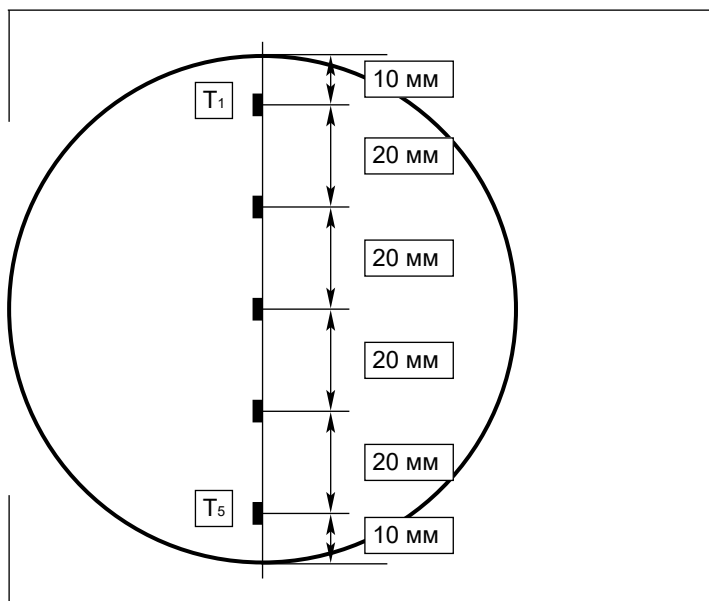


Рис. 3.

Схема расположения датчиков Т по сечению трубы.

Fig. 3. General view and schematic arrangement of thermocouples along the normal cross section of the pipe.

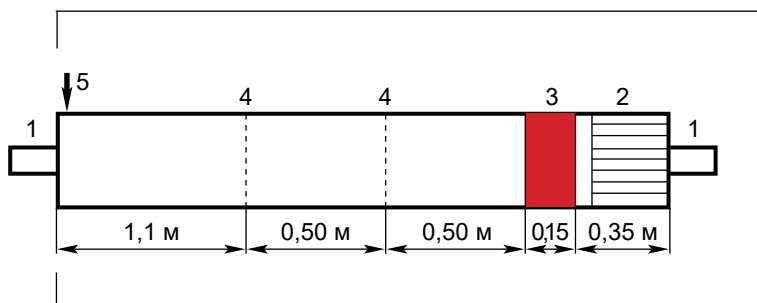


Рис. 4.

Схема конфигурации стенда №3.

1 – система патрубков вход/выход рабочей жидкости; 2 – линеризатор потока; 3 – зона нагрева стальной трубы; 4 – две группы распределенных в вертикальном сечении датчиков температуры с базовым расстоянием 0,5 м и отступом от зоны нагревателя 0,5 м; 5 – система стравливания газа из рабочего участка стенда.

Fig. 4. Configuration diagram of stand №3. 1 – system of pipes inlet/outlet of the working fluid; 2 – flow linearizer; 3 – steel pipe heating zone; 4 – two groups of temperature sensors distributed in a vertical section with a base distance of 0.5 m and a deviation from the heater zone of 0.5 m; 5 – gas bleed system from the working area of the stand.

Общие характеристики и особенности стендов приведены в таблице №1. Оценка максимальной скорости потока в трубах выполнена для дебита $Q_{\max} = 3 \text{ м}^3/\text{час}$, что соответствует среднему дебиту скважин, эксплуатирующих низкопроницаемые коллектора.

Таблица 1
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ
СТЕНДОВ
Table 1. Characteristics of thermohydrodynamic stands

Стенд	D внут-ний, мм	L, м	Длина измер. базы l, м	v _{max} , см/с	Re	Особенности
№1	149 ± 1	> 12	$l_1 = l_3 = 3$ $l_2 = 2,8$	0,05	7000	• Оптически прозрач- ный стенд. • Интервал расширения сечения потока до D = 210 мм
№2	96 ± 2	> 3	$l_1 = l_2 = 1$	0,12	11000	• Оптически прозрач- ный стенд. • Отклонение от гори- зонтали на ± 3,5 °
№3	50 ± 2	> 2,5	$l = 0,5$	0,45	21000	Нагрев стальной трубы

Системы подачи, контроля и измерения.

Контроль температуры выполнялся датчиками температу-
ры на основе термопары k-типа фирмы «Тесей» с тепловой инерцией $\tau < 0,5 \text{ с}$. Датчики подключены к единому измерительному комплексу на основе моду-
ля NI 9214 и работают в среде Lab View, что исключается искажение исходно-
го сигнала на уровне анализатора. Предварительно термопары прошли тари-
ровку как в условиях пассивного термостата, так и в калибраторе температур
КТ–1М. Для подачи рабочих флюидов использованы центробежные насосы
Wilo MHI 1603, регулировка дебита (частоты вращения насоса) осуществля-
ется преобразователем EasyDrive ED3100. Жидкость движется по замкнуто-
му контуру, что обеспечивает необходимую длительность эксперимента и ис-
ключает изменение ее теплофизических свойств.

Все средства измерения, были задействованы с основного термогидро-
динамического стенда для исследования многофазных потоков и тестирова-
ния скважинной аппаратуры [5]. Стенд имеет сертификат о калибровке сред-
ства измерения № 098-05/17 выданный Государственным унитарным пред-
приятием Центр метрологических исследований «Урал-Гео», от 12 мая 2017 г.

Результаты исследований и их обсуждение

Температурная метка формируется на входе, и ведется её наблюдение по реакции распределенных датчиков температуры на разных расстояниях по длине станда. В процессе своей эволюции температурная метка выполаживается и постепенно «затухает». На рисунке 5 представлена реакция датчиков температуры, расположенных по оси трубы, на продвижения термоаномалии по длине станда №1.

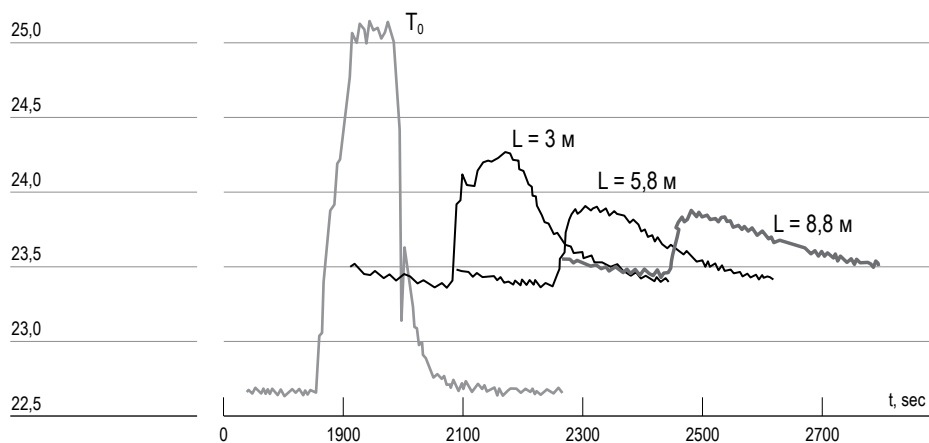


Рис. 5. Эволюция одиночной термоаномалии по длине станда, регистрируемая на оси трубы датчиком T_3 на различном расстоянии от точки формирования

Fig.5. Evolution of a single thermoanomaly along the length of the stand, recorded on the pipe axis by the t_3 sensor at different distances from the point of formation

Как видим, с увеличением расстояния от точки формирования, амплитуда аномалии существенно снижается. В данном эксперименте при заданном расходе воды $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{час}$, темп затухания термоаномалии равен $\Delta T / \Delta t \approx 0,12 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$. По серии экспериментов, выполненных в условиях ламинарного режима течения, темп затухания не превысил $0,2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$.

С учетом реальной разрешающей способности скважинных термометров $\epsilon < 0,05 \text{ }^\circ\text{C}$ [6], амплитуда термоаномалии в $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ будет достаточной для отслеживания ее движения и эволюции в потоке, и время её «жизни» в ламинарном потоке составит более 2 минут.

Исходя из выполненных оценок времени существования температурной метки, выполнена оценка максимального расстояния между точками измерения температуры по длине, и алгоритм оценки локальной скорости по сечению потока.

$$v = \frac{Li}{t} \quad (1)$$

где v – скорость потока в слое,
 Li – базовое расстояние между сечениями,
 t – время прохождения фронта термоаномалии между точками наблюдения. Время прохода термоаномалии между двумя соседними сечениями рассчитывалась по фронту движения температурной метки (рис. 6)

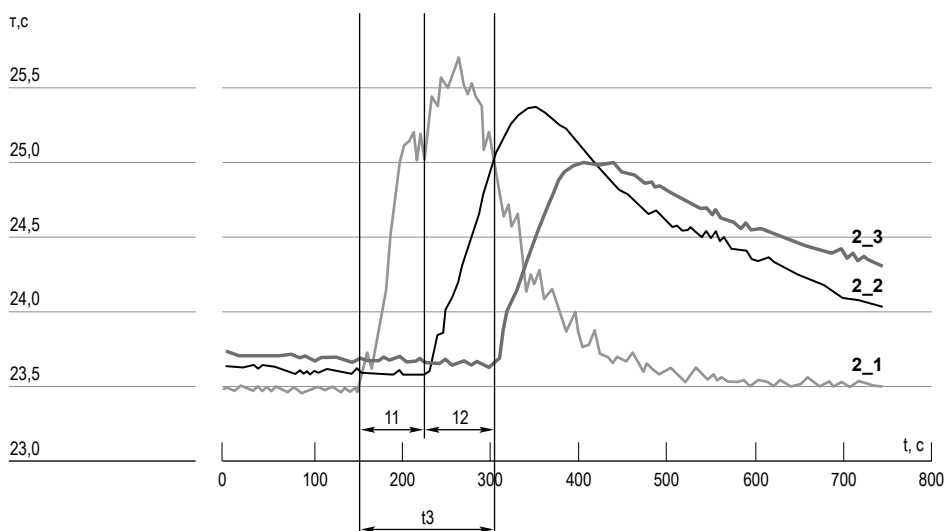


Рис. 6. Алгоритм расчета времени “пробега” искусственной термоаномалии. Стенд №2.

Fig. 6. Calculation algorithm of time “mileage” synthetic terminaali. Stand №2.

Стоит отдельно отметить, что в ламинарном потоке вертикальное распределение скоростей будет искажено за счет эффекта термогравитационного расслоения (рис. 7) [7].

Как и следовало ожидать, поток «горячей» воды движется по верхней образующей, движения жидкости по нижней образующей не наблюдается, или оно имеет пренебрежимо малую скорость

Для перехода от линейных скоростей расслоенного потока к дебиту необходимо выделить площадь «захвата» и умножить на среднюю скорость потока в этом сегменте (рис. 8.)

По результатам анализа экспериментальных данных установлено, что наблюдение процесса эволюции серия термоаномалий в горизонтальном потоке, формируемых в виде пакета из 5 импульсов, обеспечивает возможность измерения локальной скорости в слое с точностью не хуже 8%.

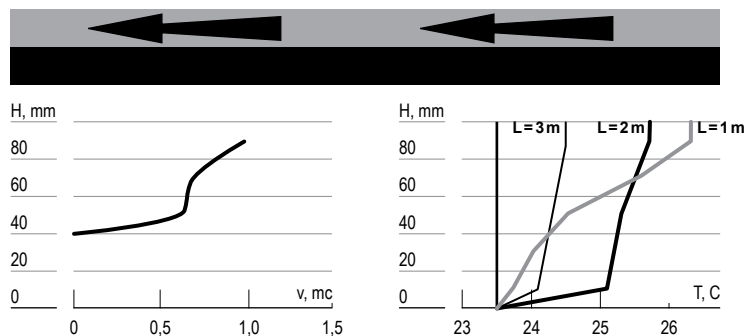


Рис. 7.

Распределение линейной скорости потока по вертикали, построенное методом температурных меток на стенде №2. Распределение средней температуры потока по вертикали для сечений $L = 1$ м, $L = 2$ м, $L = 3$ м.

Fig. 7. Vertical distribution of the linear flow rate, based on the method of temperature labels on the stand №2. Vertical distribution of the average flow temperature for sections $L = 1$ m, $L = 2$ m, $L = 3$ m.

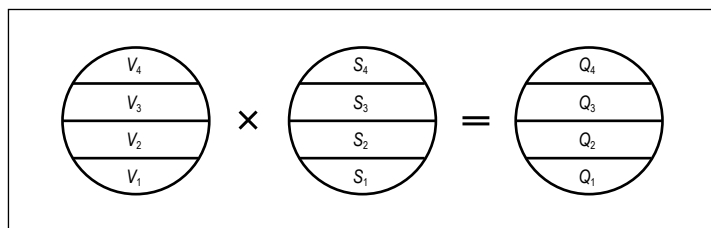


Рис. 8.

Алгоритм расчета удельного дебита по «слоям».

Fig. 8. The algorithm of calculation of specific production rate on the "layers".

Аналогичные работы были выполнены на стенде №3. Основные результаты оценки распределения локальных скоростей с выходом на общий дебит приведены в таблице №2.

Наибольшая погрешность между рассчитанным и фактическим расходом наблюдается для малого времени "пробега". Это связано с субъективным фактором при выборе момента подхода термоаномалии к измерительному сечению. Условно, если истинное время пробега составляет 4 секунды, а в процессе обработки был выбран интервал равный 3 секундам, то разница в 1 секунду составит 25% от истинного значения. Для обеспечения требуемой при ПГИ точности измерения расхода, время "пробега" между соседними измерительными базами должно быть не менее 15 секунд.

Таблица 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ И ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ
«ПРОБЕГА»
Table 2. Characteristics of thermohydrodynamic stands

$Q_{\text{замер}},$ $\text{м}^3/\text{час}$	$Q_{\text{рас-ное}}$ $\text{м}^3/\text{час}$	$\Delta Q,$ $\text{м}^3/\text{час}$	$\Delta Q,$ %	$v_i,$ $\text{м}/\text{с}$	$v_{\text{ср}},$ $\text{м}/\text{с}$	$t_{\text{«пробега»}}$ с
0,240	0,252	0,012	5,000	0,043	0,034	15
				0,049		
				0,032		
				0,015		
0,520	0,559	0,039	7,500	0,065	0,074	7
				0,094		
				0,167		
				0,111		
0,990	0,739	0,251	25,354	0,078	0,140	3,6
				0,108		
				0,111		
				0,117		

Таблица 3. ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНО И МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ
Table 3. Evaluation of the maximum and minimum allowable measurement base

$D_{\text{колонны}},$ мм	$Q \text{ м}^3/\text{сут}$	$v_{\text{ср}},$ $\text{см}/\text{с}$	$L_{\text{мин}},$ м	$L_{\text{макс}},$ м
73	25	10	1,5	25
	50	20	3,0	25
	75	30	4,6	25
	100	40	6,1	25
114	25	4,7	0,6	9
	50	7,4	1,1	9
	75	11	1,7	9
	100	14,8	2,2	9
146	25	2	0,3	5
	50	4	0,6	5
	75	6	0,9	5
	100	8	1,2	5

Для перехода от времени жизни к пройденному расстоянию (или измерительной базе), при котором сохраняется значимая величина термоаномалии пересчитаем минимальную базу между точками измерения T , как $l = v_{ср} * t_{жизни}$. Результаты диапазона измерительной базы представлены в таблице №3.

Из рассчитанных данных можем говорить, что максимально допустимая база между соседними сечениями не зависит от дебита (скорости) потока, так как с увеличением скорости уменьшается амплитуда искусственной термоаномалии при постоянной мощности индуктора ($P = 1$ кВт). Оптимальное расстояние между двумя соседними сечениями – примерно 1 м.

Выводы:

- Экспериментально показана возможность оценки линейной скорости расслоенного неизотермического потока по движению искусственных температурных меток.
- Экспериментально установлено, что увеличение измерительной базы приводит к повышению точности оценки скорости по верхней образующей с потерей информации в целом по сечению за счет расформирования температурной метки.
- Для успешной работоспособности метода время прохода термоаномалии должно быть не менее 15 с.
- Скорость затухания амплитуды термоаномалии для ламинарного режима течения мала и не превышает $0,2$ °C/мин.
- Оптимальным решением является включение не менее трех сечения с различными по величине измерительными базами от $0,5$ м до $1,5$ м.

Библиографический список

1. Сафронов В.С. Обзор: Горизонтальное бурение занимает уже почти половину всех объемов // Интерфакс. – 2019 г. URL: <https://www.interfax.ru/business/656868> (дата обращения 3.04.2019 г.).
2. Горбачев Ю.И. Геофизические исследования скважин. Учебник для вузов. М.: Недра, 1990 г. – 400 с.
3. Гаязов М.С. Метод температурных меток оценки скорости потока и общего расхода применительно к условиям действующих горизонтальных скважин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. №2, 2017 г. С. 44–55.

4. Яруллин Р.К. Концепция применения метода температурных меток в горизонтальных скважинах в условиях многофазного потока / Р.К. Яруллин, А.Р. Яруллин, М.С. Гаязов // ПРОнефть. Научно-технический журнал «Газпром нефти». №1 (11), 2019 г., С. 7–11.
5. Валиуллин Р.А. Тестирование скважинной аппаратуры на стенде – как обязательный элемент испытания при разработке и передаче её в производство / Р.А. Валиуллин, Р.К. Яруллин, А.Р. Яруллин // «Нефтегазовое дело». 2012. №3. С. 300–308.
6. РД 153-39.0-072-01 Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах.
7. Яруллин А.Р. Экспериментальное исследование многофазных потоков на модели горизонтальной скважины / А.Р. Яруллин: автореф. дис. ... // РГБ–2013 г. (электронный ресурс) <https://search.rsl.ru/ru/record/01005543475>.

References

1. Safronov V. S. Review: Horizontal drilling takes up almost half of all volumes // Interfax. – 2019 URL: <https://www.interfax.ru/business/656868> (accessed 3.04.2019)
2. Gorbachev Yu. I. Geophysical studies of wells. Textbook for universities. M.: Nedra, 1990, 400 p
3. Gayazov M. S. Method of temperature marks for estimating the flow rate and total flow rate in relation to the conditions of operating horizontal wells. Izvestiya higher educational institutions. Volga region. Natural science. No. 2, 2017, Pp. 44–55.
4. Yarullin R. K., Yarullin A. R., Gayazov M. S. the Concept of applying the method of temperature marks in horizontal wells in multiphase flow conditions. Gazprom Neft scientific and technical magazine. No. 1 (11), 2019, Pp. 7–11.
5. Valiullin R. A., Yarullin R. K., Yarullin A. R. testing of downhole equipment on the stand – as a mandatory element of testing when developing and transferring it to production. // "Oil and gas business". 2012. – No. 3. Pp. 300-308.
6. RD 153-39. 0-072-01 Technical instructions for conducting geophysical research and work with cable-mounted devices in oil and gas wells
7. Yarullin A.R. Experimental investigation of multiphase flows on a horizontal well model. Abstract of dissertation. // RGB-2013 (electronic resource) <https://search.rsl.ru/ru/record/01005543475>

Поступило в редакцию 12.02.2020,
принята к публикации 02.03.2020.

Об авторах

- Гаязов** Марат Сальманович, зав. лаб. ИЦ «Технопарк», ассистент кафедры геофизики Башкирского Государственного Университета, Уфа, Россия телефон: +7(937)4739700, E-mail: gaiver28@mail.ru
- Яруллин** Рашид Камилевич, кандидат физико-математических наук, директор ИЦ «Технопарк», доцент кафедры геофизики Башкирского Государственного Университета, Уфа, Россия, телефон: +7(347)2299610, E-mail: rk@geotec.ru
- Космыллин** Денис Владимирович, ассистент кафедры геофизики Башкирского Государственного Университета, Уфа, Россия, телефон: +7 (996) 4002770, E-mail: Kosmylindenis@yandex.ru

About the authors

- Gayazov** Marat Salmanovich, head. lab. Technopark research center, assistant of the Department of Geophysics, Bashkir State University, Ufa, Russia phone: +7(937)4739700, E-mail: gaiver28@mail.ru
- Rashid** Kamilevich Yarullin, candidate of physical and mathematical Sciences, Director of Technopark research center, associate Professor of Geophysics Department of Bashkir State University, Ufa, Russia, phone: +7 (347)2299610, E-mail: rk@geotec.ru
- Kosmylin** Denis V. , assistant of the Department of Geophysics, Bashkir State University, Ufa, Russia, phone: +7 (996) 4002770, E-mail: Kosmylindenis@yandex.ru

25.00.23
УДК 551.435.627(470.638)

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ
И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

Разумов В.В.,
Висхаджиева К.С.,
Богданова Н.Д.,
Лысенко А.В.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, г. Москва (razumov_vv@mail.ru),
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва
Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве, г. Москва
Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия

ОПАСНОСТЬ И АКТИВНОСТЬ ОПОЛЗНЕВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

Введение:

Разнообразие геолого-геоморфологических условий региона Кавказских Минеральных Вод (КМВ) определило довольно широкий набор действующих здесь экзогенных геологических процессов, среди которых наибольшее развитие получили оползневые. Распространение оползней по территории КМВ носит зональный характер, а их активность определяется режимом природных факторов и уровнем техногенного воздействия на геологическую среду. Оба фактора характеризуются пространственно-временной изменчивостью, обуславливающей неравномерный характер оползневых проявлений в пространстве и времени.

Материалы и методы
исследования:

Основным методом, используемым в данной работе, стал анализ различных источников, содержащих информацию о распространении и активности проявления оползневых процессов на территории КМВ. В качестве вспомогательного также применялся картографический метод, позволивший наглядно отобразить распределение оползневых зон на изучаемой территории.

Результаты исследования
и их обсуждение:

Проводился анализ оползневой деятельности в регионе КМВ за последние 15 лет (2004–2019 гг.), который показал, что активность оползней различается по годам. Так, например, повышенный ее уровень отмечался в 2005, 2006, 2010, 2016–2019 гг. Была проведена также оценка подверженности изучаемой территории оползневым процессам, которая позволила установить, что разные районы характеризуются разной степенью оползневой опасности. Важно отметить, что приведенный в данной статье анализ результатов мониторинговых наблюдений за активностью оползневых процессов позволил только в общем виде оценить степень опасности и активности оползневых проявлений на территории КМВ, так как отсутствие материалов крупномасштабной оползневой съемки и карт (координат) точного местоположения основных оползневых массивов не позволяет представить полную картину развития оползневых процессов (с оценкой степени их опасности) на изучаемой территории.

Выводы:

Проведенные систематизация и анализ различных источников позволили оценить условия, причины, масштабы и опасность оползневых процессов, развитых на территории КМВ. Было отмечено, что в последнее время активизация оползней в регионе чаще всего происходит за счет хозяйственной деятельности. По результатам исследования удалось выявить наиболее подверженные оползневым процессам населенные пункты КМВ, а также установить, что преобладающее развитие оползни получили в Предгорном районе. Участились случаи активного проявления оползней с возникновением опасных и угрожающих ситуаций вдоль основных автодорог КМВ. Было показано, в том числе и в картографическом виде, что наиболее активно оползневые процессы проявляются в окрестностях городских агломераций региона.

Ключевые слова:

оползневые процессы; оползни; оползневые подвижки; оползневые формы; активизация оползней; оползневая деятельность

Razumov V.V.,
Viskhadzhieva K.S.,
Bogdanova N.D.,
Lysenko A.V.

Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia, razumov_vv@mail.ru;
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;
Russian Geotechnical Institute, Moscow, Russia;
North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

HAZARD AND ACTIVITY OF LANDSLIDES ON THE TERRITORY OF THE CAUCASIAN MINERAL WATERS

- Introduction:** Variety of geological and geomorphological conditions in the Caucasian Mineral Waters (CMW) region determines a wide set of exogenous geological processes operating here, among which landslides are the most developed. Spread of landslides across CMW territory is zonal and their activity is determined by the regime of natural factors and the level of anthropogenic impact on the geological environment. Both factors are characterized by spatial and temporal variability, which determines the spatial and temporal variability of landslide manifestations.
- Materials and methods of the research:** Main research method is the analysis of various sources containing information on the distribution and activity of landslides in CMW. Cartographic method was also used to visualize the landslide zones distribution in the study area.
The results of the study and their discussion: Landslide activity analysis over the last 15 years (2004–2019) has been carried out, showing that it varies by year. For example, it increased in 2005, 2006, 2010, 2016–2019. An assessment of landslide susceptibility of the studied area was also carried out, which made it possible to establish that different areas had different landslide hazards. It's important to note that the analysis of the monitoring results of landslide activity made it possible to assess only in general terms the degree of landslide hazard and activity in the CMW territory, as the lack of large-scale landslide survey materials and maps (coordinates) of the exact location of major landslide areas doesn't allow presenting a complete picture of landslide development (with an assessment of the degree of their hazard) in the studied territory.
- Conclusions:** Systematization and analysis made it possible to assess the conditions, causes, scale and hazard of landslides developed in the CMW. It was noted that in recent years, landslide activity in the region has been the most frequently driven by economic activity. Based on the results of the survey, CMW settlements that are most susceptible to landslide processes were identified and it was also found that the majority of landslide development occurred in the Predgorny District. Landslide cases leading to threatening situations along the CMW roads became more frequent. It was shown (also on maps) that landslides are most active in the vicinity of urban agglomerations.
- Key words:** landslide processes; landslides; landslide motions; landslide landforms; landslide activation; landslide activity

Введение

Регион Кавказских Минеральных Вод (КМВ), имеющий площадь 5828 км², находится на территории трех субъектов РФ: Ставропольского края (58% от всей территории КМВ), Карачаево-Черкесской (33%) и Кабардино-Балкарской (9%) республик. Муниципальные образования Ставропольского края – города Георгиевск, Минеральные Воды, Железноводск, Пятигорск, Ессентуки, Кисловодск, Лермонтов, – а также административные районы – Минераловодский, Георгиевский и Предгорный – были включены

в единый природно-территориальный комплекс КМВ Указом Президента РФ (от 27.03.1992 № 309) и Постановлением Правительства РФ (от 06.07.1992 № 462). На территории этих районов расположено 7 вышеуказанных городов краевого подчинения, 4 поселка городского типа и 132 сельских населенных пункта. Регион характеризуется развитой инфраструктурой с густой сетью шоссе и грунтовых дорог, значительной хозяйственной освоенностью.

Регион КМВ в пределах Ставропольского края (здесь и далее рассматривается только эта территория) занимает предгорную (от 200 м н.у.м) и низкорную (до 1500 м н.у.м) части северного склона Большого Кавказа. Предгорная часть представлена Минераловодской наклонной равниной на олигоцен-миоценовых глинах, а низкорная – куэстовыми Пастбищным (отроги Боргустанского, Джинальского и Кабардинского хребтов) и Лесистым хребтами на морских отложениях мела, палеоцена и эоцена [9, 14].

В пределах КМВ выделяются пять основных типов ландшафтов [4]:

- Минераловодский (расположен на северо-востоке, представлен равниной, пересеченной речными долинами, балками и оврагами);
- Пятигорский (низкорный интрузивный, занимает почти половину исследуемой территории, характерны обширные террасы, междуречные поверхности и покровные галечники. Здесь расположено 17 гор-лакколитов);
- Кисловодский (горно-котловинный, приурочен к межкуэстовой расчлененной эрозионно-тектонической депрессии);
- Боргустанский (среднегорный, занимает западную часть территории КМВ и южный склон Боргустанского хребта, характерны уступы структурных террас, сложенные меловыми песчаниками, туфопесчаниками, мергелистыми известняками, сланцами, мергелями и карбонатными глинами верхнего мела);
- Джинальский (моноклиальный, расположен на склонах одноименного хребта, представлен крутыми структурными террасами, долинами рек и балками).

Район КМВ сейсмически активен. Здесь возможны 7–8-балльные землетрясения (по шкале MSK-64) [13]. Разнообразие геолого-геоморфологических условий определило широкий набор экзогенных геологических процессов (оползни, эрозия, карст, паводки, подтопление), но наибольшее развитие получили оползневые. Они имеют зональный характер распространения, обусловленный геолого-геоморфологическими, гидрогеологическими и климатическими особенностями. Активность большинства оползневых форм определяется режимом природных факторов (в первую очередь, количеством и режимом выпадения осадков) и уровнем техногенного воздействия на геологическую среду. Одними из основных видов техногенного воздействия, определяющих активизацию оползневых процессов на территории региона, явля-

ются строительство и реконструкция дорог и трубопроводов, линий электропередачи (ЛЭП), хозяйственная деятельность вблизи русел рек и на оползнеопасных склонах, застройка территорий, карьерные разработки.

Цель настоящего исследования – изучение временной активности и опасности проявления оползневых процессов на территории КМВ. Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- характеристика условий и причин активизации оползневых процессов, развитых на территории КМВ;
- анализ временной активности и опасности оползневых проявлений на исследуемой территории за 2004–2019 гг.

В связи с тем, что опасность и активность оползневой деятельности на территории городов-курортов КМВ (Кисловодск, Пятигорск, Железноводск, Минеральные Воды и Ессентуки) была подробно описана нами ранее [14], в данной статье эти города детально характеризоваться не будут.

Материалы и методы исследования

Основным методом, используемым в данной работе, стал анализ различных источников, содержащих информацию о распространении и активности проявления оползневых процессов на территории КМВ. При этом помимо опубликованных в открытой печати материалов, использовались данные отчета по «Ведению государственного мониторинга состояния недр территории особо охраняемого эколого-курортного региона Российской Федерации – Кавказские Минеральные Воды за 2005–2007 гг.». Книга 2 (ОАО «Кавказгидрогеология», Железноводск, 2007), далее – Отчет.

Обобщение и систематизация собранного материала с единых методических позиций позволили достаточно достоверно оценить степень опасности и активность проявления оползневых процессов на территории КМВ. Картографические материалы были созданы в программной среде ArcGIS.

При характеристике степени оползневой активности и пораженности территории использовались их градации, разработанные специалистами Ставропольского центра государственного мониторинга природных ресурсов [9]: сильная пораженность – поражено более 25% территории, средняя – 5–25%, слабая – менее 5%. Степень активности определялась по величине отклонения площадной оползневой активности от среднегодового значения: менее 25% нормы – очень низкая активность, 25–50% – низкая, 50–75% – пониженная, 75–125% – средняя, 125–150% – повышенная, 150–200% – высокая, более 200% – очень высокая.

В работе также использовались данные [19] по месячным и годовым суммам осадков, выпавших на территории КМВ за 2004–2019 гг.

Необходимо отметить, что ведение государственного мониторинга состояния недр на рассматриваемой территории с 2004 по 2010 гг. осуществля-

ли Кавминводский территориальный центр государственного мониторинга геологической среды (ТЦ ГМГС) по Ставропольскому краю и Кавминводский ТЦ ГМГС ОАО «Кавказгидрогеология»; в 2011–2014 гг. – ГУП СК «Ставропольский центр государственного мониторинга природных ресурсов»; а в 2015–2019 гг. – Южный региональный центр (ЮРЦ) ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология».

Результаты исследований и их обсуждение

1. Оценка подверженности территории КМВ оползневым процессам

Согласно данным Отчета, на территории КМВ зафиксировано 970 оползней, из них 456 – современные [2]. Предгорный район и Кисловодск характеризуются средней пораженностью оползневыми процессами, Георгиевский и Минераловодский районы, а также остальные города-курорты КМВ – слабой [9, 12, 14].

Оползни на территории КМВ отличаются разнообразием генезиса, форм проявления и механизмов смещений. Согласно данным Отчета и работе [9], в исследуемом регионе выявлено три их основных типа: блоки, потоки и техногенные. В современных оползневых активизациях преобладают поточковые формы как в пределах существующих оползневых зон, так и на новых внезональных участках (на склонах, ранее считавшихся устойчивыми) с расширением их спектра и типов проявления (оползни разжижения, селеподобные и наносоводные потоки). Характеристика этих форм довольно подробно приведена в ранее опубликованных работах [9, 10, 14, 15]. Среди современных активных оползней преобладают пластичные оползневые формы (оползни-потоки, оплывины) [9].

В **Минераловодском районе** оползни распространены, как правило, на склонах горы Змейка, речных долин, балок и оврагов. Оползанию подвергаются продукты выветривания майкопских глин и покровных суглинков, особенно активно сползающие (оплывающие) в периоды сильных дождей, весеннего снеготаяния, а также в результате техногенного воздействия (нарушение равновесия склонов в процессе строительства автодорог (а/д), создания насыпей или иной их пригрузки). Проявление небольших оползневых форм происходит в основном в виде блоков, потоков и осовов [1, 9, 14].

На территории **Георгиевского района** оползневые формы характеризуются большим многообразием. Здесь наблюдаются как мелкие оползни и оплывины (объем – первые десятки м^3), так и огромные массивы (млн м^3). Кроме того, имеют место и стабилизировавшиеся, и активные, постоянно растущие оползни. В большинстве случаев, они приурочены к крутым уступам правобережных речных террас, сложенных мергелями, которые при увлажнении быстро превращаются в пластинчатую глинистую массу. Чаще всего в этих породах наблюдаются оползни-потоки и очень активные, находя-

щиеся в стадии роста, оплывины. Зона оползней, связанная с майкопскими глинами, приурочена к западной части Георгиевского района, правобережной террасе р. Кумы и долине р. Золки. Здесь развиты как глубокие, так и поверхностные оползни [9, 16].

Значительно расчлененный рельеф **Предгорного района** способствует широкому развитию различных оползней. Наиболее часто здесь встречаются оползни-блоки, потоки, осывы, оплывины и их техногенные формы. Так, например, для южного склона Пастбищного хребта характерно образование переходных от оползней-потоков к микроселям форм, которые чрезвычайно динамичны, а зоны их опасного влияния захватывают значительные по протяженности участки [9, 14, 17]. Оползни-потоки зарождаются в основном в коре выветривания нижнемеловых глинистых песчаников и зачастую характеризуются очень высокими скоростями смещения. Техногенные формы отмечаются в районах строительства и реконструкции хозяйственных объектов. Некоторые оползни являются многоярусными и их размеры могут достигать $150 \times 200 - 250$ м. Их мощность зависит от мощности делювиальных отложений и глубины залегания коренных глин или мергелей [9, 10, 11, 14].

Несмотря на довольно значительную общую площадную пораженность КМВ оползнями, до начала 1980-х гг. регион считался сравнительно благополучным по данному показателю. Нарастающая антропогенная нагрузка обусловила широкое распространение на его территории внезональных техногенных оползней (в виде оползней-потоков), активизация которых уже в 1984–1985 гг. привела к катастрофическим деформациям в городах-курортах и особенно в Пятигорске и Кисловодске [9, 10, 14]. В последующие годы массовые оползневые подвижки (1989, 1992–1993 и 1997 гг.) происходили в различных населенных пунктах при строительстве и реконструкции линейных сооружений и других объектов. При этом постепенно расширялись существующие оползневые площади, увеличивалось количество активных форм в их пределах, появлялись новые, в т.ч. техногенные очаги, более разнообразным становился спектр их типов [9]. Только за период с 1975 по 2001 гг. на территории КМВ площадь техногенно обусловленных оползней увеличилась почти в 10 раз и превысила в начале 2000-х гг. 20 км^2 [9, 10, 14, 15].

В начале XXI в. в зоне воздействия техногенно обусловленных оползневых процессов помимо городов-курортов [14] оказались многие населенные пункты, магистральный газопровод и Кубанский водовод на Кисловодск, основные автодороги (рис. 1). Основными техногенными причинами их возникновения и активизации явились: изменение рельефа (глубокие выемки и высокие насыпи с завышенной крутизной откосов); перераспределение поверхностного и подземного стоков; дополнительные нагрузки (статические и динамические) на геологическую среду. Характерным для этих оползней является их постоянная высокая активность, не зависящая от природной цикличности [5, 9].



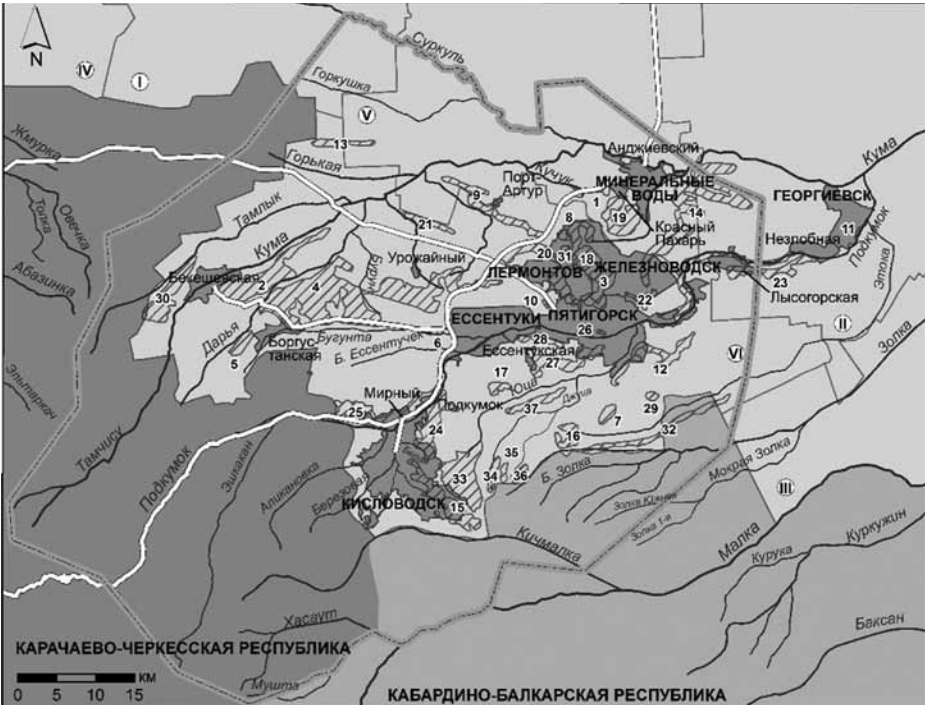
Рис. 1.

Оползни на 2 км а/д «Минеральные Воды – Кисловодск», 2005 г. Фото Кавминводского ТЦ ГМГС ОАО «Кавказгидрогеология»

Fig. 1. Landslides on the 2 km of "Mineralnye Vody – Kislovodsk" highway, 2005. Photo by Kavminvodsky Territorial Center for the State Monitoring of Geological Environment "Kavkazhydrogeologiya" OJSC

Массовая активизация оползневых процессов на территории КМВ, обусловленная аномально избыточным количеством атмосферных осадков и прохождением катастрофических паводков, произошла летом 2002 г., когда активизировалось 60 оползневых форм различного типа и масштаба [9]. Согласно данным Отчета, активизация захватила не только основные оползневые зоны, но и территории, ранее считавшиеся устойчивыми. Наибольшее распространение в этот период получили оползни, обусловленные эрозией подрезкой склонов и переувлажнением склоновых отложений с образованием неглубоких, но чрезвычайно подвижных и опасных форм (потоков, осовов и оплывин, нередко переходящих в селевые потоки), ранее практически не фиксировавшихся в регионе.

По данным [5, 6, 9], оползни на территории КМВ образуют довольно протяженные оползнеопасные зоны в подэскарповой зоне Пастбищного хребта, по склонам гор-лакколитов, а также вдоль уступов древних и современных речных террас. Согласно данным Отчета, в регионе выделено 37 оползневых зон (рис. 2), которые довольно четко оконтуриваются по характерным морфологическим признакам оползневого рельефа. В их пределах выделяются участки с современными активными подвижками (собственно современные оползни), а также участки, где подвижки происходили ранее, а ныне они приостановились или стабилизировались, однако сохранили признаки оползневой морфологии (древние и старые оползни), а также возможность повторной активизации.



Условные обозначения

Оползневые зоны:

- | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------|
| 1 Аэропорт | 14 Джемухинская | 27 Пятигорская |
| 2 Бекешевская | 15 Джинальская | 28 Скачки |
| 3 Бештаугорская | 16 Джуцкогорская | 29 Тамбуканская |
| 4 Боргустанская | 17 Эссентукская | 30 Тамлыкская |
| 5 Новоборгустанская | 18 Железноводская | 31 Теплосеть |
| 6 Бугунтинская | 19 Змеиногорская | 32 Этокская |
| 7 Буруны | 20 Катавальская | 33 Юцкая |
| 8 Быкогорская | 21 Киркальская | 34 Юцкая-М |
| 9 Верблюдская | 22 Константиногорская | 35 Юцкая-Ш |
| 10 Винсады | 23 Лысогорская | 36 Юцкая-IV |
| 11 г. Георгиевск | 24 Олимпийская | 37 Юцкая-средняя |
| 12 Горячеводская | 25 Подкумская | |
| 13 Гражданская | 26 Пятигорск-Пост | |

Автомобильные дороги
Населенные пункты
Границы региона КМВ
Административные районы Ставропольского края
Андроповский
Кочубеевский
Георгиевский
Минераловодский
Кировский
Предгорный

Рис. 2. Карта оползневых зон территории КМВ.
Fig. 2. Map of landslide zones of CMW territory

Все существующие на территории КМВ оползневые зоны, согласно данным Отчета, объединены в четыре группы в зависимости от их местоположения (табл. 1): 1 – подэскарповая часть Пастбищного хребта (южный склон меловой куэсты); 2 – склоны долин малых рек и балок на северном склоне мел-палеогеновой куэсты; 3 – уступы высоких аллювиальных террас рек Кумы и Подкумок; 4 – шлейфы гор-лакколитов и их подножья, сложенные глинами майкопской серии. В этих группах присутствуют оползни разных типов и объемов, но в целом для каждой существует своя модель оползнеформирования. Так, развитие оползней первой группы определяется явлениями выдавливания (за счет вышезалегающих жестких пластов) из моноклинально построенного массива размягчаемых в воде пачек слабых, преимущественно глинистых пород; оползни второй развиваются по консеквентной схеме под влиянием эрозионной подрезки разнопрочных мергелистых и алевролитовых пачек пород; для третьей характерно развитие под воздействием скачкообразно меняющегося гидродинамического давления в периоды быстрого подъема или спада уровней террасовых водоносных горизонтов, которое и вызывает нарушение устойчивости наиболее слабой части террасового уступа; четвертая формируется в условиях воздымания осевых частей гор-лакколитов и активной эрозии их подножий.

При пересечении оползневых зон линейными техногенными объектами (дороги, ЛЭП, газопроводы, водоводы) постоянно возникают опасные ситуации. Особенно остро подобные проблемы обозначаются в периоды аномальных атмосферных осадков и паводков [9].

2. Динамика оползневых активизаций на территории КМВ

При характеристике активности проявления оползневых процессов и их динамики на территории КМВ за последние 15 лет использовались не только опубликованные данные мониторинговых наблюдений [5–9], но и материалы Отчета. Ниже приводятся результаты анализа.

В 2004 г. активность оползневой деятельности не превышала среднеголетнюю. В марте на 8 км а/д «Минеральные Воды – Александровское» образовался оползень объемом около 2,5 тыс. м³. В пределах Железноводской оползневой зоны отмечалась активизация трех оползней. В мае на окраине ст. Незлобной произошло образование крупного оползневого массива (объем – 800 тыс. м³). В Предгорном районе в первой половине года отмечались подвижки двух оползневых массивов в пос. Свободы и на склоне горы Малое Седло в районе Кисловодска [14]. Весной и летом наблюдалась активизация оползней в низкогорной зоне на склонах Боргустанского и Джинальского хребтов. Так, в начале весны произошло расширение зоны смещения одного крупного массива (около 150 тыс. м³) на левобережье р. Подкумок, а в апреле – подвижки на двух массивах по правому борту реки.

Таблица.

ХАРАКТЕРИСТИКА ГРУПП ОПОЛЗНЕВЫХ ЗОН

КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД (до 2007 г.)

Table. Characteristics of landslide groups in the Caucasian Mineral Waters
(before 2007)

Название и привязка групп оползневых зон	Типы оползней	Количество оползней, ед.	Площадь современных оползней / всей оползневой зоны, км ²	Пораженность зоны, %	Активность оползней, %	Периоды активизации, годы
Оползни южного склона Пастбищного хребта (подэскарповая часть, левый борт долины р. Подкумок, правый борт долины р. Белой)	Крупные оползни-блоки выдавливания, блоки, переходящие в потоки	400	40/160	25	20	1985 1989 1993 1997 2002
Оползни северного склона мел-палеогеновой кузсты (верховья рек Белой и Юцы)	Оползни-блоки, сдвига, потоки, осовы, оплывины	350	62/170	35	10	1985 1989 1993 1997 2002
Оползни на уступах высоких аллювиальных террас с глинистыми цоколями в долинах рек Кума и Подкумок	Крупные фронтальные оползни-блоки и потоки	150	112/265	40	20	1983–84 1989 1993 1997 2005
Оползни на шлейфах и у подножий гор-лакколитов, на искусственных склонах в майкопских глинах	Средние и мелкие блоковые и консистентные оползни	70	19/70	20	10	1982 1985 1992 1997
Итого:		970	233/665	30	15	в среднем через 4 года

В 2005 г. годовые суммы осадков, зарегистрированных на метеостанциях (МС) КМВ, превышали среднееголетние показатели на 115–138%, в результате наблюдалась средняя активность оползневых процессов (выше, чем в 2004 г.), выразившаяся в образовании ряда новых форм (20 ед.) и продолжающейся активности 124 оползней, возникших ранее. Оползневая активизация проявилась на площади около 21 км². Характерным было продолжение смещений большого числа оползней, сохраняющих активность со времени их возникновения (1997–1998 гг. и 2002 г.). Главными факторами активизации явились: переувлажнение склоновых отложений за счет повышенных сумм осадков в марте (105,1 мм) и мае (139,5 мм) в предгорной зоне региона (МС «Железноводск») и в июле – в низкогорной (136,5 мм на МС «Кисловодск»); дестабилизация древнеоползневых склонов при эрозионном подмыве; поднятие уровня грунтовых вод и различные техногенные причины (изменение рельефа и режима грунтовых вод, вибрационное воздействие транспорта и др.).

Под воздействием оползневых активизаций в той или иной степени были деформированы жилые и хозяйственные строения, коммуникации, участки автодорог, объекты водоканала в Минераловодском и Предгорном районах, в Железноводске, Кисловодске и Пятигорске [14].

В Минераловодском районе оползни продолжали воздействовать на жилые строения в пос. Анджиевском. Их активизацию еще в 2002 г. спровоцировал паводок, а дальнейшее развитие обусловил продолжающийся эрозионный подмыв. Основной причиной активизации придорожных оползней явилось техногенное вмешательство (подрезка и пригрузка склонов, перераспределение подземного и поверхностного стока и др.). В течение года оползневыми процессами были деформированы участки а/д «Минеральные Воды – Кисловодск» (1, 2, 5 и 7 км) и «Минеральные Воды – Александровское» (8–10 км). Образование 4 новых форм произошло в полосе влияния а/д «Минеральные Воды – Кисловодск» по бортам р. Кучук. В частности, сформировался новый оползень объемом 10 тыс. м³ по левому берегу р. Кучук, а 2 ранее зафиксированных расширились за счет отступления стенок срыва. Оползневые подвижки воздействовали не только на автотрассу и дорожные сооружения, но и создали угрозу разрушения водовода, волоконно-оптической линии связи и уничтожения лесных насаждений и сельскохозяйственных земель.

В Георгиевском районе фиксировалось активное проявление оползней, преимущественно блокового типа, по левому борту р. Подкумок на отрезке между станицами Лысогорской и Незлобной. На западной окраине ст. Незлобной, в зоне опасного развития оползневых процессов находился сибирязевенный скотомогильник. С 2002 г. под воздействием эрозии и оползневых подвижек здесь наблюдалось постепенное отступление берегового уступа. В 2005 г. расстояние от него до скотомогильника составило 12 м.

На территории Предгорного района воздействию оползневых процессов в 2005 г. подверглось 3 населенных пункта: ст. Ессентукская, пос. Подкумок, пос. Железноводский. В ст. Ессентукской пострадали объекты водоканала – насосная станция и водовод. В борту безымянной балки сформировался оползень (объем – до 5 тыс. м³), в зоне воздействия которого оказался жилой дом. В результате активизации (объем – 3–4 тыс. м³, глубина – 4–5 м) на левом борту балки Воровской фиксировались деформации жилых домов в пос. Железноводский. Стенка срыва оползня (высота – до 4 м) прошла через приусадебные участки двух домовладений. Высокая степень оползневой опасности вследствие переувлажнения склоновых отложений обильными осадками отмечалась и в пос. Подкумок, где были деформированы коммуникации, жилые дома и 100 м внутрипоселковой автодороги. Так, на его северо-западной и западной окраинах в мае отмечалось формирование ряда трещин закола и увеличение высоты стенок срыва оползней в центральной части склона (оползень над пер. Карьерный, оползень-поток над пер. Солнечный); в восточной части, над ул. Известковой, расширилась зона смещений по флангам оползня, активизировавшегося в 1998 г. Усилились деформации хозяйственных построек и жилых домов в пределах трех домовладений. Постепенно прогрессировали деформации зданий по улицам Одесской, Ессентукской и Карьерной.

Пострадали от оползневой активности и отдельные участки а/д «Минеральные Воды – Кисловодск». Так, на 13 км, на участке протяженностью 50 м, произошло напользование оползневых масс на дорожное полотно, а на 15–16 км было деформировано 2 участка протяженностью 50 и 20 м, нарушены ограждения. В низкогорной части региона в большинстве случаев отмечалась активность оползней-потоков, сформировавшихся вследствие частого выпадения ливневых осадков (в апреле и июле). Такие оползневые формы в 2005 г. отмечались на 13 км а/д «Ессентуки – Боргустанская» и 14 км а/д «Боргустанская – Бекешевская».

В Боргустанской и Подкумской оползневых зонах, где расположены многочисленные дачные кооперативы, промышленные предприятия, идет жилищное строительство, развитию оползневых процессов способствовали масштабные техногенные нарушения, допущенные при карьерных разработках в последние десятилетия. Из 30 выявленных ранее оползней активными были 15, в том числе 8 блоков и 7 потоков, также отмечалось образование двух новых консистентных оползней. Наибольшую тревогу вызывала активность на склонах над пос. Мирным, в частности, подвижки крупного блока объемом 800 тыс. м³ на склоне под Кисловодским телевизионным ретранслятором.

В апреле-мае и июле 2005 г. в Джинальской оползневой зоне отмечалась высокая активность оползневых процессов, выразившаяся в формировании 7 консистентных и комбинированных форм небольшой мощности по

склонам одноименного хребта. Причиной образования консистентных оползней явилось переувлажнение склоновых отложений обильными осадками, а комбинированных – эрозионной подрезкой склонов с увлажнением поверхностных отложений. В частности, по этой причине произошло расширение крупного массива на правом берегу р. Подкумок. Вблизи стенки срыва находились опоры двух ЛЭП, через оползень шла грунтовая дорога.

С января по май (кроме февраля) **2006 г.** на всей территории КМВ наблюдался постепенный рост количества осадков с превышением средних значений, вплоть до аномальных. Влажными по всему региону были январь (МС «Железноводск» – 70,1 мм) и март (МС «Минеральные Воды» – 57,2 мм). Максимальное количество осадков выпало в мае (МС «Железноводск» – 120,2 мм, МС «Кисловодск» – 125,4 мм). Суммарная оползневая пораженность территории региона достигла 12%.

В Минераловодском районе отмечалась довольно значительная оползневая активность. На восточном склоне горы Змейка произошло расширение двух оползней (размеры – 50×70 и 40×30 м, мощность – до 3 м), в зоне воздействия оказались склоны, используемые для выпаса скота. На северном склоне горы, севернее пос. Красный Пахарь, подновился оползень (площадь – 800 м², мощность – до 3–4 м) в откосе насыпи железнодорожной (ж/д) ветки, ведущей к камнерезному заводу. Базисом оползания являлось ж/д полотно. Угрозы для жилых построек не было. Активный оползень сформировался в восточной части пос. Красный Пахарь на участке подрезки склона сооружаемой подъездной грунтовой дорогой к строящимся частным домам. В результате техногенного воздействия сформировался оползень-осов (площадь 75 м², мощность – до 2 м), частично перекрывший грунтовую дорогу и угрожавший проходящему рядом газопроводу.

Произошло формирование небольших по объему оползневых форм по откосам насыпей а/д «Минеральные Воды – Александровское» (на 127–128 км). Наблюдалась повышенная активность техногенных оползней по откосам выемок а/д «Минеральные Воды – Кисловодск» (на 1-2, 5, 13 и 15 км). Весной по левому берегу р. Кучук, выше пересечения ее автотрассой, произошло значительное увеличение площади трех ранее наблюдаемых оползней и слияние двух из них в единый массив (площадь – 11,0 тыс. м², объем – 30 тыс. м³). По насыпи а/д «Минеральные Воды – Кисловодск» (через долину р. Кучук над водопропускным лотком) из-за оползневых смещений произошла деформация 25–30 м дорожного полотна. В районе гор-лакколитов фиксировалось снижение оползневой активности до уровня ниже среднегодовых показателей.

В Георгиевском районе в результате активного развития оползневого процесса по левому борту долины р. Подкумок существовала угроза разрушения скотомогильника на западной окраине ст. Незлобной.

В Предгорном районе в результате весенней активизации оползень разрушил участок водовода в пос. Порт-Артур и произошло напоздание грунтовых масс на здание насосной станции. Возникла угроза разрушения 3 жилых домов и опор ЛЭП. В Пятигорской зоне зафиксировали 5 активных форм на склонах горы Дубровка и на уступе «армянской» террасы (район ул. Пожарского). Большая часть этих оползней находилась в пределах лесопосадок, вне застроенной зоны. Один оползень развивался в районе старой городской свалки. В долине р. Подкумок (в районе Пятигорска) фиксировалась стабилизация ранее активных фронтальных оползней по уступам высоких террас. В пос. Подкумок продолжились оползневые деформации жилых строений и на приусадебных участках по улицам Одесской, Ессентукской, Карьерной и примыкающим к ним переулкам. В окрестностях пос. Нарзанного (г. Кисловодск) ранее подвижные консистентные оползни-потоки в районе дачных товариществ в значительной степени заросли и прежней активности не проявляли.

На северном склоне Джинальского хребта (Джинальская оползневая зона) в весенний период проявились небольшие по объему оползни-потоки. Вместе с тем ряд из них, образовавшихся еще в 2002 г., прекратил свое существование – рельеф сnivelировался, стенки срыва и зоны транзита заросли травой. На южном склоне Боргустанского хребта активность сохраняли 13 оползневых массивов. Так, активные гравитационные смещения отмечались по левому флангу крупного блокового оползневого массива (над пос. Мирным), по которому проходит грунтовая дорога, постоянно деформирующаяся на протяжении 50–70 м. Активизация крупных оползней (в виде образования новых трещин закола выше существующих стенок отрыва и растяжения в головных частях) наблюдалась в районе асфальтового завода и у известкового карьера вдоль дороги в пос. Боргустанские Горы. На 4 км а/д «Кисловодск – Карачаевск» активизировался оползень, разрушивший подпорную стенку и деформировавший 40-метровый участок водовода, а в районе птицефабрики «Кольцегорская» активизация оползня (объем – около 5 тыс. м³) привела к деформациям подпорной стенки.

В 2007 г. оползневая активность на территории КМВ была ниже среднеголетних значений. Превышение количества выпавших осадков относительно нормы наблюдалось только с января по март. Максимальные их значения отмечались в январе (22,6 мм) – на МС «Кисловодск» (150,7% от нормы), в марте (44,3 мм) – на МС «Георгиевск» (158,2% от нормы) и в августе (106,1 мм) – на МС «Минеральные Воды» (212,2% от нормы). Начиная с апреля-мая, относительно небольшое количество выпадающих осадков привело к снижению оползневой активности. Массовых активизаций и катастрофических проявлений на территории региона не фиксировалось. В Минераловодском районе оползневые подвижки, обусловленные эрозионным подмывом, воздействовали на жилые строения в пос. Анджиевском. В пос. Красный Па-

харь в результате подрезки склона при прокладке подъездной дороги весной образовался оползень, язык которого вышел на полотно дороги, что создало угрозу газопроводу среднего давления.

В Георгиевском районе, на западной окраине ст. Незлобной, в результате оползневых активизаций расстояние от берегового уступа до скотомогильника сократилось до 9,8 м. Произошло частичное вскрытие захоронений за пределами ограждения, что угрожало возникновением ЧС биолого-социального характера.

На территории Предгорного района воздействию оползней подверглись объекты на территории 4 населенных пунктов: Кисловодска, Пятигорска, Железноводска, пос. Подкумок [14]. Высокая степень оползневой опасности отмечалась в пос. Подкумок, где уже в течение длительного времени наблюдались оползневые деформации коммуникаций и жилых домов по улицам Ессентукской, Одесской, Карьерной и Солнечной и 100 м а/д «Минеральные Воды – Кисловодск». Активность сохранили оползни в окрестностях Кисловодска – на склонах горы Кабан, по правому борту долины р. Подкумок и по левому – р. Юцы. Большая часть этих оползней не оказала влияния на населенные пункты и объекты экономики.

В 2008 г. активность оползневых процессов в КМВ соответствовала среднемноголетнему уровню. Основной причиной значительной оползневой активности явилось аномально большое количество осадков октября-ноября 2007 г. (на фоне небольшого количества осадков, выпавших в январе и феврале 2008 г.), вызвавших переувлажнение склонов и увеличение расходов воды в реках в традиционно меженный период. Так, в предгорной зоне (МС «Георгиевск») в октябре количество осадков достигало 1,2 месячной нормы, а в ноябре – почти 2 месячных норм; в низкогорной зоне (МС «Кисловодск») – соответственно, 1,5 и почти 3 месячных норм. Негативные последствия оползневого процесса отмечались в 8 населенных пунктах КМВ (в т.ч. в Пятигорске, Кисловодске, Железноводске) и на двух автотрассах.

Только в пределах равнинной части отмечалось 30 активных форм в основном в виде оползней пластичного течения, особенно в районе Минеральных Вод. В зимне-весенний период произошло образование ряда мелких оплывин в откосах а/д «Минеральные Воды – Кисловодск» и в правом борту р. Кучук. Развитие оползней на 4 участках а/д «Минеральные Воды – Кисловодск» сопровождалось деформациями дорожного полотна, уничтожением лесополосы и сельскохозяйственных земель, разрушением дорожного ограждения. В этот период отмечалось усиление подвижек на дамбе пруда в южной части пос. Иноземцево (г. Железноводск). В пос. Порт-Артур (на склоне горы Верблюд) оползневые массы оказали давление на здание насосной станции и резервуар водозабора.

В мае-июне наблюдались подвижки на более крупных оползнях, в частности, на тех, что расположены в районе Пятигорска. Оползневые деформа-

ции также отмечались на двух участках (протяженность – около 400 м) а/д «Ессентуки – Боргустанская» при пересечении ею верховий балки Подошва. На окраине пос. Мирного крупным оползнем-блоком было деформировано 50 м грунтовой дороги к телевизионному ретранслятору.

Значительное количество зимних осадков, выпавших в **2009 г.**, обусловили активизацию 25 ранее выявленных оползней на равнинной территории КМВ (1 оползень образовался впервые). В Георгиевском районе фиксировались редкие активные формы на левом берегу р. Подкумок (район ст. Незлобная). В Минераловодском районе на а/д «Минеральные Воды – Александровское» (25 км, в районе пересечения р. Сухая Падина) оползень захватил более половины ширины дорожного полотна на протяжении 20 м. Значительные деформации произошли на 13 км (при пересечении балки Бурундук), где два оползневых цирка деформировали половину ширины полотна на протяжении 150 м. Активизация оползневых процессов отмечалась и на трех участках а/д «Минеральные Воды – Кисловодск». На железнодорожной развязке возобновились оползневые смещения, которые начались в 2008 г. На 7 км автодороги (переход через р. Кучук) наблюдалось оползание левого откоса насыпи дорожного перехода через реку с разрушением ограждения. Продолжались деформации габиона на 17 км автотрассы, но само полотно после проведенного в 2007 г. ремонта не было деформировано. В Предгорном районе в результате обильного увлажнения склонов (зимние осадки составили 135% от нормы) наблюдалось воздействие оползневого процесса на хозяйственные объекты в Пятигорске, Кисловодске, Железноводске и в пос. Мирном. Прошедшие в конце сентября обильные дожди (за декаду здесь выпало до 95 мм, что составило 7 норм) стали основной причиной схода катастрофического оползня (7–8 октября) на территории пос. Свободы (г. Пятигорск) [14]. Также фиксировались редкие активные оползневые формы на склонах высоких террас в районе Железноводска и Лермонтова (урочище Катавалы).

В **2010 г.** активность оползневого процесса в КМВ сохранилась на уровне среднемноголетних значений за счет значительного количества (110–140% от нормы) выпавших в виде дождя и снега осадков. В равнинной части региона в активном состоянии находился 31 оползень, а 4 образовалось впервые. Наибольшая активность была приурочена к зоне высоких террас и берегов р. Подкумок в области равнин, что объяснялось как разгрузкой грунтовых вод, так и эрозионным воздействием ливневых паводков. Фиксировались редкие активные оползни вдоль а/д «Минеральные Воды – Кисловодск». В Георгиевском районе наблюдалась незначительная оползневая активность по левому и правому берегам р. Подкумок на участке между ст. Лысогорской и Георгиевском. Оползневые процессы уничтожили отдельные небольшие площади лесопосадок в районе ст. Незлобной. В Предгорном районе в результате обильных атмосферных осадков и подпитки оползневых масс грунтовы-

ми водами фиксировалась зимне-весенняя активизация в окрестностях Железноводска, Лермонтова (урочище Катавалы), Кисловодска, Пятигорска [14]. Здесь было выявлено 18 активных оползневых форм, из них две – вновь образовавшихся. Так, 18 марта на правобережной террасе р. Подкумок произошла крупная (объем – 220–250 тыс. м³) активизация оползня-потока в пос. Свободы (г. Пятигорск), сопровождавшаяся разрушением домовладений, коммуникаций и дорог. В результате техногенного воздействия активизировался оползень и на южном склоне горы Машук. Еще один оползень-блок сформировался на южном склоне горы Бештау. В долине р. Белой (Олимпийская оползневая зона) консистентный оползень (длина – 100 м, ширина – 60–80 м) уничтожил часть дороги на дачные участки. Крупный оползень активизировался на правобережье р. Подкумок, напротив пос. Подкумок. Также в этом году фиксировались редкие активные оползни вдоль а/д «Пятигорск – Черкесск». На а/д «Кисловодск – Карачаевск» (восточная окраина пос. Мирного) оползень деформировал подпорную стенку из фундаментных блоков. В зоне воздействия находился водовод. Редкие активные оползневые формы фиксировались и на склонах Боргустанского хребта.

В 2011 г. суммы осадков за зимне-весенний период на территории КМВ превысили средние многолетние значения. Так, в Георгиевском районе только за зиму выпало 115 мм. На правобережье р. Подкумок, между станциями Незлобной и Лысогорской (Лысогорская оползневая зона), было выявлено 7 современных оползневых форм, на двух из которых наблюдалась активизация. В окрестностях ст. Незлобной деформациям подвергся лесной массив севернее птицефабрики. В ст. Лысогорской в зоне активного оползня находилось около десятка домовладений, расположенных у основания склона, к югу от ул. Верхней. В Предгорном районе (на правобережье р. Подкумок) между селитебной зоной пос. Свободы и лесом Дубровка (Пятигорская оползневая зона) выявили 3 крупные современные формы без признаков активизации. В Пятигорске деформации привели к объявлению ЧС в пос. Свободы. В районе Кисловодска (Олимпийская оползневая зона) суммарная протяженность участков с очень большим оползневой риском составила около 2 км [14]. В подэскарповой зоне Боргустанского хребта на 12 оползнях, стоящих на учете, признаков активизации не фиксировалось. Севернее пос. Мирного (Подкумская оползневая зона) наблюдалось 2 современных, хорошо выраженных в рельефе оползня со свежими трещинами. Под языком одного из них расположены строения дачных участков, а по языковой части другого проходит дорога на ретранслятор.

В 2012 г. уровень оползневой активности (как и площадь активизации) по сравнению с 2011 г. заметно снизился, следуя уменьшению общего количества выпавших осадков. Лишь в Кисловодске осадки (53 мм) превысили средние многолетние значения (140% от нормы). В мае-июле в отдельных районах региона неоднократно отмечались сильные ливни. Так, 14 мая про-

шел сильный дождь в Минеральных Водах (60 мм за 6 ч), 24 мая – на территориях Крутойярского сельского совета и СПХ «Урожайное» Георгиевского района (30 мм за 0,5 ч), 29 мая – в Пятигорске (20 мм), 8 июня – в Кисловодске (42 мм за 48 мин), 14 июля – в Минеральных Водах и Георгиевске (53–61 мм). Аномальные осадки в весенне-летний период вызвали значительную оползневую активизацию в пос. Свободы (г. Пятигорск), сопровождавшуюся деформациями хозяйственных объектов. Оползни на Подкумском полигоне, как и в предыдущем году, были неактивны.

Активность оползневых процессов в **2013 г.** была ниже среднеемноголетних значений. В Боргустанской, Юцкой, Железноводской и других оползневых зонах, находящихся на территории Предгорного района, значимых признаков активизации оползневых процессов, не фиксировалось. После ливневых дождей (14 и 26 мая) в окрестностях Кисловодска оползневые массы перекрыли около 70 м автодороги в пос. Белореченский (долина р. Белой). В Пятигорске (пос. Свободы) выявлена активизация на двух оползнях.

В **2014 г.** оползневая активность в КМВ наблюдалась, в основном, в области низко- и среднегорья. В районе а/д «Минеральные Воды – Кисловодск» она была низкой. В пос. Свободы (г. Пятигорск) фиксировалась вялотекущая активность в пределах пяти оползневых массивов, которая привела к деформациям 28 жилых домов. В окрестностях Кисловодска (балка Васюкова и Олимпийская оползневая зона) выявили 5 активных проявлений. В пос. Нарзанном оползневые активизации привели к деформациям домовладения. В этот год также фиксировалось воздействие оползневых смещений на жилые дома в Джинальской, Бекешевской и Джемухинской оползневых зонах.

Весной **2015 г.** в среднем по региону выпало 108 мм осадков (118% от нормы). В этот период зарегистрировали 9 активных форм, катастрофических проявлений не фиксировалось. Наблюдалась незначительная вялотекущая оползневая активность в пределах жилой застройки в Кисловодске, Пятигорске (пос. Свободы), Железноводске (пос. Капельница), пос. Подкумок, ст. Ессентукской. В них отмечались прогрессирующие деформации домовладений и хозяйственных построек. В пос. Нарзанном продолжились деформации 2 жилых домов и хозпостроек. Негативное воздействие оползней фиксировалось на автодорогах с твердым покрытием (454 м) и газопроводах (200 м). Основным фактором активизации большей части оползней, находившихся ранее в стабилизовавшемся состоянии, являлся техногенный: пригрузка склонов и динамическое воздействие от движения большегрузного транспорта.

В **2016 г.** за зимний период выпало значительное количество осадков (более 150% от нормы). Весна также характеризовалась обильными осадками в отдельные периоды. В Георгиевском и в Предгорном районах их количество составило 158 и 206 мм (130 и 160% от нормы), соответственно. В весенний период на территории региона выявили 11 активных оползневых форм.

В результате деформировалось 30 м полотна а/д «Минеральные Воды – Кисловодск». Значительные оползневые подвижки произошли в Пятигорске, когда в результате обильных осадков в мае-июне произошло смещение на 2–3 м вниз по склону техногенных грунтов, отсыпанных в головной части оползневой массива по ул. Тупик Щорса в пос. Свободы. Наиболее активными в весенний период были оползневые массивы, в пределах которых в последние годы фиксировались техногенные нарушения устойчивости склонов (пригрузка насыпными грунтами, подрезка при проведении строительных работ и др.), как, например, в районе строительства верхнего спортивного комплекса филиала ФГБУ «Юг Спорт» в Кисловодске и в низовом откосе автодороги, ведущей от пос. Белореченского к нему [14]. В юго-западной части Кисловодской оползневой зоны отмечалась активность в пределах насыпных грунтов в низовом откосе а/д «Кисловодск – Индустрия». Их поверхность была разбита многочисленными трещинами закола, прирост площади оползания по сравнению с 2015 г. составил около 45 м². Активизацию процесса спровоцировал размыв насыпных грунтов поверхностными водотоками. Оползневые проявления отмечались также на двух участках а/д (без покрытия) «Боргустанская – Бекешевская», в результате чего деформировалось 37 м ее полотна и 40 м ЛЭП.

В 2017 г. годовая сумма осадков практически равнялась климатической норме, что обеспечило водонасыщение грунтов склонов на территории КМВ. Даже в летний и осенний периоды количество выпавших осадков не опускалось ниже среднегодовой нормы. В результате активизации оползневых процессов после аномальных осадков в мае пострадали Железноводск, Пятигорск, Кисловодск. Особенно катастрофические оползневые проявления, приведшие к деформациям жилых домов, хозпостроек, земель сельхозназначения, наблюдались в Железноводске [14]. В Предгорном районе подрезка склонов при реконструкции а/д «Минеральные Воды – Кисловодск» (44 км) привела к деформациям 30 м полотна технологической площадки. В результате активизации оползневого процесса, вызванной атмосферными осадками и динамическим воздействием от движения транспорта, деформировалось полотно а/д «Боргустанская – Бекешевская» на двух участках (4 и 10 км) суммарной длиной 70 м. На участке автодороги (10 км) в зоне воздействия оползневого процесса находилось 50 м ЛЭП (наблюдался наклон опорных столбов). В верховьях р. Белой после ливневых осадков (в ночь с 22 на 23 мая) на 5 участках произошла активизация оползневого процесса. Смещения охватили насыпные грунты и склоновые отложения. В результате этой активизации (площадь – 63,0 тыс. м², объем – более 230 тыс. м³) деформировалось 100 м полотна автодороги с покрытием, наблюдалось воздействие оползневых масс на земли сельхозназначения (около 5 тыс. м²).

Количество осадков, выпавшее в зимне-весенний период 2018 г., не превысило среднемноголетние значения, что обусловило незначительную

активизацию оползневых процессов. Самым влажным оказался март (количество осадков – 277% от нормы), при этом наибольшее количество осадков (656,9 мм) за год выпало в окрестностях Кисловодска. От воздействия оползневого процесса в 2018 г. пострадали: 3 населенных пункта (Георгиевск, Пятигорск и Кисловодск), автодороги с твердым покрытием (130 м), автодороги без покрытия (40 м), земли сельхозназначения (0,0147 км²).

Наиболее значимая активизация оползневого процесса в равнинной части региона произошла 3 февраля 2018 г. в г. Георгиевск (между пер. Богданова, д. 14 и 16 и ул. Литкенса, д. 10–14) на юго-восточном склоне террасы р. Подкумок. Образование блокового оползня (площадь – 2,5 тыс. м², мощность – 3–5 м, объем – 10 тыс. м³, высота стенки отрыва – 1–5 м) произошло в результате ускоренного снеготаяния, приведшего к подъему уровня грунтовых вод и водонасыщению склоновых отложений в восточной части города. Тело оползня имело бугристую поверхность и было почти полностью задерновано. В ряде мест просматривались трещины отрыва шириной 0,1–0,5 м. Амплитуда смещения по склону составляла не более 5–7 м. Головная часть оползня располагалась в пределах территории частных домовладений (ул. Литкенса, д. 6, 8, 10, 12, 14). На участке по адресу ул. Литкенса, д. 14 образовалась оползневая ступень (ширина – до 8 м, высота стенки срыва – 4–5 м) со смещением вниз части огорода и ограждения. Язык оползня вплотную приблизился к границам домовладений, а по адресу пер. Богданова, д. 14 разрушила ограду, захватила часть огорода и остановилась у стены летней кухни. Жилой дом находился в 12–14 м от языка оползня.

В Предгорном районе значимую активизацию оползневого процесса выявили в Пятигорской (2 проявления) и Олимпийской (5 проявлений) зонах. Основными факторами стали метеорологический, гидрогеологический и техногенный. Также фиксировалось 2 активных оползневых проявления в Бекешевской и Новоборгустанской зонах. В первом случае в результате активизации оползня (площадь – 1 тыс. м², объем – 3,1 тыс. м³) в низовом откосе а/д «Боргустанская – Бекешевская» в зоне воздействия оказалось 30 м полотна и 70 м ЛЭП. В другом случае в потенциальной зоне воздействия оползневого процесса (площадь – 2,6 тыс. м², мощность – до 10 м, объем – 26,3 тыс. м³) находились земли сельхозназначения на правом борту балки Бурун (пос. Урожайный Предгорного района). На оползне наблюдалось формирование трещин закола в головной части и отседание мелких блоков со стенки срыва.

В 2019 г. в равнинной части КМВ активность оползневых процессов была на уровне 2018 г. Произошедшая 9 апреля в г. Георгиевск активизация блокового оползня (площадь – до 3,8 тыс. м², высота стенки отрыва – 8–10 м, угол падения – 85–90°) привела к формированию внутреннего уступа (ширина – 6–8 м, протяженность – до 50 м), увеличению трещин отрыва в его бортах, смещениям в языковой части. В результате активизации в головной части оползневого массива пострадали земли и заборы приусадебных участков

по адресам ул. Литкенса, д. 6, 8, 10, а на территории д. 6 разрушился сарай. В языковой части оползня были деформированы заборы домовладений 13, 14, 16 по пер. Богданова и летняя кухня на территории домовладения 14. Основным фактором активизации явилось обводнение грунтов в результате возможных протечек из водоводов и сброса технических вод, а также отсутствие централизованной канализации. В апреле в Георгиевске отмечалась вялотекущая активность оползневого процесса, выраженная в формировании трещин закола на поверхности высокой террасы р. Подкумок (протяженность – до 50 м, раскрытие – 0,3–1,0 м) и в ее уступе (протяженность – 1–3 м, раскрытие – 5–20 см). В результате активизации оползня в головной части массива, на земельных участках трех домовладений (14, 16, 18 по пер. Богданова), появилась трещина закола длиной до 50 м, шириной раскрытия 0,3–1,0 м и глубиной до 3,5–4,0 м. Существовала угроза деформации земельных участков суммарной площадью 500 м².

В Предгорном районе, юго-западнее пос. им. Чкалова, в июне наблюдалась активизация крупного оползневого массива (площадь – 334,8 тыс. м², мощность – 10 м, объем – 3347,8 тыс. м³), развитого в пределах крутого обрывистого правого борта балки Бурун. Площадь участка составила 1,7 тыс. м², мощность – до 6 м, объем – 10,4 тыс. м³. В верховьях р. Белой в результате интенсивных осадков и пригрузки склонов насыпными грунтами на пяти участках произошла оползневая активизация. Общая площадь активных оползней составила 67,3 тыс. м², объем – 254,9 тыс. м³. Также в результате обильных атмосферных осадков и динамического воздействия от движения большегрузного транспорта в июне произошла активизация оползня (площадь – 98 м², объем – 294 м³, мощность – до 3 м) в низовом откосе а/д «Боргустанская – Бекешевская» (10 км). В головной части и в бортах наблюдались трещины закола, а также отседание блока в головной части оползня вниз по склону на 0,2 м. В зоне воздействия находилось 30 м обочины дороги и 70 м ЛЭП.

Выводы

Проведенные систематизация и анализ различных источников, содержащих информацию о распространении и активности проявления оползней на территории КМВ (кроме городов-курортов), позволили оценить условия, причины, масштабы и опасность оползневых процессов, развитых здесь. На режим оползневой активности оказали влияние, как гидрометеорологические условия, так и техногенные воздействия на геологическую среду. Было установлено, что в последнее время активизация оползней на территории региона чаще всего происходит за счет хозяйственной деятельности. По результатам исследования выявлены наиболее подверженные оползневым процессам населенные пункты КМВ, приведены сведения о масштабах произошедших разрушений и деформаций жилых домов и хозяйственных объектов.

За последние 15 лет режимными наблюдениями установлена степень активности оползневых процессов в разных административных районах и оползневых зонах КМВ. Результаты анализа динамики активизации оползней на территории региона свидетельствуют об их преобладающем развитии в Предгорном административном районе. При этом наибольшая концентрация активных оползневых форм наблюдалась в Подкумской, Пятигорской, Олимпийской, Джинальской и Боргустанской оползневых зонах (см. рис. 2). Участились случаи активного проявления оползней с возникновением опасных и угрожающих ситуаций вдоль основных автодорог КМВ. Показано, что наиболее активно оползневые процессы проявляются в окрестностях городских агломераций региона.

Значимые оползневые подвижки за изучаемый период отмечались в 2005, 2006, 2010, 2016–2019 гг. В целом в сельской местности КМВ активность оползневых процессов и уровень их воздействия на объекты инфраструктуры за 2004–2019 гг., конечно, не были такими значительными, как, например, за аналогичный период в городах-курортах КМВ [14], но опасные и угрожающие ситуации в отдельных населенных пунктах и на объектах экономики региона возникали неоднократно.

Следует отметить, что приведенный в данной статье анализ результатов мониторинговых наблюдений за активностью оползневых процессов позволяет только в общем виде оценить степень оползневой опасности и активности на территории КМВ. К сожалению, в настоящее время нет возможности представить полную картину развития оползневых процессов (с оценкой степени их опасности) на изучаемой территории из-за отсутствия материалов крупномасштабной оползневой съемки и карт (координат) точного местоположения основных оползневых массивов.

Библиографический список

1. Генеральный план Минераловодского городского округа Ставропольского края. Т. 2. Материалы по обоснованию. Ставрополь: ООО «ФОК-Юг», 2016. 454 с.
2. Доклады «О состоянии окружающей среды и природопользовании в Ставропольском крае в 2006–2018 гг.». Ставрополь: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края, 2007–2019.
3. Золотарев Г.С. Генетические типы оползней, их развитие и изучение // Материалы совещания по изучению оползней и мер борьбы с ними. Киев, 1964. С. 165–170.
4. Золотова Е.В., Севастьянов Д.В. Рекреационные свойства горного рельефа региона Кавказских Минеральных Вод и перспективы оптимизации их использования // Вестник СПбГУ. Серия 7. Геология. География. 2011. Вып. 3. С. 92–99.

5. Информационные бюллетени о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2004–2018 гг. Вып. 28–42. М.: ООО «Геоинформмарк», 2005–2019.
6. Информационные бюллетени о состоянии недр территории Северо-Кавказского федерального округа Российской Федерации за 2015–2018 гг. Вып. 12–15. Ессентуки: ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», 2016–2019.
7. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации (по кварталам) за 2007–2019 гг. М.: ФГБУ ГМСН «Гидроспецгеология», 2007–2019.
8. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Северо-Кавказского федерального округа (по кварталам) за 2006–2019 гг. Ессентуки: ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», 2006–2019.
9. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды на территории Ставропольского края за 2005 г. Вып. 10. Железноводск: ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», 2006. 211 с.
10. Кузнецов Р.С. Опасные геологические процессы на территории города-курорта Кисловодска // Вестник СевКавГТИ. 2007. № 2 (11). С. 9–14.
11. Материалы комплексного экологического обследования участков территории, обосновывающих придание этим территориям правового статуса особо охраняемой природной территории федерального значения – национальный парк «Кисловодский» в Ставропольском крае. Т. 1. Эколого-экономическое обоснование национального парка «Кисловодский». Сочи: ФГБУ «Сочинский национальный парк», 2015. 137 с.
12. Одер И.В., Дмитриева Е.В. Потенциальные источники чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Ставропольского края. Ставрополь: Краевые сети связи, 2006. 88 с.
13. Попова О.Г., Серый А.В., Коновалов Ю.Ф. Результаты долговременного сейсмического мониторинга в сейсмоопасном районе Кавказских Минеральных Вод // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2008. № 2. С. 135–140.
14. Разумов В.В., Богданов М.И., Богданова Н.Д., Разумова Н.В., Висхаджиева К.С. Динамика оползневой активности в городах-курортах Кавказских Минеральных Вод // ГеоРиск. 2020. Т. XIV. № 1. (в печати)
15. Разумов В.В., Лиховид А.А., Харин К.В. Распространение и опасность проявления оползневых процессов на территории Ставропольского края // Геоморфология. 2017. № 3. С. 16–29.
16. Схема территориального планирования Георгиевского муниципального района Ставропольского края. Материалы по обоснованию проекта. Пояснительная записка. Ставрополь: Государственное учреждение архитектуры и градостроительства Ставропольского края, 2009. 220 с.

17. Схема территориального планирования Предгорного муниципального района Ставропольского края. Т. 1. Положение о территориальном планировании Предгорного муниципального района Ставропольского края. М: ООО «Российский институт градостроительства и инвестиционного развития «ГИПРОГОР», 2012. 68 с.
18. Hungr O., Leroueil S., Picarelli L. The Varnes classification of landslide types, an update // *Landslides*. 2014. Vol. 11. P. 167–194.
19. Официальный сайт Всероссийского НИИ гидрометеорологической информации – мировой центр данных. [Электронный ресурс]. URL: www.meteo.ru (дата обращения: 21.02.2020)

References

1. General plan of the Mineralovodsky Municipal District of the Stavropol Krai. Vol. 2. Materials on substantiation. Stavropol: "FOK-Yug", LLC 2016. 454 p. (in Russ).
2. Reports "On the environment state and nature management in the Stavropol Krai in 2006–2018". Stavropol: Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of Stavropol Krai, 2007–2019. (in Russ).
3. Zolotaryov G.S. Genetic types of landslides, their development and study // *Materials of the meeting on study of the landslides and preventive measures*. Kiev, 1964. P. 165–170. (in Russ).
4. Zolotova, E.V., Sevastianov D.V. Recreational properties of a mountain relief of the Caucasian Mineral Waters region and prospects of optimization of their use // *Vestnik of St. Petersburg State University*. 2011. Ser. 7. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. Seriya 7. Geologiya. Geographiya. 2011. Issue 3. P. 92–99. (in Russ).
5. Information bulletins on the state of mineral resources in the Russian Federation in 2004–2018. Issues 28–42. Moscow: "Geoinform-mark" LLC, 2005–2019. (in Russ).
6. Information bulletins on the state of mineral resources on the territory of the North Caucasian Federal District of the Russian Federation for 2015–2018. Issues 12–15. Essentuki: South Reginal Center for the State Monitoring of Mineral Resources State FSBI "Hydrospetsgeologiya", 2016–2019. (in Russ).
7. Information bulletins on manifestations of exogenous geological processes in the Russian Federation (by quarters) in 2007–2019. Moscow: State Monitoring of Mineral Resources State FSBI "Hydrospetsgeologiya", 2007–2019. (in Russ).
8. Information reports on the manifestations of exogenous geological processes on the territory of the North Caucasus Federal District (by quarters) in 2006–2019. Essentuki: South Reginal Center for the State Monitoring of Mineral Resources State FSBI "Hydrospetsgeologiya", 2006–2019. (in Russ).
9. Information bulletin on the state of the geological environment on

- the territory of the Stavropol Krai for 2005. Issue 10. Zheleznovodsk: South Regional Center for the State Monitoring of Mineral Resources State FSBI "Hydrospetsgeologiya", 2006. 211 p. (in Russ).
10. Kuznetsov R.S. Hazardous geological processes in Kislovodsk resort town // Vestnik SevKavGTI. 2007. No. 2 (11). P. 9–14. (in Russ.).
 11. Materials of a comprehensive environmental survey of the areas justifying the granting of the legal status of a specially protected natural area of federal importance to these territories – "Kislovodsky" National Park in Stavropol Krai. Vol. 1 Ecological and economic justification of the "Kislovodsky" National Park. Sochi: Sochi National Park. 137 p. (in Russ.).
 12. Oder I.V., Dmitrieva E.V. Potential sources of emergency situations of natural character in the Stavropol Krai. Stavropol: Kraevye sety svyazi. (in Russ.).
 13. Popova O.G., Seriy A.V., Konovalov Yu.F. Results of long-term seismic monitoring in seismic-prone region of the Caucasian Mineral Waters // Geoecology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology. 2008. No. 2. P. 135–140. (in Russ.).
 14. Razumov V.V., Bogdanov M.I., Bogdanova N.D., Razumova N.V., Viskhadzhieva K.S. Dynamics of landslide activity in the resort towns of Caucasian Mineral Waters. GeoRisk World. 2020. Vol. XIV. No. 1. (in Russ.).
 15. Razumov V.V., Likhovid A.A., Kharin K.V. Spatial distribution and risk of landslides in Stavropol Krai // Geomorfologiya. 2017. No. 3. P. 16–29. (in Russ.).
 16. Territorial planning scheme of Georgievsky Municipal District of Stavropol Krai. Project justification materials. Explanatory note. Stavropol: State Institution of Architecture and Urban Planning of Stavropol Krai, 2009. 220 p. (in Russ.).
 17. Territorial planning scheme of the Predgorny Municipal District of Stavropol Krai. Vol. 1. Regulations on the territorial planning of Predgorny Municipal District of Stavropol Krai. Moscow: "Russian Institute of Urban Planning and Investment Development "GIPROGOR" LLC, 2012. 68 p. (in Russ.).
 18. Hungr O., Leroueil S., Picarelli L. The Varnes classification of landslide types, an update // Landslides. 2014. Vol. 11. P. 167–194.
 19. The official site of the All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – the World Data Center. [Electronic source]. URL: www.meteo.ru (accessed: 21 February 2020). (in Russ.).

Об авторах

- Разумов Виктор Владимирович, доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева». ScopusID: 57191515724. E-mail: razumov_vv@mail.ru
- Висхаджиева Карина Сайдовна, инженер лаборатории снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. ScopusID: 57195310882, ResearcherID: D-8950-2019. E-mail: viskhadzhieva@geogr.msu.ru
- Богданова Наталья Дмитриевна, инженер ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве». E-mail: kolesova@igiis.ru
- Лысенко Алексей Владимирович, доктор географических наук, доцент, заведующий кафедрой физической географии и кадастров Северо-Кавказского федерального университета (г. Ставрополь, Россия). E-mail: lysenkostav@yandex.ru

About the authors

- Razumov Viktor Vladimirovich, Doctor of Science in Geography, professor, leading research scientist of the Dokuchaev Soil Science Institute RAAS. ScopusID: 57191515724. E-mail: razumov_vv@mail.ru
- Viskhadzhieva Karina Saidovna, engineer of the Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. ScopusID: 57195310882, ResearcherID: D-8950-2019. E-mail: viskhadzhieva@geogr.msu.ru
- Bogdanova Natalia Dmitrievna, engineer of the "Russian Geotechnical Institute" LLC. E-mail: kolesova@igiis.ru
- Lysenko Aleksey Vladimirovich, doctor of geographical Sciences, associate Professor, head of the Department of physical geography and cadastre of the North Caucasus Federal University (Stavropol, Russia). E-mail: lysenkostav@yandex.ru

25.00.23
УДК: 911.2

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ
И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

Шальнев В.А.,
Мельничук В.В.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь, Россия
*v470524@yandex.ru; **vita2783@mail.ru

ГЕОЭКОЛОГИЯ ИЛИ ЛАНДШАФТНАЯ ЭКОЛОГИЯ. ЧТО ЭТО: УСПЕХИ ГЕОГРАФИИ ИЛИ ЕЕ КРИЗИС?

Введение.

В середине XX в. на фоне обострения противоречий и роста проблем взаимодействия общества и природы понятие экология получает новый статус. Из скромной биологической науки она ставится «новой философией» и «новой религией современного быта людей». Основные направления ее теории базировались на биосферной концепции, созданной В.И. Вернадским еще в начале XX в. Реалии современной географической действительности, включающие в себя учение о географической оболочке и ландшафтах, в таком подходе практически не использовались. Утрачено было и понятие о географической среде. Распространение получает термин окружающая среда, который в географической действительности относится лишь к частным явлениям.

Материалы и методы
исследований.

Методологической основой являлась концепция о географической среде и географическом детерминизме.

Результаты исследований
и их обсуждение.

В современных реалиях учение о географической среде, у которой ведущую роль играет природная составляющая с концепцией географического детерминизма, должна стать предметом изучения «Геоэкологии». Её цель – контроль за качеством и тенденциями трансформации географической среды в целом (как родового понятия) и ее отдельных видов сферных структур Земли (геологической, физико-географической абиотической, биосферной и среды ландшафтной сферы). Окружающая среда является уже предметом изучения «Ландшафтной экологии» как части «Экологической географии», изучающей региональные проблемы экологии. Такая среда формируется в пределах природных, окультуренных человеком и созданных им культурных ландшафтов в процессе субъект-объектных и субъект-субъектных отношений в конкретном месте жизни. Это среда места жизни человека в течение короткого (чаще всего суточного) цикла его жизнедеятельности. Она сложно устроена и отражает все разнообразие видов сред, которые в свое время описал Н.Ф. Реймерс (1990).

Выводы.

Сложность структуры современной географической действительности определяет большое разнообразие сред жизни биоты и человека (человечества) в современных быстро меняющихся реалиях. Использование геопространственного и деятельностного подходов как методологической основы концепции о географической среде (родовое понятие) позволяет рассмотреть преемственность различных видов сферных сред в географической оболочке в иерархической последовательности их формирования.

Ключевые слова:

геоэкология, географическая среда, экологическая география, геосистема, экосистема, биоэкосистема, ландшафтная экология, окружающая среда жизни человека.

Shalnev V.A.*,
Melnichuk V.V.**

North-Caucasus Federal University,
Stavropol, Russia
*v470524@yandex.ru; **vita2783@mail.ru

Geoecology or landscape ecology.

What are these: geography 's successes or its crisis?

Introduction.	In the mid-20th century, against the background of increasing contradictions and growing problems of interaction between society and nature, the concept of ecology receives a new status. From modest biological science, it is set as "a new philosophy" and "a new religion of modern human life." The main directions of her theory were based on the biosphere concept created by V.I. Vernadsky in the early 20th century. The realities of modern geographical reality, including the teaching of geographical shell and landscapes, were hardly used in this approach. The notion of a geographical environment has also been lost. The term environment is common, which in geographical reality refers only to private phenomena.
Materials and methods of the research.	Methodological basis was the concept of geographical environment and geographical determinism.
Results of the study and their discussion.	In modern realities, the teaching of a geographical environment in which the natural component plays a leading role with the concept of geographical determinism should be the subject of "Geoecology." Its purpose is to control the quality and trends of transformation of the geographical environment as a whole (as a generic concept) and its separate species of spherical structures of the Earth (geological, physical and geographical abiotic, biosphere and landscape sphere environment). The environment is already the subject of a study by Landscape Ecology as part of Ecological Geography, which studies regional environmental issues. Such an environment is formed within natural, human-cultivated and cultural landscapes created by it in the process of subject-object and subject-subject relations in a particular place of life. It is the environment of a person 's place of life during a short (most often daily) cycle of his life. It is complex and reflects all the variety of media that N.F. Reimers (1990) described.
Conclusions.	The complexity of the structure of modern geographical reality determines the great variety of environments of life of biota and man (mankind) in modern rapidly changing realities. The use of geospatial and activity approaches as the methodological basis of the concept of the geographical environment (generic concept) allows to consider the continuity of different kinds of spherical environments in the geographical shell in the hierarchical sequence of their formation.
Keywords:	Geoecology, geographic environment, ecological geography, geosystem, ecosystem, bioecosystem, landscape ecology, environment of human life.

Введение

Вторая половина XX века прошла под влиянием экологических идей, отражающих интерес человечества к трансформации условий их жизни под влиянием хозяйственной деятельности в индустриальных районах и урбанизированных системах. Термин «экология» ввел Э. Геккель, понимая ее как «сумму знаний, относящихся к экономике природы: изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, так и неорганической» (цит. по Риклефс, 1979, с. 10). Здесь упоминается уже термин «окружающая среда». Причем два ее вида. Позже в

публикациях Ч. Дарвина, Э. Реклю, Л.И. Мечникова называются еще и другие виды среды жизни – «географическая», «культурная», «космическая» и др. Под термином же «окружающая среда» чаще понимали природные условия существования общества.

В 1922 году американский географ Х. Берроуз разрабатывает свое учение о приспособлении человека (человечества) к природному окружению, называя его «экологией человека». Такое направление, по его мнению, должно было обусловить интеграцию географических наук по изучению проблем взаимодействия общества и природы, а также негативных последствий хозяйственной деятельности человека.

Ю. Одум сформулировал основные положения общей экологии, которая вышла из биологии и оформилась «в принципиально новую интегральную дисциплину, связывающую физические и биологические явления и образующую мост между естественными и общественными науками» (1986. Т. 1, с. 13). Теоретические основы экологии, как науки, создает и Н.Ф. Реймерс. Основой теории такого направления являлась концепция о биосфере В.И. Вернадского. К сожалению, географические реалии здесь фактически не учитывались.

Особый интерес к проблемам экологии современной цивилизации вызвали выводы участников Римского клуба (1968-1972 гг.), сформировавших идею пределов ее роста, связанных с исчерпанием основных природных ресурсов и возрастанием процессов загрязнения мест обитания человека. «Экологический бум – результат не только крайне неблагоприятных для человека изменений в биосфере – писал К.М. Петров. – Это определенная реакция общественного сознания, которое, наконец, начало подходить к пониманию важности оценки места человека в природе» (1997. С. 4). В связи с этим делается попытка создания новой науки – *социальной экологии*. Н.Ф. Реймерс (1990) определяет предмет изучения этой науки, связанный с изучением взаимодействия и взаимосвязей человеческого общества с природной средой, а также научными основами рационального природопользования. А.Д. Урсул, Ю.Ю. Галкин и А.М. Анохин (2000) пишут, что такое научное направление призвано формулировать «качественно новые типы законов, отражающих взаимосвязь природы, технико-технологической среды жизни общества и человека». Основными категориальными понятиями называются «биосфера», «общество», «человек», «окружающая среда» и др. Однако о законах речь не идет.

К концу XX века популярность экологии и экологического подхода быстро растет. Это направление научного знания стало не только привлекательной областью знания, но экологом стало быть выгодно, даже в политике. Так, в Европе появляется партия «зелёных». По мнению Н.Ф. Реймерса, отсутствие фундаментальных теоретических основ экологического знания привлекло к ней большое количество тех, кто в этой сфере ничего не смыслит.

«Все стали экологами – пишет он. – Такого взрыва профанации знания не было в истории человечества. Раз все стали «экологами», то почти всё стали называть «экологией», в том числе охрану природы и охрану окружающей среды» (1994, с. 13).

Материалы и методы исследований

Идеи экологического подхода оказали не самое благоприятное влияние на географические науки. Об этом с тревогой писал В.Т. Богучарсков (2000), что «географию вытесняют с ее традиционного поля деятельности. Традиционно географические направления объявляются экологическими, а географы нередко предпочитают себя называть экологами» (с. 137).

Впервые на эту проблему обратил внимание К. Троль, предложивший в 1939 году термин «ландшафтная экология», которая должна была изучать взаимоотношения «между живыми существами и их средой в данной части ландшафта». По сути дела, он обозначил модель субъект-объектных отношений, которая во второй половине XX века у биологов получила название «биоэко-системы». В географических же исследованиях это направление не получило своего развития. Поэтому К. Троль в 1966 году в противовес «биогеоценологии» В.Н. Сукачева предложил синоним «*геоэкология*». Это научное направление предполагало изучение взаимодействия человека со средой обитания опять на основе учения о биосфере В.И. Вернадского. Его активно поддерживали биологи, в частности Н.Ф. Реймерс (1994), предложивший создание нового научного направления в виде «большой экологии» или «мегаэкологии». При обсуждении этой проблемы подчеркивалась мысль о больших сложностях в создании фундаментальных теоретических основ этого направления. И, к сожалению, совершенно не учитывался опыт географических исследований, особенно антропогеографии с обруганной концепцией географического детерминизма и природными законами развития географической оболочки.

Развитие идей геоэкологии в географических исследованиях способствовала концепция В.А. Анучина о *географической среде* (1957), которая вызвала бурную дискуссию и даже отторжение идей автора с идеологическим подтекстом о единстве географии на ее основе. Однако прошло непродолжительное время и в географических исследованиях появилось больше публикаций по этому новому направлению исследований. Бум публикаций пришелся на 90-е годы XX века (К.М. Петров, Н.Ф. Реймерс, Б.Б. Поздеев, Б.И. Кочуров, И.Е. Тимашев и др.). Появляются первые учебные пособия и учебники (Петров, 1994; Горшков, 1998; Кочуров, 1999 и др.), рассматривающие общие вопросы геоэкологии с использованием, чаще всего, учения о современной биосфере. Издается пособие «Основы учения об окружающей среде» (Беляев, Братков, 2000). Позже на ее основе публикуется учебное пособие «Геоэкология» (Братков, Овдиенко, 2006).

В то же время в этих публикациях отмечается большой разброс авторских мнений о фундаментальных положениях геоэкологии – ее структуре, предмете изучения, основах теории и понятийном аппарате. А.Г. Исаченко писал, что «происходит терминологическая подмена ландшафтоведения, палеогеографии и других отраслей географии геоэкологией, и делается это в значительной мере в угоду моде на экологию» (1995, с. 6, 17). В.Т. Богучарсков (2006) приводит пример с учебным пособием В.В. Браткова «Геоэкология» (2001), где основные разделы книги повторяют содержание учебников по общему землеведению. В выводах акцент делается не на фундаментальные положения этого научного направления, а на популистские рассуждения типа «доведения индивидуального пищевого и непищевого потребления до этически научно-обоснованных норм» или «снизить до 1 % затраты на развитие и поддержание цивилизации и направить 99 % затрат на восстановление природного круговорота веществ и стабилизацию биосферы» (с. 265).

При этом следует понимать, что на термин «геоэкология» вправе претендовать все науки о Земле. Уже в 90-е годы возник спор между геологами и географами о приоритете использования этого термина. Постепенно географическая составляющая здесь стала размываться, а биосферная концепция и учение о биосферной среде, сформулированные В.И. Вернадским еще в начале XX века, стали основополагающими в экологических исследованиях. По этому поводу интересно мнение К.М. Петрова (2005), который пишет, что коренных биоценозов в биосфере практически не осталось. Они в той или иной степени изменены человеком. «В ряде случаев приходится рассчитывать на восстановление не коренных, а *потенциальных биомов*, т.е. тех сообществ, которые реально могут восстановиться в данном месте», поэтому «устойчивость биосферы поддерживается не постоянством ее состава, а появлением новых видов с *разной жизненной стратегией*» (с.107, курсив наш). По этим признакам Л.Г. Раменский (1971) одни виды называл «львами», а другие «шакалами». Первые требуют устойчивой среды жизни, поэтому их жизненная энергия расходуется в основном на прирост биомассы, а не размножение. И, как следствие, на «работу» принципа Ле Шателье-Брауна, когда биота («субъект») сама регулирует свою среду жизни. Вторые, с непродолжительным периодом жизни, предпочитают нестабильные местообитания и характеризуются высокой репродуктивностью. Такой подход позволяет не только контролировать количественные показатели биотопа и отдельных биоценозов современной биосферы (когда «львы» уступили место «шакалам»), но и качественные изменения, связанные с началом кризисных ситуаций в ее глобальной структуре.

С учетом географического подхода А.Г. Исаченко предложил формировать иное научное направление – *экологическую географию*. Предметом изучения здесь является географическая среда, ее сохранение и улучшение (оптимизация). Она представляет собой «совокупность сложно организован-

ных («структурированных»), иерархически соподчиненных геосистем разных порядков» (1995, с. 19). При этом структура географической оболочки здесь учитывается как базовая основа в определении географической среды, потому что экологические ситуации и проблемы во многих случаях создает сама природа, без участия человека. «Природные экологические факторы имеют универсальный характер, они более устойчивы, чем антропогенные», а «природная среда создает тот необходимый экологический фон, вне которого невозможно рассматривать экологический эффект антропогенных воздействий» (2003, с. 29). Важным также является и принцип регионального эколого-географического анализа на ландшафтной основе.

Даже поверхностный анализ современного состояния изучения экологических проблем в системе географических наук, да и в целом в «большой экологии», показал хаотичность научных разработок и отсутствие успехов в систематизации теоретических разработок. В то же время в каждом из рассмотренных подходов есть своя доля правды, что подчеркивает сложность предмета изучения этих проблем в географии при отсутствии понимания пространственно-временных закономерностей существования биоты и человека в разных по рангу геосистемах и природных условиях жизни. Тем более что пионерные работы биологов при изучении биоценозов заложили дихотомию и формирование двух принципиально разных подходов в учении о биосфере:

- биоферного В.И. Вернадского, который рассматривал биосферу как глобальный биотоп Земли с большим разнообразием живого вещества;
- экобиосферного В.Н. Беклемешева, который понимал биосферу как экобиосферу планеты, т.е. биоценоз с биоценотическими и экологическими характеристиками (Мирзоян, 1991).

В связи с этим во второй половине XX века в географических исследованиях при использовании системного и экологического подходов появились определенные успехи, когда были разработаны методы моделирования при изучении объектов, имеющих сложную структуру. Так, в географическом словаре «Охрана ландшафтов» (1982), под редакцией В.С. Преображенского, впервые были представлены виды моделей, раскрывающие сущность и принципиальные различия таких понятий как «*геосистема*» и «*экосистема*».

Для природных геосистем ландшафтной размерности (фаций, урочищ и самого ландшафта) характерна значимость всех природных компонентов и наличие устойчивых связей между ними, т.е. для такой геосистемы *типичны объект-объектные отношения*. Эмерджентными свойствами такой геосистемы, раскрывающими сущность взаимодействия и взаимовлияния ее элементов в виде комплексного эффекта, являются *природные условия*, т.е. то, от чего зависит устойчивое функционирование взаимосвязей и самой гео-

системы в целом. В итоге формируется особое *поле природных условий* и ее территориальный ареал. Наиболее однородны природные условия геосистемы ранга фации, где преобладают вертикальные связи между компонентами. Более крупные геосистемы морфологических единиц ландшафта имеют и более сложную особенность этих условий, связанных с мезоформами рельефа, транзитом вещества и доминированием латеральных связей. Сам ландшафт имеет свои особенности и несет на себе уже «печать» закона зональности и других глобальных законов географической оболочки, разработанных великой школой русских и советских географов XX века. Для ландшафтной сферы наиболее значимы законы территориальной дифференциации и организации. Их совокупное влияние оказывало и оказывает огромное влияние на системы природопользования и расселение человечества.

У природных геосистем ландшафтного уровня большое значение также имеют и их *социально-экономические функции*, которые определяются общественными целями при их изучении. С этих позиций каждая геосистема ландшафта может рассматриваться как ресурсная (ресурсосодержащая и ресурсовоспроизводящая), так и средоформирующая, т.е. формирующая природную среду жизни биоты и человека. При этом в идеальной модели ландшафтных экосистем происходит иной тип взаимодействия – субъект-объектные отношения. Поэтому такая модель получила название эоцентрированной. Эмерджентными свойствами таких взаимоотношений и взаимодействий являются *условия жизни субъекта* или свойства его «природной среды жизни», отражающей качество такой среды на данный момент времени и определяющей адаптивно-адаптационные типы поведения субъекта в определенном пространстве. *Адаптация* означает приспособление «субъекта», в первую очередь, к качеству природной среды, наиболее важными показателями которой являются особенности теплооборота места расположения геосистемы. *Адаптивность* же направлена на улучшение или ухудшение качества среды самим «субъектом» (Шальнев, 2015).

Таким образом, *природная среда любой природной экосистемы ландшафтного уровня – это реализованные природные условия в субъект-объектных и субъект-субъектных (межвидовых) отношениях с учетом роли ведущих факторов и законов внешней природной среды более крупных геосистем и экосистем глобального геопространства Земли*. При этом надо учитывать, что фактор среды отражает не диалектические зависимости, а корреляционные (адаптивно-адаптационные) особенности поведения «хозяина», объясняющие зависимости двух типов субстрата геопространства на уровне фации – абиотического со своей формой движения материи и биотического с биологической формой движения материи (Лямин, 2001). *В таком качестве набор биоэкосистем в ранге фаций представляет собой «анатомию» и «физиологию» ландшафтной структуры, которая регулирует природную среду не только ландшафтов, но и биосферы в целом.*

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время эти проблемы должна изучать ландшафтная экология с «географическим лицом», которая находится в начальной стадии становления и входит в состав экологической географии. Пионерных работ с опытом полевых исследований не очень много. Например, исследования по биотике ландшафтов научной школы Ставропольского Северо-Кавказского федерального университета «Ландшафтная экология и биоразнообразие» (Лиховид А.А., Шальнев В.А, 2001; Лиховид и др., 2005; Шальнев, Конева, Гончарова, 2008; Шальнев, Конева, 2013; Шальнев, Федюнина, 2013 и др.). Теоретические основы этого направления прослеживаются через понятийный аппарат: природный ландшафт, элементарные геосистемы и экосистемы ранга фаций, взаимосвязь и взаимодействие их компонентов, объект-объектные и субъект-объектные отношения, эмерджентные свойства, социально-экономические функции геосистем, их природные условия и природная среда, адаптивно-адаптационные формы поведения «субъекта», внешняя природная среда и др.

Предмет изучения этого направления – природная ландшафтная среда, а также субъект-объектные и субъект-субъектные отношения в пространстве ландшафта и его морфологических единиц. Такая среда, с одной стороны, учитывает дискретность структуры морфологических единиц ландшафта. С другой стороны, находится под влиянием сред географической оболочки и внешней природы, которые все больше усложняются от космической солнечной системы и земной геологической к абиотической физико-географической и далее к биосферной, а в пределах ландшафтной к месту нахождения «субъекта».

Объектом изучения ландшафтной экологии является ландшафтная сфера, которая есть часть биосферы и, по словам Ф.Н. Милькова, ее «фокус». Она и стала «колыбелью» человечества, так как в ее пространстве сконцентрированы воспроизводимые природные ресурсы и сформировалась оптимальная природная среда для жизни не только биоты, но и человека. Разнообразие ландшафтов, геосистем морфологических единиц ландшафтов, биогеоценозов и биоэкосистем определялось «работой» географических законов – зональности, азональности, провинциальности и др.

С появлением человека в ландшафтной сфере Земли возникли новые реалии в виде социобиосферного эффекта, когда в ее пространстве сформировались две взаимодействующие подсистемы – «новая ландшафтная сфера» и «социокультурно-хозяйственная» общества. Для функционирования, динамики и развития такой сложной системы новым активным элементом стала хозяйственная деятельность человека. Возникшие системы природопользования и расселения вызвали последствия и цепные реакции, которые чаще всего имели негативный итог.

За небольшой промежуток исторического времени эволюционного развития общества природные ландшафты были осмыслены и обустроены, по мнению В.И. Вернадского, *энергией человеческой культуры* (2002) и этнокультурными ценностями цивилизаций. Появились новые корреляционные закономерности в ландшафтной сфере, связанные с системами природопользования и расселения, социокультурными явлениями, формированием этнических групп населения Земли. Многие тысячелетия существующие системы природопользования «вписывались» в естественную природную ландшафтную среду, не вызывая существенных изменений ее качества. Доминировали сельские типы поселения с квазиприродной средой или, по Н.Ф. Реймерсу, средой «второй природы». Такая среда определяет относительно комфортные условия жизни. Примером может быть район Юго-Восточной Азии, где расположена Индия, Китай, государства полуострова Индокитай и Передней Азии. Это самый густонаселенный район Земли с сохранением в течение длительного времени традиционных форм природопользования, где проживает почти половина всего населения Земли. Р. Каплан (2016) этот феноменальный мир человечества назвал «демографическим пупом Земли».

Переход человечества к индустриальному типу общества формировал новую идеологию социума – ресурсопотребление без ограничений на основе научно-технических достижений, утрате внимания к природной составляющей среды жизни и сакральности, росту городов и городского образа жизни. Это время истории «очеловеченной природы» в пределах ландшафтной сферы Земли. В условиях территориального разделения труда и производственной специализации районов происходило формирование очагов с высокой плотностью населения. И был запущен антропогенный процесс эрозии природных ландшафтов в пределах всей ландшафтной сферы материков. С позиций географического подхода такую современную сферу можно называть *сферой природопользования и систем расселения, или малой антропосферой* (Шальнев, 2018).

Здесь природная составляющая географического детерминизма не всегда является доминантной. Появляются и другие понятия детерминизма – социального, экономического, социокультурного, системного, системного с обратной связью и др. И новые названия измененной природной среды жизни человека – «очеловеченной», «второй природы», «природной измененной человеком», «социобиосферной» и т. д. Поэтому в пределах ландшафтной сферы произошли структурные изменения и получили распространение не только природные территориальные системы (ПТС), но и общественно-территориальные системы (ОТС), а также интегрально-территориальные системы (ИТС) (Исаченко, 2008). К последним относят этнокультурные и культурные ландшафты. Как следствие, в пределах таких структурных образованиях *произошло формирование разных типов сред в их эволюционной последовательности: природная абиотическая → природная биотическая → социальная →*

техногенная. Их преемственность прослеживается по принципу от простого к более сложному с усложнением их структуры и увеличением плотности. При этом в научных публикациях не только экологической направленности, но и других наук, включая философию и средства массовой информации, по идеологическим подходам произошло табуирование общего термина «*географическая среда*». Модным становится термин «*окружающая среда*», что в сложной современной географической действительности может быть лишь частным видовым понятием.

С целью уточнения разнообразия географических сред современной географической оболочки, включающей в себя подсистему общества, была разработана пространственная модель, где центральное положение занимает «место жизни человека». Здесь для «субъекта» (человека, группы людей) «место» является, с одной стороны, частью общего, т.е. вертикального геопространства географической оболочки с ее сферными структурами. С другой стороны, «место» представляет часть территории, т.е. малых геосистем ландшафтов и самих ландшафтов, в пределах которых протекает жизнь «субъекта» в зависимости от циклов его пространственно-временной деятельности: суточного, недельного, годового и т.д. (Шальнев, Федюнина, 1999).

Выводы

1. Сложность структуры современной географической действительности определяет большое разнообразие сред жизни биоты и человека (человечества) в современных быстро меняющихся реалиях. Однако учение о географической среде, ее родовых и видовых формах остается в стадии дискуссии и большого разброса мнений в научных публикациях. Более того, часто происходит отождествление понятия природной среды с природными условиями.

Использование геопространственного и деятельностного подходов как методологической основы концепции о *географической среде* (родовое понятие) позволяет рассмотреть преемственность различных видов сферных сред в иерархической последовательности их формирования. Свойство таких сред зависит от набора компонентов, внешних и внутренних факторов, условий и системных отношений, которые все больше усложняются от среды внешней (космической) природы к «месту» нахождения «субъекта». В числе таких сред, эволюционно возникших в географической оболочке, можно назвать:

- геологическую абиотическую с эндогенными и экзогенными процессами и своими природными законами;
- физико-географическую абиотическую с процессами теплооборота и своими законами функционирования трех абиотических сфер в «образе» физиосферы (Шальнев, 2015);

- биосферную с биохимическими и биогеохимическими процессами в пределах разнообразных биогеосистем и биоэкосистем, законами функционирования биосферы, адаптационными механизмами и принципом регулирования биосферной среды Ле Шателье – Брауна;
 - современную ландшафтную с наличием природных и культурных ландшафтов, осмысленных и обустроенных энергией человеческой культуры и хозяйственной деятельностью, а также наличием объект-объектных, субъект-объектных и субъект-субъектных отношений в большом разнообразии «окружающих сред жизни».
2. Видовое разнообразие видов географических сред должно являться предметом изучения *геоэкологии*, которая относится к группе интегральных или природно-общественных наук, где ведущую роль играет природная составляющая с концепцией географического детерминизма. Ее цель – контроль за состоянием и нормальным функционированием всех структурных элементов географической оболочки, которые обеспечивают инвариантное состояние всех видов географических сред. Другая сторона современных реалий состояния географической среды связана с антропогенной деятельностью общества. В современных геоэкологических исследованиях большое внимание уделяется почему-то последствиям загрязнения и трансформации чаще всего биосферной среды, тенденциям изменения климата, деградации почвенного и растительного покрова, таянию ледников, а также проблемам демографии, росту экономики и промышленных выбросов и многому другому. О других видах географических сред информации мало. В тени остаются и вопросы охраны природы. В биосферной же среде контроль должен осуществляться не столько за сохранением биоразнообразия современной биосферы, сколько за сохранением основного ее генофонда – генофонда растительности «львов» и их биоэкосистем, а также тенденций их замещения новыми группами сообществ с другой жизненной стратегией («шакалов» по Л.Г. Раменскому).
3. Особое положение занимает *окружающая среда жизни человека* как часть ландшафтной среды природных, окультуренных или культурных ландшафтов Земли. Это среда места жизни человека в течение короткого (чаще всего суточного) цикла его жизнедеятельности. Такая среда сложно устроена и динамична, так как отражает все свойства видов географических сред, с одной стороны, и разнообразие территориальных внутриландшафтных «сред места жизни человека» – природной ландшафтной, квазиприродной, городской, производственной, конфессиональной, артеприродной, языковой, религиозной и др., описанных

Н.Ф. Реймерсом(1990), с другой стороны. Наиболее сложно устроена окружающая среда городских ландшафтов. Перемещаясь в течение суток в таком пространстве, «субъект» неоднократно меняет свою окружающую среду. Такая вариативная среда является предметом изучения *ландшафтной экологии*, приоритетными направлениями которой являются:

- анализ и оценка *природного потенциала* ландшафтов в разных природных зонах с использованием парциальных систем (природно-ресурсных, природно-сельскохозяйственных, систем расселения и др.), а также *ресурсного потенциала*, его устойчивости и экологической емкости;
- создание ландшафтно-экологического фонда с наличием природно-охранных территорий и охранных зон (рефугиумов для «львов»). Особое внимание должно уделяться сохранению естественных биогеоценозов и биосистем фациального уровня, биота которых не только регулирует окружающую среду жизни такого «субъекта», но и качество отдельных видов ландшафтных сред и ландшафтной сферной среды в целом;
- определение ландшафтно-экологического нормирования, связанного с разработкой регламентов антропогенного воздействия;
- оценка и мониторинг качества видов ландшафтной и окружающей среды места жизни человека с выходами на интегральную среду, которая определяется показателями здоровья человека;
- создание новых форм землепользования типа наутил, которые разрабатываются в некоторых европейских странах с целью сохранения и поддержания основных функций природного ландшафта – ресурсовоспроизводящей и средоформирующей.

Создание современной теории «Экологической географии» и «Ландшафтной экологии» с учетом географического подхода, убедительно объясняющего современную действительность в географическом пространстве и качество состояния видов географических сред, позволит успешнее решать глобальные и региональные проблемы общества. При этом надо помнить, что достижения науки и техники не смогут принести ожидаемых результатов без опоры на определенные культурные традиции и нравственное воспитание. И может быть тогда, кто-то из современных художников напишет собирательный портрет с названием «Географ», как это сделал в XVII веке, в эпоху Великих географических открытий голландский художник Ян Веймеер.

Библиографический список

1. Риклефс Р. Основы общей экологии. М.: Мир, 1979.
2. Одум Ю. Экология. Т. 1. М.: Мир, 1986.
3. Петров К.М. Общая экология. Взаимодействие общества и природы: Учебник для вузов. СПб.: Химия, 1997.
4. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990.
5. Урсул А.Д., Галкин Ю.Ю., Анохин А.М. Социальная экология: наука или мировоззрение? // Вестник экологического образования в России, 2000. №3/17.
6. Реймерс Н.Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: «Россия молодая», 1994.
7. Анучин В.А. О сущности географической среды и проявлении индетерминизма в советской географии// Вопросы географии, 1957. Сб. 41.
8. Петров К.М. Геоэкология. СПб, 2003.
9. Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии. Смоленск: Изд-во СГУ, 1998.
10. Кочуров Б.И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. Смоленск: Изд-во СГУ, 1999.
11. Беляев Г.К., Братков В.В. Основы учения об окружающей среде. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2000.
12. Братков В.В., Овдиенко Н.И. Геоэкология. М.: Высшая школа, 2006.
13. Петров К.М. Эволюция и коэволюция биосферы-ноосферы/ Теория и практика эколого-географич. исследований. С-Петербург: Изд-во ТИН, 2005.
14. Раменский Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Избр. работы. Л., 1971.
15. Исаченко А.Г. Экологическая география в связи с проблемой интеграции географических наук// Русское географическое общество: новые идеи и пути. Сб. научных трудов. СПб.: РГО, 1995.
16. Исаченко А.Г. Введение в экологическую географию. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003.
17. Мирзоян Э.Н. Теория эволюции и концепция геомерида (К 100-летию со дня рождения В.Н. Беклемешева)// Бюллетень Московского об-ва испытателей природы. Отд. Биол. Т. 95. 1991. Вып. 5.
18. Шальнев В.А. Общая география и учение о геOVERCUMME. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2015.
19. Лямин В.С. Теоретико-познавательная роль категории «Географическая картина мира»// Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2001. №3.
20. Лиховид А.А., Шальнев В.А. Биотика ландшафта: объект, структура, основные концепции и методологическая база// Материалы Всероссийской телеконференции «Современная биогеография». М., ИИЕТ, 2001.

21. Биотика ландшафта: подходы и первые итоги исследований / Лиховид А.А., Шальнев В.А., Харин К.В., Шкарлет К.Ю. // Материалы 12 съезда РГО. СПб, 2005.
22. Шальнев В.А., Конева В.В., Гончарова Н.Н. Ландшафтно-экологический подход в изучении беспозвоночных горных стран// Проблемы региональной экологии. М, 2008. №5.
23. Шальнев В.А., Федюнина Д.Ю. Научная школа «Ландшафтная экология и биоразнообразие»: история и результаты исследования// Ученые записки Ставропольского отдел. РГО. Т. 1. Ставрополь, 2013.
24. Каплан Р. Месть географии. М.: Издательская группа «Азбука – Аттикус», 2016.
25. Шальнев В.А. История познания географической действительности и проблемы интеграции географических наук. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2018.
26. Исаченко А.Г. Ландшафтная структура земли, расселение, природопользование. СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 2008.
27. Шальнев В.А., Федюнина Д.Ю. Глобальные и региональные проблемы учения о географической среде// Вопросы географии и геоэкологии. Ставрополь, 1999.

References

1. Riklifs. Fundamentals of the general ecology. M.: World, 1979.
2. Odum Yu. Ecology. T. 1. M.: World, 1986.
3. Petrov K.M. General ecology. Interaction between society and nature: Textbook for universities. SPb.: Chemistry, 1997.
4. Reimers N.F. Environmental management. Dictionary reference. M.: Thought, 1990.
5. Ursule A.D., Galkin Yu.Yu., Anakhon A.M. Social ecology: science or outlook?//The messenger of ecological education in Russia, 2000. No. 3/17.
6. Reimers N.F. Ecology (theory, laws, rules, principles, and hypotheses). Moscow: «Russia Young,» 1994.
7. Anuchin V.A. On the Essence of the Geographical Environment and the Manifestation of Indeterminism in Soviet Geography//Issues of Geography, 1957. Сб. 41.
8. Petrov K.M. Geoecology. SPb, 2003.
9. Gorshkov S.P. Conceptual Foundations of Geoecology. Smolensk: Moscow State University, 1998.
10. Kochrov B.I. Geoecology: ecodiagnostics and ecological-economic balance of the territory. Smolensk: Moscow State University, 1999.
11. Bialiayev G.K., Bratkov V.V. Basics of the exercise on the environment. Stavropol: SMU, 2000.
12. Bratkov V.V., Ovdienko N.I. Geoecology. M.: Higher School, 2006.
13. Petrov K.M. Evolution and coevolution of the biosphere-noosphere/ Theory and practice of ecological-geography. researches. C-Petersburg: TIN, 2005.

14. Ramensky L.G. Problems and methods of vegetation cover study. Izbr. works. L., 1971.
15. Isachenko A.G. Ecological Geography in Connection with the Problem of Integration of Geographical Sciences//Russian Geographical Society: New Ideas and Ways. Сб. scientific works. SPb.: RGO, 1995.
16. Isachenko A.G. Introduction to ecological geography. SPB: SPbSU, 2003.
17. Mirzoyan E.N. Theory of Evolution and Concept of Geomerides (To the 100th Anniversary of the Birth of V.N. Beklemeshev)//Bulletin of the Moscow Law of Nature Testers. Otd. Biol. T. 95. 1991. Issue. 5.
18. Shalnev V.A. General geography and teaching about geoversum. Stavropol: SMU, 2015.
19. Lyamin V.S. Theoretical and cognitive role of category «Geographical picture of the world»//Journal of Moscow University. Series 5. Geography. 2001. №3.
20. Lihovid A.A., Shalnev V.A. Biotics Landscape: Object, Structure, Basic Concepts and Methodological Base//Materials of the All-Russian Teleconference «Modern Biogeography.» M, IIET, 2001.
21. Landscape Biotics: Approaches and First Results of Research/Lihovid A.A., Shalnev V.A., Harin K.V., Shkarlet K.Y.//Materials of the 12 Congress of RGO. SPb, 2005.
22. Shalnev V.A., Koneva V.V., Goncharova N.N. Landscape-ecological approach in studying invertebrate mountain countries//Problems of regional ecology. 2008. №5.
23. Shalnev V.A., Fedyunina D.Y. Scientific School «Landscape Ecology and Biodiversity»: History and Results of the Study//Scientists Notes of the Stavropol Branch of RGO. T. 1. Stavropol, 2013.
24. Kaplan R. Revenge of Geography. M.: Publishing group «Azbuka – Atticus,» 2016.
25. Shalnev V.A. History of knowledge of geographical reality and the problem of integration of geographical sciences. Stavropol: SCFU, 2018.
26. Isachenko A.G. Landscape structure of the earth, resettlement, environmental management. SPb.: Publishing house C. – the St. Petersburg university, 2008.
27. Shalnev V.A., Fedyunina D.Y. Global and regional problems of the exercise on geographical environment//Issues of geography and geoeology. Stavropol, 1999.

**Поступило в редакцию 10.02.2020,
принята к публикации 02.03.2020.**

Об авторах

Шальнев Виктор Александрович, доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и кадастров института математики и естественных наук, Северо-Кавказского федерального университета.

Телефон: (962) 447- 05-24

E-mail: v470524@yandex.ru.

Мельничук Виктория Викторовна, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и кадастров института математики и естественных наук, Северо-Кавказского федерального университета.

Телефон: (906) 413- 24-47

E-mail: vita2783@mail.ru.

About the authors

Shalnev Victor Alexandrovitch, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Physical Geography and Inventories of the Institute of Mathematics and Natural Sciences, North Caucasus Federal University.

Phone: (962) 447- 05-24

E-mail: v470524@yandex.ru.

Melnichuk Victoria Viktorovna, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Inventories of the Institute of Mathematics and Natural Sciences, North Caucasus Federal University.

Phone: (906) 413- 24-47

E-mail: vita2783@mail.ru.

25.00.24
УДК 314.9

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ
И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

Черкасов А.А.
Солнев Н.В.,
Гайдуков В.Р.

cherkasov_stav@mail.ru
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь, Россия

ГИС-МОНИТОРИНГ ФОРМИРОВАНИЯ ЭТНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ В РОССИИ

Введение:

Агломерированные территории активно исследуются российскими учеными. Преимущественно работы посвящены роли агломераций в устойчивом развитии территорий, рассматриваются административные, управленческие, градостроительные аспекты. В современных условиях российские агломерации стали привлекательны для полиэтнического миграционного потока, что приводит к изменению этнической структуры населения не только в городах ядрах, но и в пригородных зонах. Это повышает интерес к исследованию этнических процессов в городских агломерациях. Накопление новых знаний об этнической структуре населения городских агломераций, влияние агломерированных форм расселения на формирование этнического состава периферийных территорий, является актуальной задачей изучения пространственных особенностей формирования населения, вносит значимый вклад в актуализацию гуманитарных, социологических и социо-географических исследований.

Материалы и методы
исследования:

авторы используют мониторинговые подходы, базирующиеся на геоинформационных технологиях. В качестве базовой ГИС-платформы использован ArcGIS программный продукт компании ESRI. ГИС, выстроена по принципу полимасштабности и учитывает административно-территориальное деление Российской Федерации. В качестве базовых исходных данных использовались материалы переписей населения, что позволило подготовить серию карт для каждой из рассматриваемых агломераций. Границы агломераций выделены с использованием методики, разработанной в ИГ РАН, документов стратегического и территориального планирования, учитывая административное устройство регионов РФ. Анализ этнической структуры населения агломераций проведен с учетом административно-территориального деления: городские поселения (города и поселки городского типа), муниципальные районы и городские округа. При этом городские округа и муниципальные районы представлены только сельским населением, т.к. города учитываются отдельно.

Результаты исследования
и их обсуждения:

в работе рассматриваются особенности формирования этнической структуры населения пяти городских агломераций: моноцентрических – Волгоградской ГА, Ростовской ГА, Ставропольской ГА, Казанской ГА, полицентрической – ГА Кавказских Минеральных Вод (КМВ). Данные агломерации отличаются по численности населения, количеству городских и сельских поселений. В ходе исследования был проведен сравнительный анализ динамики численности преобладающих по численности этносов агломераций, по городам и муниципальным районам проанализировано распределение вторых и третьих этносов, в том числе в сравнении за 2002 и 2010 год.

Выводы:

в ходе исследования выявлены общие тенденции и региональные особенности формирования этнической структуры населения городских агломераций. Общей для всех агломераций является тенденция сокращения удельного веса русских и других, наиболее урбанизированных этносов (украинцев, белорусов, евреев, немцев и т.д.) и рост численности и удельного веса этносов с более низким уровнем урбанизированности (Под уровнем урбанизированности этносов мы понимаем долю городского населения этноса от общей численности населения этноса в стране).

Ключевые слова:

этническая структура населения, городские агломерации, ГИС-мониторинг.

Cherkasov A.A.,
Sopnev N.V.,
Gaydukov V.R.,

North-Caucasus federal university (cherkasov_stav@mail.ru);
North-Caucasus federal university;
North-Caucasus federal university

GIS-MONITORING FORMATION OF ETHNIC STRUCTURE OF POPULATION OF URBAN AGGLOMERATIONS IN RUSSIA

- Introduction:** Agglomerated territories are actively investigated by Russian scientists. Mostly, the works are devoted to the role of agglomerations in the sustainable development of territories; administrative, managerial, and town-planning aspects are considered. At the same time, in modern conditions, Russian agglomerations have become attractive for a multi-ethnic migration flow, which leads to a change in the ethnic structure of the population not only in the core cities, but also in suburban areas. This increases interest in the study of ethnic processes in urban agglomerations. The accumulation of new knowledge about the ethnic structure of the population of urban agglomerations, the influence of agglomerated forms of settlement on the formation of the ethnic composition of the peripheral territories, is an urgent task to study the spatial features of the country's population formation, makes a significant contribution to the updating of humanitarian, sociological and socio-geographical studies.
- Materials and methods** of the research: the authors use monitoring approaches based on geoinformation technologies. The basic GIS platform used is ArcGIS, a software product from ESRI. GIS is built on the principle of multi-scale and takes into account the administrative and territorial division of the Russian Federation. Population census materials were used as the basic source data. Within the framework of the research, geoinformation modeling and mapping of ethnic processes were performed. The boundaries of agglomerations are identified using the methodology developed by IG RAS, documents of strategic and territorial significance, taking into account the administrative structure of the regions of the Russian Federation.
- The results of the study** and their discussion: features of forming the ethnic structure of the population of the Rostov, Volgograd, Stavropol, Kazan urban agglomeration and the agglomeration of Caucasian Mineral waters are considered. The general trends and regional features of the ethnic structure of the population are revealed. The general tendencies are a decrease in the proportion of Russians and other most urbanized ethnic groups (Ukrainians, Belarusians, Jews, Germans, etc.) and an increase in the number and proportion of ethnic groups with a lower level of urbanization.
- Conclusions:** the study revealed general trends and regional characteristics of the formation of the ethnic structure of the population of urban agglomerations. Common to all agglomerations is the tendency to reduce the proportion of Russians and other, most urbanized ethnic groups (Ukrainians, Belarusians, Jews, Germans, etc.) and the increase in the number and proportion of ethnic groups with a lower level of urbanization.
- Keywords:** ethnic structure of the population, urban agglomerations, GIS monitoring.

Введение

В 2019 году Правительство Российской Федерации утвердило «Стратегию пространственного развития России до 2025 года», ключевое место в которой отведено городским агломерациям (далее по тексту Стратегия и ГА). В Стратегии на городские агломерации возлагаются функции центров экономического роста. В документе подчеркнута важность учета этнокультурного фактора при организации мероприятий направленных на пространственное и социально-экономическое развития субъектов [9]. По экспертным оценкам в России в агломерациях проживает около половины населения страны, и этот показатель растет [9][13].

Городские агломерации в России исследуются целым рядом специалистов различных научных направлений, отдельные научные работы приобрели фундаментальный характер и являются основой изучения урбанизационных процессов страны. Отечественные эконом-географы прошлого века, прежде всего Н.Н. Баранский, Л.Е. Иофа, Р.М. Кабо, И.М. Маергойз, Ю.Г. Саушкин и другие заложили концептуальные основы изучения географии городов и их экономико-географического положения. Теоретические походы изучения городских агломераций в России, а также особенности их формирования, получили развитие в трудах Г.М. Лаппо (1978), Б.С. Хорева (1971 и 1975), Н.И. Наймарка (1988), П.М. Поляна (1980, 2014), Е.Н. Перцика (2009) и других. На современном этапе известны работы Т.И. Селивановой (2011), И.В. Богомолова (2014) Н.Р. Изгузина (2014) и др. В этих работах особое внимание уделено вопросам методики исследований опорного каркаса и его узловых элементов, выделению границ агломераций, роли агломерации в устойчивом развитии территорий.

Высокую актуальность приобретают работы, посвященные механизмам административного управления городскими агломерациями. В этой области известны работы Р.А. Попова, А.С. Пузанова, Т.Д. Полиди (2016, 2018); С.А. Кожевникова (2018), С.И. Скобелкиной А.А. Шамлыгина, Д.А. Тамразян (2014), Е.С. Губановой, С.А. Селяковой (2009), Ю.В. Павлова (2011); В.А. Шабашева, Р.В. Бабуна (2016) и др.

За последние годы выполнены научные работы регионального уровня, посвященные конкретным агломерациям и их территориально-экономическому развитию (В.Я. Любовный, Н.Р. Изгужин, А.А. Козарез, Е.В. Матюнина, С.С. Славина, Ю.П. Дубровченко, А.Г. Атаева, Д.А. Гайнанов, А.Г. Уляева, Е.В. Султанова, М.Н. Батищева и др.).

Этническим аспектам формирования населения, посвящены исследования Н.Г. Волковой, В.С. Белозерова, О.И. Вендиной, изучением этнических миграций, в том числе в городской местности, посвящены работы Ж.А. Зайончковской, П.М. Поляна, Н.В. Мкртчяна.

В современных условиях актуальным является исследование формирования этнической структуры населения городских агломераций. Накопление новых знаний об этнической структуре населения городских агломераций, влияние агломерационных форм расселения на формирование этнического состава периферийных территорий является важнейшей задачей изучения пространственных особенности формирования населения страны. Целью данного исследования является изучение особенностей этнической структуры населения городских агломераций, выполняющих разные функции, сформированных в регионах с различным характером этнических процессов (от моноэтнических, со стабильной этнической структурой, до регионов активной полиэтнизации).

В качестве ключевых территорий исследования определены пять городских агломераций: моноцентрические – Волгоградская ГА, Ростовская ГА,

Ставропольская ГА, Казанская ГА, полицентрическая – ГА Кавказских Минеральных Вод (КМВ). Татарстан (Казанская ГА) относится к регионам с активно-меняющимся этническим составом населения, в котором сокращается удельный вес русских в структуре населения и отмечается активный прирост удельного веса титульного этноса – татар; Ставропольский край (Ставропольская ГА и ГА КМВ) и Волгоградская область (Волгоградская ГА) относится к регионам активной полиэтнизации населения, преимущественно происходящая в сельской местности; Ростовская область (Ростовская ГА) характеризуется относительно стабильным этническим составом населения [16][17].

Материалы и методы исследования

Для исследования формирования этнической структуры населения городских агломераций в России авторы используют мониторинговые подходы, базирующиеся на геоинформационных технологиях. Базовой ГИС-платформой выступает ArcGIS, программный продукт компании ESRI [5] [8]. ГИС выстроена по принципу полимасштабности, учитывает административно-территориальное деление Российской Федерации. Такой подход позволил осуществить сбор и систематизацию геоданных, характеризующих этническую структуру населения [7]. В качестве исходных данных использовались материалы переписей населения (2002 и 2010 г.) [18]. Авторами подготовлена серия карт для каждой из рассматриваемых агломераций. Использование карт, позволило повысить информативность исследования, обеспечить более детальное описание процессов, выявить пространственно-временные закономерности и тренды формирования этнической структуры населения агломераций [6].

Для определения границ исследуемых городских агломераций в качестве основного критерия положена методика, предложенная российскими географами-урбанистами института географии РАН (Г.М. Лапшов и П.М. Полян), где для учета закладывается транспортная доступность от центральных ядер агломерации (часовая и полуторачасовая) [12][13][15]. Также авторы исследования учитывали документы стратегического и территориального планирования субъектов Российской Федерации, на территории которых формируются рассматриваемые агломерации [3] [4] [10] [11].

Результаты исследований и их обсуждение

Моноцентрическая Волгоградская ГА сформировалась вокруг регионального центра города-миллионера Волгограда (в 2019 году численность составляет 1 млн чел.), в состав которой входят; один крупный город – Волжский (313 тыс.); три малых – Краснослободск (17,3 тыс.), Ленинск (14,6 тыс.), Дубовка (13,8 тыс.); четыре поселка городского типа – Средняя Ахтуба (14,5 тыс.), Светлый Яр (11,6 тыс.), Новый Рогачик (6,8 тыс.), Ерзовка (6,4 тыс.); сельские поселения Среднеахтубинского (29,3 тыс.), Кала-

чевского (28 тыс.), Городищенского (25,7 тыс.), Светлоярского (24,7 тыс.), Ленинского (14,9 тыс.), Дубовского (14,9 тыс.) районов.

Анализ динамики численности населения городских поселений и муниципальных районов агломерации показал, что в период с 2002 по 2010 год прирост численности наблюдается в городе Волжский, Краснослободске, Ленинске, поселках Средняя Ахтуба и Ерзовка а в остальных отмается убыль населения. В период с 2010 по 2019 год устойчивый прирост численности населения отмечается только в городах Волжский, Краснослободск, поселках Ерзовка и Средняя Ахтуба.

Численность населения Волгограда сокращается протяжении всего периода исследования, даже несмотря на то, что в состав города был включены поселки Городище (в 2006 г.) и Гумрак (в 2010 г.). Относительно благоприятная ситуация с точки зрения прироста численности населения сложилась в городах Волжский и Краснослободск, поселках городского типа Ерзовка и Средняя Ахтуба. Отметим, что на Волгоград и Волжский в сумме приходится около 84% населения агломерации, при этом данный показатель не изменяется на протяжении всего рассматриваемого периода.

В целом на территории агломерации в 2002 г. проживало 1,57 млн. чел. (58% населения региона), в 2010 г. 1,58 млн чел. (60% населения региона), 2019 году 1,58 млн чел. (или 63% населения региона). То есть прирост численности минимален, при этом удельный вес в структуре населения региона агломерация увеличивает более высокими темпами. Это происходит, за счет того, что на остальной территории региона численность населения сокращается.

В Волгоградской ГА по численности населения преобладают русские, в 2010 году их удельный вес составляет 89,4% (в 2002 г. 90,4%). Этот показатель немного ниже средне областного (90%), и значительно выше среднероссийского (77,7%). Удельный вес русских в структуре населения таких городов как Волгоград, Дубовка, Волжский превышает 90%. В остальных городских поселениях и муниципальных районах доля русских колеблется от 80% до 90%. Исключением является Ленинский район, где показатель равен 67%. В границах агломерации проживают 61,3% от общей численности всех русских Волгоградской области.

Второй по численности этнос в 2019 году Волгоградской ГА армяне – 1,3% (в 2002 г. 1,2%) (в границах ГА проживают 76,2% армян региона); третий украинцы – 1,3% (в 2002 г. 1,9%) (в границах ГА проживают 58,8% украинцев региона); четвертый татары – 1,2% (в 2002 г. 1,1%) (в границах ГА проживают 75,1% татар региона). Удельный вес других этносов в структуре населения Волгоградской ГО составляет менее 1%, в том числе казахи (0,6%), азербайджанцы (0,6%), чеченцы (0,2%) и т.д. Отметим, что в период с 2002 по 2010 год на территории агломерации из наиболее многочисленных этносов сократили свою численность русские, украинцы, татары, чеченцы а увеличили армяне, казахи, азербайджанцы, турки. В отдельных районах и город-

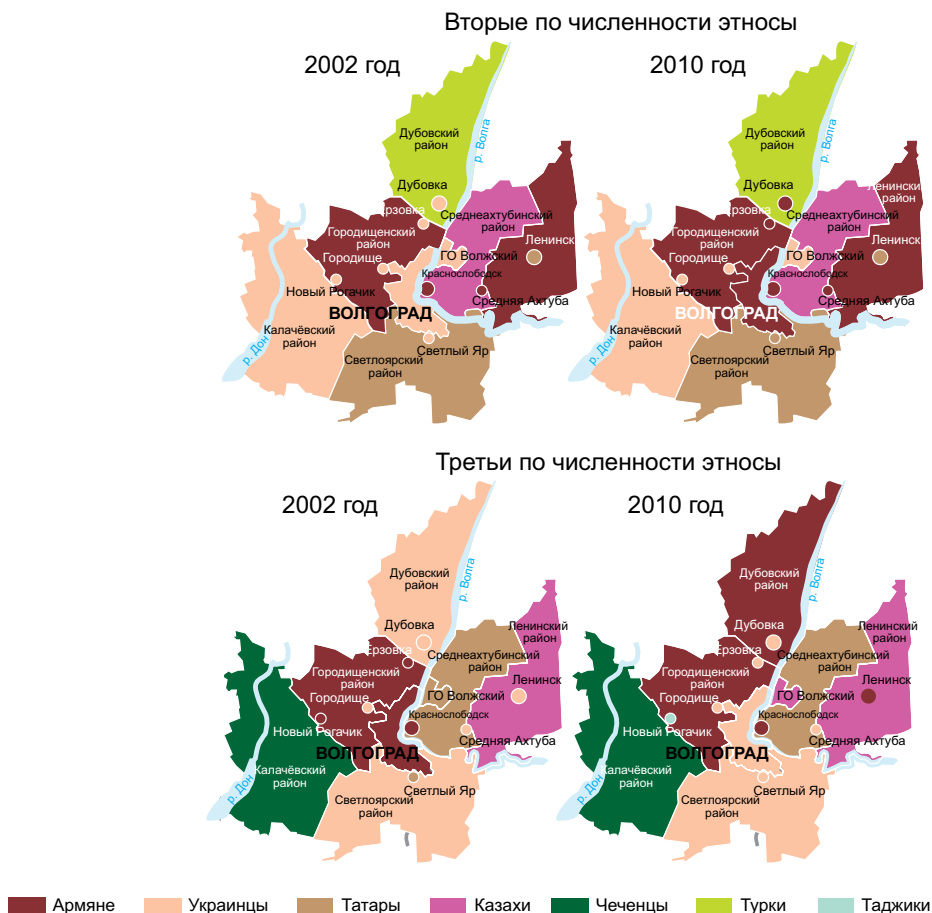


Рис. 1. Этнический состав населения Волгоградской городской агломерации, 2002, 2010 год.

Fig. 1. The ethnic composition of the population of the Volgograd city agglomeration, 2002, 2010.

ских поселениях это привело к изменению вторых и третьих этносов по численности (см. рис. 1).

Пространственный анализ распределения вторых по численности этносов в 2010 году представляет собой следующую картину (рис. 1):

- армяне – Волгоград, Дубовка, Средняя Ахтуба, Городище, Светлый Яр, Ерзовка;
- украинцы – Волжский, Новый Рогачик, Городищенский, Калачевский район;
- татары – Светлый Яр, Ленинск, Ленинский, Светлоярский район;
- турки – Дубовский район;
- казахи – Среднеахтубинский район.

Третьи по численности этносы в 2010 году распределились следующим образом (рис. 1):

- армяне – Ленинск, Краснослободск, Городищенский и Дубовский район;
- украинцы – Волгоград, Дубовка, Средняя Ахтуба, Городище, Светлый Яр, Ерзовка Светлорский район;
- татары – Среднеахтубинский район;
- казахи – Волжск, Ленинский район;
- чеченцы – Калачевский район;
- таджики – Новый Рогачик.

Моноцентрическая Ростовская ГА сформировалась вокруг регионального центра, города-миллионера Ростова-на-Дону (в 2019 году 1,13 млн чел.). В состав агломерации входят пять больших городов – Таганрог (248,7 тыс.), Шахты (231,6 тыс.), Новочеркасск (167,4 тыс.), Батайск (127,7 тыс.), Новошахтинск (107,5 тыс.); два средних – Азов (80,2 тыс.), Аксай (45,2 тыс.); один поселок городского типа – Каменоломня (10,5 тыс.); сельские поселения Азовского (71,3 тыс.), Октябрьского (71,6 тыс.), Мясниковский (45,6 тыс.), Матвеево-Курганского (40 тыс.), Неклиновского (84,7 тыс.), Азовского (94,1 тыс.), Родионово-Несветайского (22 тыс.), Кагальницкого (27,3 тыс.), Куйбышевского (13,6 тыс.) районов. Как видно из представленной структуры, Ростовская агломерация отличается большим количеством городов с численностью населения свыше 100 тыс. чел.

Анализ динамики численности населения городских поселений и муниципальных районов агломерации показал, что в период с 2002 по 2010 год сокращение численности отмечается в Новочеркасске, Таганроге и пгт Каменоломня, а также в Октябрьском, Матвеево-Курганском, Кагальницком и Куйбышевском районах. В остальных городах и районах отмечается прирост численности. В период с 2010 по 2019 год увеличилось количество городов и районов с убылью населения, так прирост численности отмечается в Ростове-на-Дону, Аксае, Батайске, Аксайском и Азовском и Мясниковском районе.

В целом на территории агломерации в 2002 г. проживало 2,53 млн чел. (57,5% населения региона), в 2010 г. 2,56 млн чел. (60% населения региона), 2019 году 2,6 млн чел. (или 62% населения региона). Отметим, что в городах агломерации, с численностью населения более 100 тыс. чел. проживают около 77% населения агломерации.

В Ростовской ГА по численности преобладают русские, их удельный вес в 2010 году составляет 89,2% (в 2002 г. 90,4%). Этот показатель немного ниже среднеобластного (90,3%), но значительно выше среднероссийского (77,7%).

Удельный вес русских близкий к среднему в агломерации отмечается фактически во всех городах и муниципальных районах. В частности, в 2010

году в г. Азов зафиксирован максимальный показатель – 94,4%, в Куйбышевском районе минимальный – 82,3%, а в г. Ростове-на-Дону 88,2%. Исключением является Мясниковский район, где русские по численности второй этнос – 40%, а армяне – 56,1%. На территории агломерации проживает 59,6% от общей численности всех русских Ростовской области.

Вторым по численности этносом являются армяне 3,5% (в 2002 г. 3%) (в границах ГА проживают 80,8% армян региона), третьим – украинцы 1,7% (в 2002 г. 2,6%) (в границах ГА проживают 55,6% украинцев региона). Удельный вес других этносов в структуре населения агломерации составляет менее 1%, в том числе это азербайджанцы (0,5%), цыгане (0,3%) и т.д. Отметим, что в период с 2002 по 2010 год на территории агломерации из наиболее многочисленных этносов сократили свою численность только украинцы, а русские, армяне, азербайджанцы, цыгане, турки увеличили свою численность. В целом сокращение численности украинцев и рост других этносов, прежде всего армян, повлиял на этнический состав городов и муниципальных районах агломерации (см. рис. 2).

Вторые по численности этносы городских поселений и муниципальных районов в 2019 году распределились следующим образом:

- армяне – Ростов-на-Дону, Аксай, Батайск, Аксайский, Октябрьский, Матвеево-Курганский, Азовский, Родионо-Несветайский, Кагальницкий районы;
- украинцы – Шахты, Новочеркасск, Азов, Таганрог, Новошахтинск, Неклеиновский, Куйбышевский районы.
- русские – Мясниковский район.

Третьи по численности этносы распределились следующим образом:

- армяне – Шахты, Новочеркасск, Азов, Таганрог, Новошахтинск, Неклеиновский, Куйбышевский районы;
- украинцы – г. Ростов-на-Дону, г. Аксай, г. Батайск, г. Аксайский, районы: Октябрьский, Матвеево-Курганский, Родионо-Несветайский, Мясниковский, Кагальницкий районы;
- турки – Азовский район.

Моноцентрическая Ставропольская ГА сформировалась вокруг краевого центра, крупного по численности города – Ставрополь (в 2019 г. Численность 437,5 тыс.). В состав агломерации входит большой город – Невинномысск (116,9 тыс.); средний – Михайловск (93,6 тыс.); малый – Изобильный (37,9 тыс.); два поселка городского типа – Солнечнодольск (11,6 тыс.) и Рыздяный (7,5 тыс.); сельские поселения Изобильненского ГО (41,9 тыс.), Кочубеевского (75,5 тыс.), Шпаковского (53,5 тыс.), Грачевского (37,8 тыс.), Труновского (31 тыс.) районов.

Анализ динамики численности населения городских поселений и муниципальных районов агломерации показал, что в период с 2002 по 2010 год

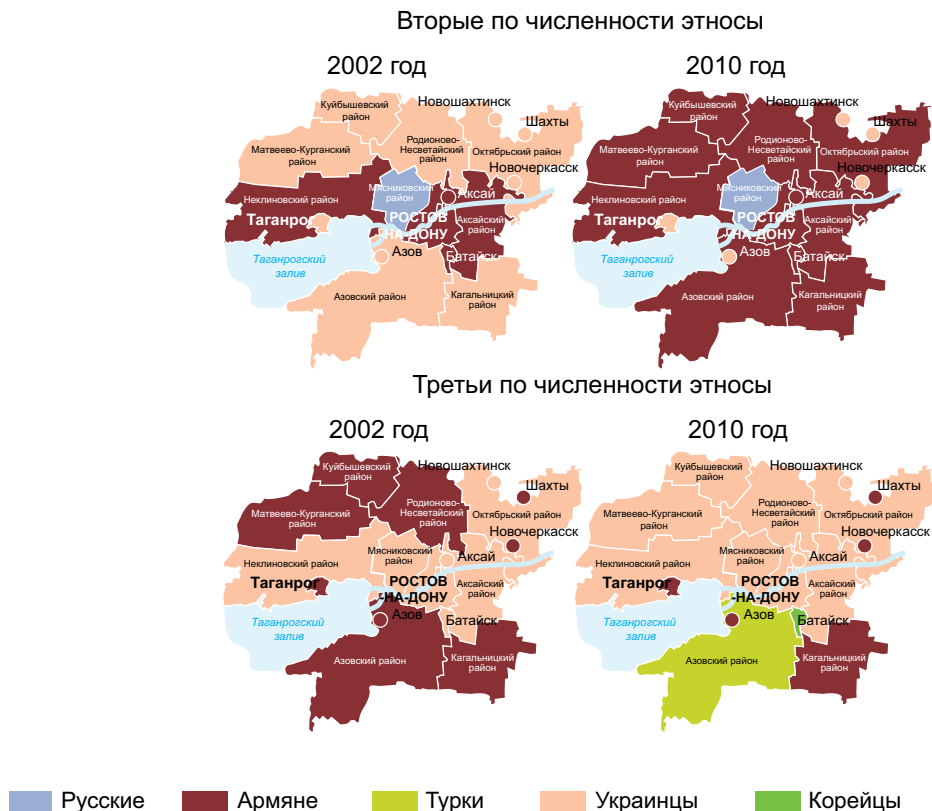
**Рис. 2.****Этнический состав населения Ростовской городской агломерации, 2002, 2010 год**

Fig. 2. The ethnic composition of the population of the Rostov city agglomeration, 2002, 2010

сокращение численности наблюдается в Невинномысске и Солнечнодольске а также в Кочубеевском и Труновском районе, в остальных территориях отмечается прирост. В период с 2010 по 2019 год сокращение численности населения отмечается в городах Невинномысск, Изобильный, в поселках Солнечнодольск и Рыздвяный, в сельской местности Изобильненского ГО, Кочубеевского и Труновского районов. В Ставрополе и Михайловске, Шпаковском и Грачевском районе численность растет. Важно отметить, что на территории агломерации наметились выраженные центростремительные процессы, стягивания населения в Ставрополь и Михайловск. Так, на два этих города в 2002 г. приходилось 48,5% населения агломерации, в 2010 г. 52,6%, в 2019 г. 56,2%. На территории агломерации в 2002 г. проживают 850,8 тыс. чел. (31% населения региона), в 2010 г. 893,9 тыс. чел. (32% населения региона), 2019 году 944,9 тыс. чел. (или 35% населения региона).

По численности в Ставропольской ГА преобладают русские. Их удельный вес в 2010 году составляет 86,6% (в 2002 г. 87,9%). Этот показатель выше среднекраевого (80,1%) и среднероссийского (77,7%). Удельный вес русских в структуре населения большинства городов и муниципальных районов составляет более 80%, что выше среднекраевого показателя. Так, например лидером по данному показателю является пос. Солнечнодольск – 93,6%, а в г. Ставрополе показатель равен 86,7%. Единственная территория, на которой удельный вес русских ниже среднекраевого показателя является Грачевский район (78,2%) (рис. 3). На территории агломерации проживают 34,7% от общей численности всех русских Ставрополя.

Вторым по численности этносом являются армяне, их удельный вес в структуре населения 4,6% (в 2002 году 4,5%) (в границах ГА проживает 26,9% армян Ставрополя), третий украинцы 1,2% населения (в 2002 году 1,8%). Удельный вес других этносов в структуре населения агломерации составляет менее 1%, в том числе это цыгане (0,9%), даргинцы (0,6%) и т.д. Отметим, что в период с 2002 по 2010 год на территории агломерации из наиболее многочисленных этносов сократили свою численность только украинцы, а русские, армяне, цыгане, даргинцы увеличили свою численность. В целом сокращение численности украинцев и рост других этносов повлиял на изменение в структуре населения, прежде всего третьих этносов в городах и муниципальных районах агломерации (см. рис. 2).

Вторые по численности этносы городских поселений и муниципальных районов распределились следующим образом (рис. 3):

- армяне – Ставрополь, Михайловск, Изобильный, Рыздвяный, Изобильненский ГО, Труновский, Шпаковский, Грачевский и Кочубеевский районы;
- украинцы – Невинномысск, Солнечнодольск.

Третьи по численности этносы распределились следующим образом (рис. 3):

- цыгане – Михайловск, Изобильный, Изобильненский ГО, Кочубеевский и Шпаковский район;
- украинцы – Ставрополь, Рыздвяный;
- армяне – Невинномысск, Солнечнодольск;
- езиды – Труновский район;
- даргинцы – Грачевский район.

Представленные выше городские агломерации (Волгоградская, Ростовская, Ставропольская) с высоким удельным весом в структуре населения русских (показатель во всех трех выше, чем в среднем в России). Сравнительный анализ этнической структуры населения последних двух переписей населе-

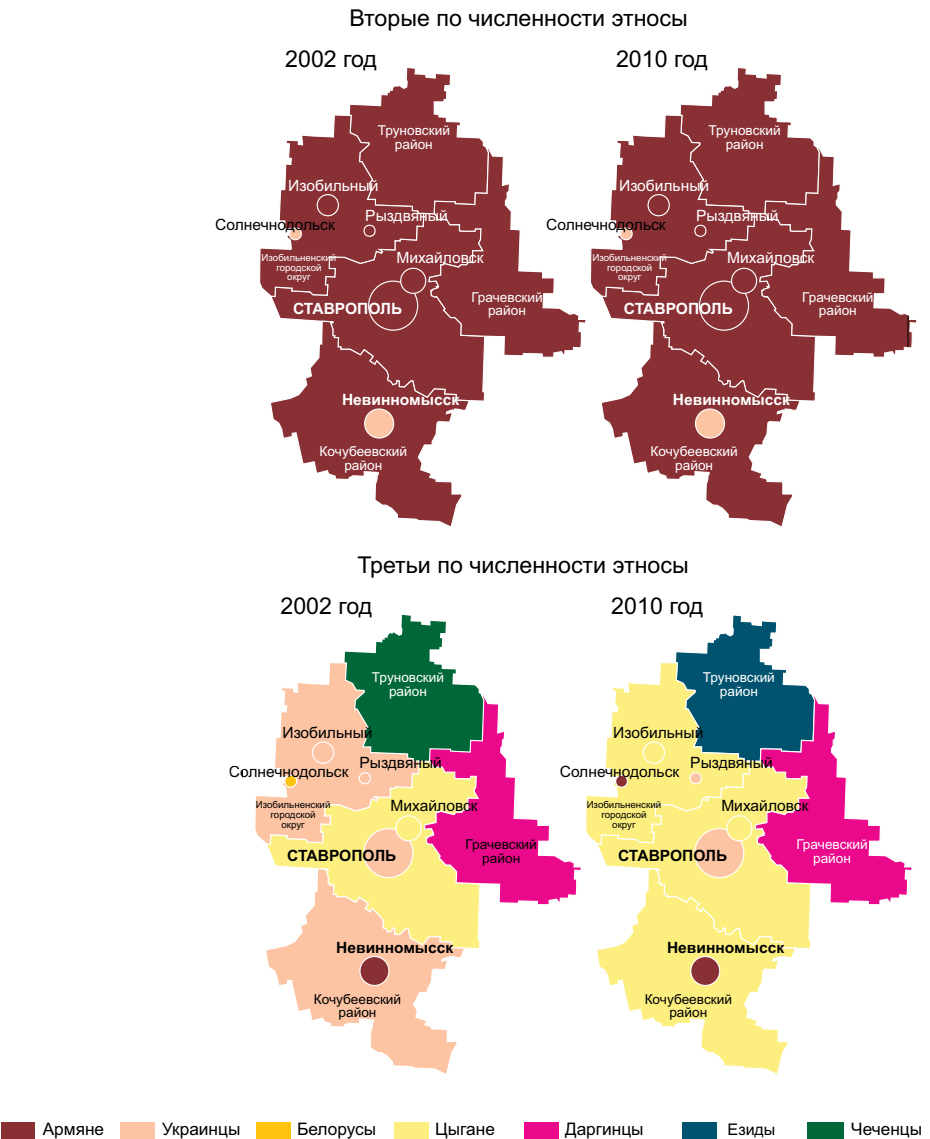


Рис. 3. Этнический состав населения Ставропольской городской агломерации, 2002 и 2010, год.

Fig. 3. The ethnic composition of the population of the Stavropol city agglomeration, 2002, 2010

ния, 2002 и 2010 года, показал, что на современном этапе каждая из ГА имеют индивидуальные сценарии формирования населения:

— в Волгоградской ГА отмечается сокращение численности населения в целом и в частности русских, а также украинцев, белорусов, немцев и др. Эта тенденция характерна в целом для Волгоградской области. На этом фоне в агломе-

- рации отмечается, рост численности армян, чеченцев, турок, азербайджанцев, казахов и др;
- в Ростовской ГА отмечается прирост численности населения в целом и русских в частности, тогда как в Ростовской области численность населения, как в целом, так и русских сокращается. На этом фоне на территории ГА отмечается прирост численности армян, турок, азербайджанцев, цыган и др.;
- в Ставропольской ГА и Ставропольском крае растет численность населения в целом, так и в частности русских. В агломерации прирост численности отмечается у армян, цыган, титульных народов Дагестана (прежде всего даргинцев), езидов и др. титульных этносов Северного Кавказа.

Несмотря на индивидуальные сценарии формирования населения, во всех 3-х агломерациях сохраняется тенденция сокращения удельного веса русских, а вместе с ними и меньших по численности, но с высоким уровнем урбанизированности этносов – украинцев, белорусов, евреев, немцев и др. Нарастания полиэтничности обеспечивается за счет роста численности второго этноса рассматриваемых агломераций – армян. Подчеркнем, что армяне для Ставропольского края и Ростовской области в целом второй по численности этнос, а в Волгоградской области – пятый!

На современном этапе скорость изменения этнической структуры населения агломераций не высокая, не превышает среднероссийский показатель сокращения преобладающего этноса (в период с 2002 по 2010 год удельный вес русских сократился на 2,1%). При этом в каждой из агломераций есть территории, с более интенсивной сменой этнической структуры:

- в Ростовской ГА: Аксай, Азов, Куйбышевский район;
- в Волгоградской ГА: Ленинск, Городище;
- в Ставропольской ГА: Изобильненский ГО, Грачевский район.

Данные процессы усложняют этническую структуру населения городов и крупных сельских населенных пунктов, а в отдельных случаях приводят к смене преобладающего этноса. Особенно отчетливо это наблюдается в Ставропольской ГА, где в пригородных зонах г. Ставрополя, в сельских населенных пунктах, не превышающих численность в 1 тыс. чел происходит смена преобладающего этноса, в частности в пос. Левоегорлыский, хут. Грушевый Нижний, хут. Новокавказский, хут. Калужный, хут. Жилейка, хут. Дубовый (во всех даргинцы), хут. Веселый (кумыки) [2].

Моноцентрическая Казанская ГА сформировалась вокруг республиканского центра города-миллионера Казань (в 2019 г. 1,25 млн чел.), в состав

которой также входят: один средний город – Зеленодольск (99,7 тыс.); два малых – Арск (20,5 тыс.), Лаишево (8,6 тыс.); два поселка городского типа Васильево (16,9 тыс.), Нижние Вязовые (7,8 тыс.); сельские поселения Арского (31,3 тыс.), Зеленодольского (41,3 тыс.), Высокогорского (50,5 тыс.), Атнинского (13 тыс.), Пестречинского (40,2 тыс.), Лаишевского (35,8 тыс.), Верхнеуслонского (16,2 тыс.) районов.

Анализ динамики численности населения городских поселений и муниципальных районов агломерации показал, что в период с 2002 по 2010 год прирост численности наблюдается в городах Казань, Арск, Лаишево, поселке Васильево и Пестречинском районе. В период с 2010 по 2019 год в Казани, Зеленодольске, Арске, Лаишево, Зеленодольском, Высокогорском, Пестречинском, Лаишевском районах.

В целом на территории агломерации в 2002 г. проживало 1,46 млн чел. (38,7% населения региона), в 2010 г. 1,49 млн чел. (39,4% населения региона), 2019 году 1,64 млн чел. (или 41,9% населения региона). Отметим, что на Казань приходится порядка 76% населения агломерации, при этом данный показатель фактически не изменяется на протяжении всего рассматриваемого периода.

Казанская ГА является двуэтничной, с преобладанием в структуре населения в 2010 году татар (49,2%) и русских (47,1%). Удельный вес татар в границах ГА ниже общереспубликанского показателя (53,2%), а удельный вес русских выше, чем в целом в республике (39,7%). Это связано с особенностью расселения этносов, характерная для национальных регионов страны. Русские более компактно расселены в городских поселениях, а татары сохраняют высокую концентрацию в сельских населенных пунктах. Таким образом, это привело к разному уровню урбанизированности этносов (по данным 2010 года у русских он 76,8% у татар 67,7) [17]. В границах ГА проживает 36,5% татар и 46,8% русских республики. У других этносов удельный вес в структуре населения Казанской ГА не превышает 1%, в том числе, третьи по численности чуваша - 0,8%, далее марийцы - 0,4%, удмурты - 0,1% и т.д.

Пространственный анализ распределения удельного веса татар и русских выявил следующую картину. Татары по численности преобладают в Арске (89,3%), Атнинском (98,6%), Арском (94,6%), Высокогорском (67,2%), Зеленодольском (59,9%), Пестречинском (57%), Лаишевском (53,4%) районах. В этих же городах и муниципальных районах русские являются вторым по численности этносом (рис. 4).

Русские по численности преобладают в следующих городских поселениях – Васильево (66,6%), Зеленодольске (61,6%), Лаишево (71,6%), Нижнее Вязовые (60,7) и Верхнеуслонском районе (65,8%). В этих же населенных пунктах и муниципальных районах татары являются вторым по численности. В Казани сложилась фактически равное соотношение удельного веса русских (48,5) и татар (47,4%).

Третьи по численности этносы городских поселения и муниципальных районов распределились следующим образом (рис. 4):

- чувашаи – Казань, Васильево, Зеленодольск, Лаишево, Зеленодольский, Высокогорский и Верхнеуслонский район;
- удмурты – Арск;
- цыгане – Нижнее Вязовое;
- марийцы – Арский район;
- узбеки – Пестречинский район;
- кряшены – Лаишевский район.

Таким образом, Казанская ГА имеет свою специфику формирования этнической структуры населения, связанную с региональными особенностями расселения народов в Республике Татарстан. Фактически в равных пропорциях доминируют в структуре населения татары и русские, при этом татары традиционно преимущественно расселены в сельской местности, а русские в городской. Численность населения обоих этносов растет как в самой агломерации, так и в Татарстане в целом. Прирост русских обеспечивается преимущественно за счет республиканского центра г. Казань. Удельный вес татар увеличивается более быстрыми темпами, что ведет к росту моноэтничности как в республике, так и на территории агломерации. В последний межпереписной период наиболее быстрый процесс сокращения численности русских и роста численности татар отмечался в г. Зеленодольске, Высокогорском районе (от 2,1 до 5%), Нижнее Вязовое, Лаишевском районе (более 5%).

Удельный вес в структуре населения агломераций других этносов, традиционно проживающих на территории республики (чувашаи, удмурты, марийцы, мордва, кряшены) достаточно низкий и стабильный, в значительной степени не влияет на формирование этнической структуры населения агломерации в целом.

Городская агломерация Кавказских Минеральных Вод полицентрического типа является самым населенным и наиболее урбанизированным ареалом Ставрополя. Агломерация КМВ единственная высоко урбанизированная территория агломерированного расселения в России с рекреационной специализацией, что подчеркивает её уникальность. В составе городов агломерации – Пятигорск – административный центр Северо-Кавказского федерального округа, курортный, промышленный, а также торговый центр; Кисловодск, Ессентуки и особенно Железноводск – крупные курортные центры, каждый из которых со своей лечебной специализацией; Минеральные Воды – транспортно-индустриальный центр региона; Георгиевск – промышленный и административный центр муниципального округа.

Кавминводская городская агломерация включает: 3 больших города – Пятигорск (146,2 тыс.), Кисловодск (129 тыс.), Ессентуки (110,5 тыс.); два средних – Минеральные Воды (74 тыс.), Георгиевск (67 тыс.); два малых –

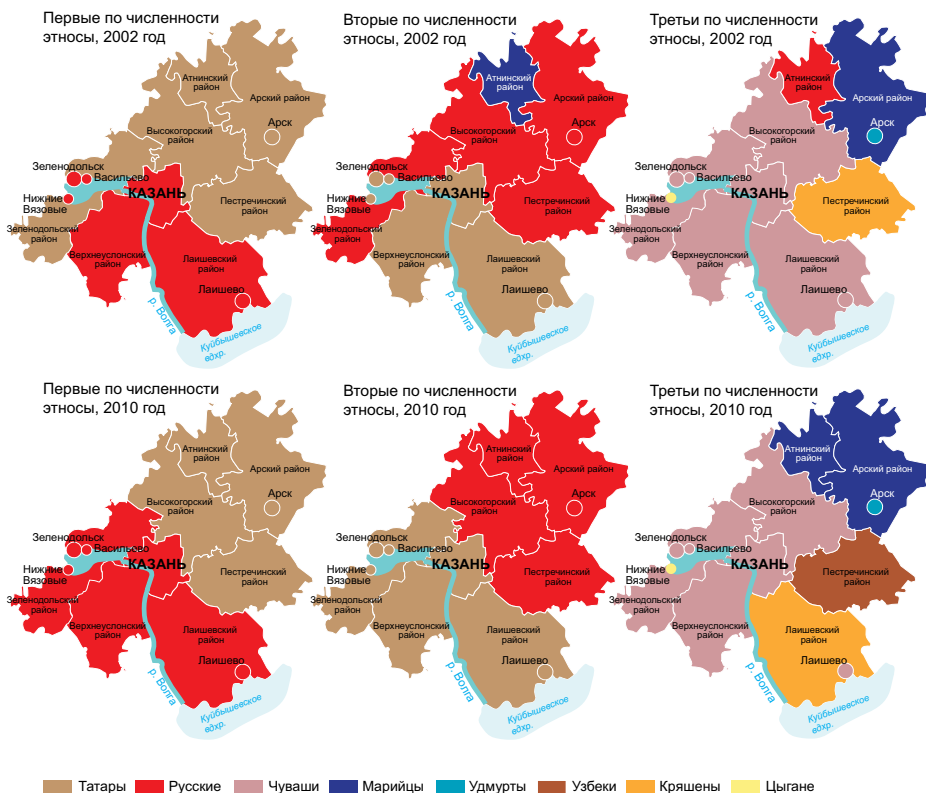


Рис. 4.

Этнический состав населения Казанской городской агломерации, 2002, 2010 год.

Fig. 4. The ethnic composition of the population of the Kazan city agglomeration, 2002, 2010

Железноводск (24,7 тыс.), Лермонтов (22,6 тыс.); и четыре поселков городского типа – Горячеводский (36,7 тыс.), Иноземцево (27,9 тыс.), Свободы (17,6 тыс.), Анджиевский (6,2 тыс.). сельские поселения Минераловодского ГО (63,5 тыс.), Георгиевского ГО (98,7 тыс.) и Предгорного района (110 тыс.).

Анализ динамики численности населения городов и муниципальных районов агломерации показал, что в период с 2002 по 2010 год сокращение численности наблюдается в Лермонтове, Кисловодске и Железноводске, в остальных территориях отмечается прирост. В период с 2010 по 2019 год сокращение численности населения отмечается в городах Минеральные Воды и Георгиевск, во всех 4-х поселках городского типа, а также Георгиевском ГО.

В целом агломерация продолжает «стягивать» населения региона, так в 2002 г. здесь проживало 874,4 тыс. чел. (31,9% населения региона), в 2010 г. 923,6 тыс. чел. (33,1% населения региона), 2019 году 936 тыс. чел. (или 33,6%).

В агломерации КМВ по численности преобладают русские, их удельный вес в 2010 году, составляет 76,1%. Этот показатель соответственно ниже среднекраевого (80,1%) и среднероссийского (77,7%). На территории агломерации проживают 31,5% всех русских Ставрополя. Пространственный анализ удельного веса русских в структуре населения городов и муниципальных районах имеет следующие особенности (рис. 5):

- армяне – Пятигорск, Кисловодск, Железноводск, Минеральные Воды, Георгиевск, Горячеводск, Иноземцево, Минераловодский и Георгиевский ГО;
- греки – Ессентуки, Предгорный район;
- украинцы – Лермонтов, Свободы;
- ногайцы – Анджиевский.

Третьи по численности этносы в 2010 году распределились следующим образом:

- армяне – Предгорный район, Ессентуки, Лермонтов, Анджиевский;
- украинцы – Георгиевск, Минеральные Воды, Железноводск, Горячеводск, Свободы;
- карачаевцы – Кисловодск;
- греки – Иноземцево;
- азербайджанцы – Пятигорск, Свободы, Горячеводск;
- цыгане – Георгиевский район.

Агломерация Кавказских Минеральных Вод, является полиэтничной, с высоким удельным весом в структуре населения русских, а также армян, греков, карачаевцев, на современном этапе дополняется такими этносами как цыгане, азербайджанцы, даргинцы, чеченцы и др. В последний межпереписной период отмечается общий рост численности русских, который сопровождается незначительным, но все же уменьшением их удельного веса в структуре населения (на -0,9%). Сократилась численность и удельный вес греков, украинцев, белорусов, карачаевцев, немцев, евреев, грузин и т.д.

Более активными темпами отмечался прирост численности и доли в структуре населения армян, а также азербайджанцев, цыган, езидов, титульных этносов республик Северного Кавказка, прежде всего чеченцев, даргинцев, кабардинцев и т.д.

В период с 2002 по 2010 год высокая скорость изменения этнической структуры населения отмечается в Пятигорске, Анджиевском, Горячеводском, Лермонтове, Свободы.

На территории городской агломерации этническое разнообразие сформировало относительно компактные ареалы расселения этносов. Достаточно наглядно они распределены между греками и армянами, свой ареал расселе-

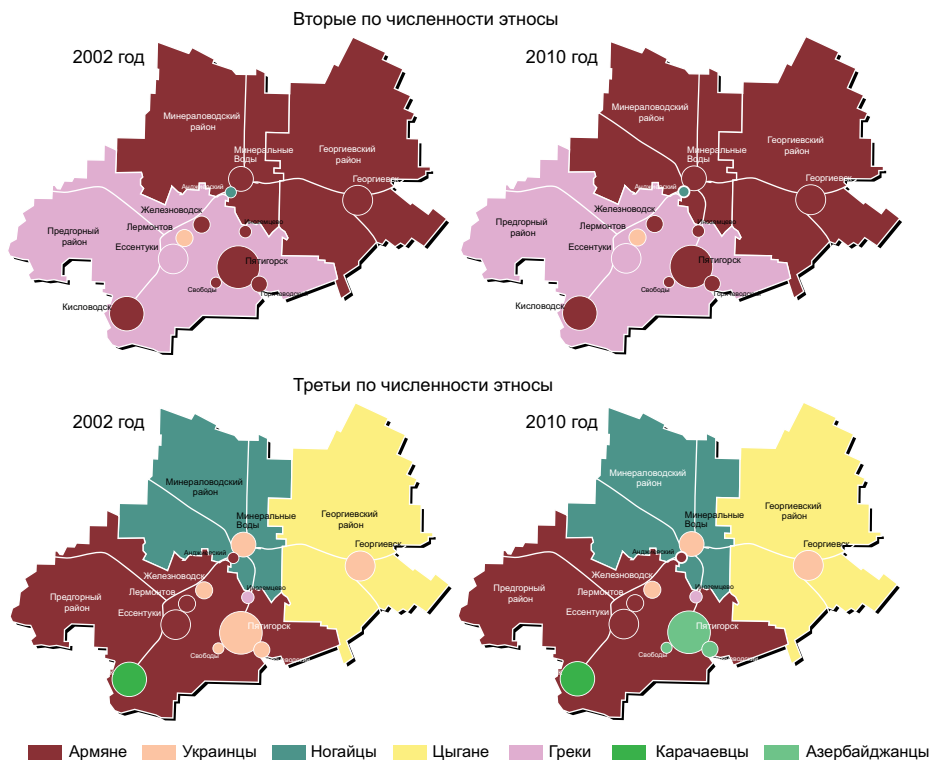


Рис. 5.

Этнический состав населения городской агломерации Кавказских Минеральных вод, 2002, 2010 год.

Fig. 5. Ethnic composition of the population of the urban agglomeration of the Caucasian Mineral Waters, 2002, 2010

ния сформировался у карачаевцев (пригородная зона г. Кисловодска), цыган (в основном на территории сельских поселений Георгиевского и Минераловодского ГО), ногайцев (Минераловодский ГО). Важно отметить, что этнические процессы на современном этапе способствуют формированию новых ареалов расселения северокавказских этносов, что приводит не только к усложнению этнической структуры населения, но и смене преобладающего этносов в отдельных населенных пунктах. Это и наблюдается в периферийных зонах, сельской местности. Так в хут. Новомирный, хут. Красный Чонгарец преобладают по численности даргинцы, в пос. Крутойрский агулы.

Выводы

На примере исследуемых ГА можно сделать вывод, что несмотря на различный характер формирования этнической структуры населения в регионах, в целом этнической структуры населения в агломерации

ях формируется по общероссийскому сценарию – сокращение удельного веса русских, и других наиболее урбанизированных этносов (украинцев, белорусов, евреев, немцев и т.д.) и росту численности и удельного веса этносов с более низким уровнем урбанизированности [1][16]. Наиболее наглядно эти процессы происходят в Ставропольской, Волгоградской, Ростовской и Кавминводской агломерации. Результаты таких изменений усложняют этническую структуру населения городских и сельских территории. Пример городских агломераций Ставропольского края показывает, как данный процесс может привести к смене преобладающих этносов в сельских населенных пунктах. Такие изменения приводят к изменению социо-культурного, конфессионального ландшафта, хозяйственной специализации населенных пунктов.

Несмотря на общие тенденции, каждая конкретная агломерация имеет свои специфики, прежде всего связанные с особенностями традиционного расселения этносов в регионах. Так двуэтничная Казанская ГА, остается привлекательной для обоих преобладающих по численности этносов в Татарстане (татары и русские), их численность продолжает расти. Но ГИС-мониторинг формирования этнической структуры населения городов и муниципальных районов показывает рост численности русских в значительной степени за счет ядра агломерации – г. Казань. В сельской местности и малых городах наблюдается убыль их численности. На этом фоне отмечается более быстрый рост численности татар на всей территории агломерации. В границе агломерации данный процесс приводит к формированию моноэтничных, преимущественно сельских муниципальных образований. Такая тенденция характерна для большинства национальных регионов России.

Общая тенденция формирования для всех агломераций, является высокая привлекательность городов-ядер для населения (отметим что меньше всего это проявляется в Волгограде), и как следствие происходит рост численности населения данных городов. На фоне всей остальной территории агломерации наиболее привлекательны для различных этнических групп. В целом агломерации продолжают концентрировать население регионов, что сказывается и на особенностях формирования этнической структуры регионов.

Библиографический список

1. Белозеров В.С. Этническая карта Северного Кавказа. Монография. М., 2005. 304 с.
2. Белозеров В.С., Панин А.Н., Приходько Р.А., Чихичин В.В., Черкасов А.А. Этнический атлас Ставропольского края. Ставрополь: изд-во ФОК-Юг, 2014. 314 с.
3. Закон Волгоградской области от 21 ноября 2008 года № 1778-ОД «О Стратегии социально-экономического развития Волгоградской области до 2025 года (с изменениями на 16 февраля 2018 года)» <http://docs.cntd.ru/document/819076044> (режим доступа 10.04.2020)

4. Закон Республики Татарстан «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Республики Татарстан до 2030 года» (Принят Государственным советом Республики Татарстан 18 марта 2019 года) <http://i.tatarstan2030.ru/2018/04/29/раздел-3-2-3/> (режим доступа 10.04.2020).
5. Зейлер М. Моделирование нашего мира. Руководство ESRI по проектированию базы геоданных - Нью-Йорк, ESRI Press, 1999 254 с.
6. Краак М.-Я., Ормелинг Ф. Картография: визуализация геопространственных данных. М.: Научный мир, 2005. 325 с.
7. Лурье И. К., Самсонов Т. Е. Структура и содержание базы пространственных данных для мультимасштабного картографирования // Геодезия и картография. 2010. № 11. 17–23 с.
8. Полевой К. Картография. Esri Press, Редлендс, Калифорния, 2018.
9. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года (Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р) // <http://static.government.ru/media/files/UVAIqUtT08o60RktoOXl22JjAe7irNxc.pdf> (режим доступа 10.04.2020).
10. Схема территориального планирования Ростовской области (Постановление об утверждении Об утверждении проекта внесения изменений в схему территориального планирования Ростовской области) (https://fgistp.economy.gov.ru/?show_document=true&doc_type=npa&uin=600000000201022016030238) (режим доступа 10.04.2020).
11. Схема территориального планирования Ставропольского края <https://fgistp.economy.gov.ru/> (дата обращения: 04.10.2020).
12. Лаппо Г., Полян П., Селиванова Т. Городские агломерации России // Демоскоп Weekly. № 407–408. 25 января – 7 февраля 2010. <http://polit.ru/article/2010/02/16/demoscope407/> (дата обращения: 04.10.2020).
13. Лаппо Г., Полян П., Селиванова Т. Агломерации России в XXI веке // Вестник Фонда регионального развития Иркутской области. 2007. № 1.
14. Полян П.М. Методика выделения и анализа опорного каркаса расселения. ч. 1. М.: ИГ АН СССР, 1988.
15. Полян П.М. Территориальные структуры – урбанизация – расселение: теоретические подходы и методы изучения / М.: Новый хронограф, 2014.
16. Черкасов А.А. Этнические аспекты урбанизации в России – Ставрополь: изд-во ФОК-Юг, 2016. 240 с.
17. Черкасов А.А. Мониторинг этнических аспектов урбанизации в России на основе ГИС-технологий / дис. ... канд. геогр. Ставрополь, 2013.
18. Федеральная служба государственной статистики. URL: <http://www.gks.ru/> (режим доступа 04.10.2020)

References

1. Belozеров V.S. Etnicheskaya karta Severnogo Kavkaza: monografiya (Ethnic map of the North Caucasus: monograph). M., 2005. 304 p. (in Russian).
2. Belozеров V.S., Panin A.N., Prikhodko R.A., Chikhichin V.V., Cherkasov A.A. Etnicheskiy atlas Stavropol'skogo kraya (Ethnic Atlas of the Stavropol territory). Stavropol: publishing house FOK-South, 2014. 314 p. (in Russian).
3. Zakon Volgogradskoy oblasti ot 21 noyabrya 2008 goda № 1778-OD «O Strategii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Volgogradskoy oblasti do 2025 goda (s izmeneniyami na 16 fevralya 2018 goda)» (Law of the Volgograd Region of November 21, 2008 No. 1778-OD "On the Strategy for the Socio-Economic Development of the Volgograd Region until 2025 (as amended on February 16, 2018)") <http://docs.cntd.ru/document/819076044> (access mode 04.10.2020) (in Russian).
4. Zakon Respubliki Tatarstan «Ob utverzhdenii Strategii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Tatrstan do 2030 goda» (Prinyat Gosudarstvennym sovetom Respubliki Tatarstan 18 marta 2019 goda) Law of the Republic of Tatarstan "On approval of the Strategy for the socio-economic development of the Republic of Tatarstan until 2030" (Adopted by the State Council of the Republic of Tatarstan on March 18, 2019) (in Russian).
5. Zeiler M. Zeyler M. Modelirovaniye nashego mira (Modeling our world) // ESRI Geodatabase Design Guide - New York, ESRI Press (in Russian).
6. Kraak M.-J. Ormeling F. Ormeling F. Kartografiya: vizualizatsiya geoprostranstvennykh dannykh (Cartography: visualization of geospatial data) // M.: Scientific World (in Russian).
7. Lur'e I.K., Samsonov T.E. Struktura i sodержanie bazy prostranstvennykh dannykh dlya mul'timasshtabnogo kartografirovaniya (Structure and content of the spatial database for multiscale mapping) // Geodeziya i kartografiya. 2010. № 11. S. 17-23 p. (in Russian).
8. Polevoi K. Kartografiya (Cartography). Esri Press, Redlands, California, 2018. (in Russian).
9. Strategiya prostranstvennogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda (Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 13 fevralya 2019 g. № 207-r) The spatial development strategy of the Russian Federation for the period until 2025 (Approved by order of the Government of the Russian Federation of February 13, 2019 No. 207-r) <http://static.government.ru/media/> (access mode 04.10.2020) (in Russian).
10. Skhema territorial'nogo planirovaniya Rostovskoy oblasti (Postanovlenie ob utverzhdenii Ob utverzhdenii proekta vneseniya izmeneniy v skhemu territorial'nogo planirovaniya Rostovskoy oblasti) (The scheme of territorial planning of the Rostov region [Resolution on approval of the approval of the draft amending the scheme of territorial planning of the Rostov region]) (access mode 04.10.2020) (in Russian).

11. The scheme of spatial planning of the Stavropol Territory (The scheme of spatial planning of the Stavropol Territory) <https://fgistp.economy.gov.ru/> (access mode 04.10.2020) (in Russian).
12. Lappo G., Polyan P., Selivanova T. Gorodskie aglomeratsii Rossii (Gorodskie aglomeratsii Rossii) Demoskop Weekly <http://polit.ru/article/2010/02/16/demoscope407/> (access mode 04.10.2020) (in Russian).
13. Lappo G., Polyan P., Selivanova T. (Aglomeratsii Rossii v XXI veke) Agglomerations of Russia in the 21st Century // Bulletin of the Regional Development Fund of the Irkutsk Region. 2007. No. 1.
14. Polyan P.M. Metodika vydeleniya i analiza opornogo karkasa rasseleniya. ch. 1. (The technique of isolation and analysis of the supporting frame of the settlement. h. 1.) M.: IG Academy of Sciences of the USSR, 1988.
15. Polyan P.M. Territorial structures - urbanization - resettlement: theoretical approaches and methods of study (Territorial'nye struktury – urbanizatsiya – rasselenie: teoreticheskie podkhody i metody izucheniya) / M.: New Chronograph, 2014.
16. Cherkasov A.A. Etnicheskie aspekty urbanizatsii v Rossii (Ethnic aspects of urbanization in Russia): Stavropol: FOK-South, 2016. 240 p.: ill. (in Russian).
17. Cherkasov A.A. Monitoring etnicheskikh aspektov urbanizatsii v Rossii na osnove GIS-tekhnologij (Monitoring of ethnic aspects of urbanization in Russia on the basis of GIS-technologies) / dissertatsiya kandidata geograficheskikh nauk^ Stavropol, 2013. (in Russian).
18. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. (Federal State Statistics Service). URL: <http://www.gks.ru/>. (access mode 04.10.2020) (in Russian).

Поступило в редакцию 13.02.2020, принята к публикации 02.03.2020

Об авторах

- Черкасов Александр Александрович, кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Северо-Кавказского федерального университета. Scopus ID: 57192379694, Researcher ID: 57192379694, Телефон: +7(906) 460-99-98. E-mail: cherkasov_stav@mail.ru
- Сопнев Николай Владимирович, аспирант кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: +7 (961) 451-41-65. E-mail: sopnev.stav@gmail.com
- Гайдуков Владислав Романович, студент 2 курса магистратуры специальности 05.04.03 «Картография и геоинформатика» кафедры социально-экономической географии, геоинформатики и туризма Северо-Кавказского федерального университета. Телефон: +7 (988) 092-59-47. E-mail: gayd.vladislav2013@yandex.ru

About the authors

- Cherkasov Alexander Alexandrovich, Candidate of geographical sciences, associate professor of the department of socio-economic geography, geoinformatics and tourism of the North-Caucasus federal university. Scopus ID: 57192859694, Researcher ID: 57192379694, Phone: +7(906) 460-99-98. E-mail: cherkasov_stav@mail.ru
- Sopnev Nikolay Vladimirovich, graduate student of the department of socio-economic geography, geoinformatics and tourism of the North-Caucasus federal university. Phone: +7 (961) 451-41-65. E-mail: sopnev.stav@gmail.com
- Gaydukov Vladislav Romanovich, 2nd year student of the magistracy specialty 05.04.03 "Cartography and geoinformatics" of the department of socio-economic geography, geoinformatics and tourism of the North-Caucasus federal university, Phone: +7 (988) 092-59-4. E-mail: gayd.vladislav2013@yandex.ru

Исследование выполнено в рамках:

- гранта РФФИ 18-35-00173 «Полимасштабный геоинформационный мониторинг трансформации этнической структуры населения городской и сельской местности в России»;
- гранта РФФИ 20-05-00386 «Пространственно-временные диспропорции демографического развития городских агломераций разного типа в Европейской части России»;
- гранта Президента Российской Федерации МК-858.2020.5 «Геоинформационный мониторинг формирования сети больших городов в условиях современной этнодемографической и миграционной ситуации в России».

25.00.29
УДК 551. 510

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ

Жакамихов Х. М.,
Калов Х.М.,
Кешева Л.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение
Высокогорный геофизический институт, Россия
kesheva.lara@yandex.ru

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАДООПАСНОСТИ РАЗВИВАЮЩИХСЯ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ ДЕПОЛЯРИЗАЦИЕЙ РАССЕЯННОГО СВЕТА ОБЛАЧНЫМИ И ДОЖДЕВЫМИ КАПЛЯМИ

Введение.

В настоящее время существует много работ, посвященных проблеме прогноза града, основанных на анализе реальной стратификации атмосферы, спутниковых и радиолокационной информации. В последние годы получили значительное развитие поляризационные методы исследования структуры облаков и осадков.

Материалы и методы исследований.

Эти методы основаны на изменении поляризации отраженного сигнала при рассеянии радиоволн различными частицами облаков. Одним из инструментов для таких исследований является метеорологический радиолокационный поляриметр с рабочим углом рассеяния 90° . В литературе имеется много работ, проведенных с помощью радиолокационного поляриметра. В основном эти работы являются теоретическими и экспериментальными. Здесь мы попытаемся провести численное исследование конвективных облаков на их градоопасность деполяризацией рассеянного света облачными и дождевыми каплями при угле рассеяния 90° , найти критериальное число деполяризации для сантиметровых длин волн. В связи с этим данная работа посвящена такому исследованию конвективных облаков для конкретных стратификаций атмосферы.

Результаты исследований и их обсуждение.

На основе струйной модели конвекции проведено численное исследование развивающихся конвективных облаков на их градоопасность по функциям Ми для сантиметровых длин волн. Показано, что величина деполяризации максимальна при угле рассеяния 90° и почти постоянна до некоторой высоты в облаке, а потом уменьшается. А при других значениях угла рассеяния деполяризация уменьшается при рассеяниях вперед и назад, стремясь к нулю. Получены значения критериальных чисел деполяризации при угле рассеяния 90° для рассматриваемых облаков в первом приближении.

Выводы.

Рассмотрена возможность определения градоопасности облака численным деполяризационным методом, определив критериальные значения деполяризации рассеянного света облачными и дождевыми каплями для данных сантиметровых длин волн. Установлено, что по нашим расчетам, рассматриваемые облака являются градоопасными и их критериальное число деполяризации $D_{90} \leq 0,12$. Для полного решения этой задачи нужен анализ расчетов множества облаков. Величина деполяризации максимальна и почти постоянна при угле рассеяния 90° для рассматриваемых длин волн. А при других значениях угла рассеяния величина деполяризация уменьшается при рассеяниях вперед и назад, стремясь к нулю.

Ключевые слова:

деполяризация рассеянного света, электромагнитное излучение, теория рассеяния Ми, параметры Стокса, интенсивность, параметры поляризации, модель конвективного облака, степень поляризации рассеянного света

Zhakamikhov Kh.M., High Mountain Geophysical Institute,
Kalov Kh. M., Russia
Kesheva L.A. kesheva.lara@yandex.ru

Numerical Study of the Hail Hazard of Developing Convective Clouds by Scattered Light Depolarization by Cloud Drops and Raindrops

Introduction. Currently there are many works devoted to the problem of forecasting hail, based on the analysis of real stratification of the atmosphere, satellite and radar information. In recent years polarization methods have been significantly developed to study the clouds and precipitation structure.

Materials and methods of the research. These methods are based on a change in the polarization of the reflected signal during scattering of radio waves by various particles of the clouds. One of the tools for such studies is a meteorological radar polarimeter with a working scattering angle of 90° . There are many works carried out using a radar polarimeter in the literature. Basically, these works are theoretical and experimental. Here we will try to conduct a numerical study of convective clouds for their hail hazard by scattering light scattered by cloud drops and raindrops at a scattering angle of 90° , to find the critical number of depolarization for centimeter wavelengths. In this regard, this work is devoted to the study of convective clouds for specific stratifications of the atmosphere.

Results of the study and their discussion. On the basis of the jet convection model, a numerical study of developing convective clouds for their hail hazard by the Mie functions for centimeter wavelengths was carried out. It was shown that the depolarization value is maximum at the scattering angle of 90° and is almost constant to a certain height in the cloud, and then decreases. Depolarization decreases in scattering forward and backward, tending to zero, for other values of the scattering angle. The values of the critical numbers of depolarization at the scattering angle of 90° were obtained for the clouds in question as a first approximation.

Conclusions. The possibility of determining the hail hazard of the cloud by the numerical depolarization method is considered, determining the critical values of the scattered light depolarization by cloud drops and raindrops for given centimeter wavelengths. It was established that according to our calculations, the clouds in question are hail hazardous and their critical number of depolarization is $D_{90} \leq 0,12$. For a complete solution to this problem, an analysis of the calculations of many clouds is needed. The value of depolarization is maximum and almost constant at the scattering angle of 90° for the considered wavelengths. And for other values of the scattering angle, the depolarization decreases with scattering forward and backward, tending to zero.

Key words: scattered light depolarization, electromagnetic radiation, Mie scattering theory, Stokes parameters, intensity, polarization parameters, convective cloud model, scattered light polarization.

Введение

В настоящее время существует много работ, посвященных проблеме прогноза града, основанных на анализе реальной стратификации атмосферы, спутниковых и радиолокационной информации [1, 2, 6, 7, 10, 11]. В последние годы получили значительное развитие поляризационные методы исследования структуры облаков и осадков [3, 12]. Эти методы основаны на изменении поляризации отраженного сигнала при рассеянии радиоволн различными частицами облаков.

Одним из инструментов для таких исследований является метеорологический радиолокационный поляриметр с рабочим углом рассеяния 90° . В литературе имеется много работ, проведенных с помощью радиолокационного поляриметра. В основном эти работы являются теоретическими и экспериментальными. Здесь мы попытаемся провести численное исследование конвективных облаков на их градоопасность деполяризацией рассеянного света облачными и дождевыми каплями при угле рассеяния 90° , найти критерияльное число деполяризации для сантиметровых длин волн. В связи с этим данная работа посвящена такому исследованию конвективных облаков для конкретных стратификаций атмосферы.

Материалы и методы исследований

Для численного исследования конвективного облака на градоопасность деполяризацией рассеянного света облачными и дождевыми каплями нужны такие его параметры, как размеры и концентрации облачных капель с момента его зарождения до любого его уровня, для чего используем струйную модель конвекции [7, 8]. Эта модель, разработанная в ВГИ, хорошо зарекомендовала себя при расчетах основных термодинамических и микрофизических параметров градового облака при естественном его развитии и искусственном воздействии на него. Решая уравнения модели с основными функциями по теории рассеяния Ми [4, 5], для конкретных стратификаций атмосферы (Мин. Воды за 9 июля 2011 и за 7 июня 2012 гг.), можно провести численное исследование конвективного облака на градоопасность деполяризацией рассеянного света облачными частицами. Так как исследование проводится для жидкой фазы облака, расчеты по модели проводим до момента начала спонтанной кристаллизации дождевых капель.

Элементы нормированной матрицы рассеяния Стокса [5] для однослойных частиц в случае полидисперсных систем можно записать в виде:

$$P_j(\vartheta, m, \rho) = \frac{N\lambda^2}{\pi\beta_{pac}(n(r), m, \rho)} \int_{r_1}^{r_n} f(r) i_j(\vartheta, m, \rho) dr \quad (1)$$

($j=1, 2, 3, 4$)

где $\rho = 2\pi r/\lambda$ – параметр рассеяния;
 m – комплексный показатель преломления;
 λ – длина волны;
 ϑ – угол рассеяния;
 r – радиус частицы;
 N – концентрация частиц;
 $f(r)$ – функция распределения облачных капель;
 $n(r)$ – концентрация, приходящаяся на одну градацию;
 $\beta_{\text{рас}}(n(r), m, \rho)$ – объемный коэффициент рассеяния;
 $i_j(\vartheta, m, \rho)$ – элементы нормированной матрицы рассеяния Стокса для отдельных частиц.

В случае дисперсной среды и однослойных частиц объемный коэффициент рассеяния запишется в виде

$$\beta_{\text{рас}}(n(r), m, \rho) = \pi N \int_{r_1}^{r_n} f(r) K_{\text{рас}}(m, \rho) r^2 dr, \quad (2)$$

где $K_{\text{рас}}(m, \rho)$ – фактор эффективности рассеяния отдельной частицы, который равен

$$K_{\text{рас}}(m, \rho) = \frac{\lambda^2}{2\pi^2 r^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \left(|a_n(m, \rho)|^2 + |b_n(m, \rho)|^2 \right), \quad (3)$$

где $a_n(m, \rho)$ и $b_n(m, \rho)$ – комплексные амплитудные коэффициенты. В случае однофазных частиц они примут вид [3]:

$$\begin{aligned} a_n(m, \rho) &= \frac{\psi'_n(m, \rho)\psi_n(\rho) - m\psi_n(m, \rho)\psi'_n(\rho)}{\psi'_n(m, \rho)\zeta_n(\rho) - m\psi_n(m, \rho)\zeta'_n(\rho)}, \\ b_n(m, \rho) &= \frac{m\psi'_n(m, \rho)\psi_n(\rho) - \psi_n(m, \rho)\psi'_n(\rho)}{m\psi'_n(m, \rho)\zeta_n(\rho) - \psi_n(m, \rho)\zeta'_n(\rho)}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\Psi_n(\rho)$, $\zeta_n(\rho)$ и $\Psi_n(m, \rho)$ – функции Риккати-Бесселя с действительными и комплексными переменными, а со штрихами – их производные.

Элементы нормированной матрицы рассеяния Стокса для отдельных частиц выражаются через безразмерные комплексные амплитуды рассеянного излучения $S_j(\vartheta, m, \rho)$ ($j = 1, 2$) [4] выражениями:

$$i_1(\vartheta, m, \rho) = S_1(\vartheta, m, \rho) S_1^*(\vartheta, m, \rho),$$

$$i_2(\vartheta, m, \rho) = S_2(\vartheta, m, \rho) S_2^*(\vartheta, m, \rho),$$

$$i_3(\vartheta, m, \rho) = \frac{1}{2} [S_1(\vartheta, m, \rho) S_2^*(\vartheta, m, \rho) + S_2(\vartheta, m, \rho) S_1^*(\vartheta, m, \rho)] \quad (5)$$

$$i_4(\vartheta, m, \rho) = \frac{i}{2} [S_1(\vartheta, m, \rho) S_2^*(\vartheta, m, \rho) - S_2(\vartheta, m, \rho) S_1^*(\vartheta, m, \rho)]$$

где $S_1^*(\vartheta, m, \rho)$ и $S_2^*(\vartheta, m, \rho)$ – функции комплексно-сопряженные $S_1(\vartheta, m, \rho)$ и $S_2(\vartheta, m, \rho)$,

i – мнимая единица. Для амплитуд рассеянного излучения решение Ми можно записать в симметричной форме:

$$\begin{aligned} S_1(\vartheta, m, \rho) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} [a_n(m, \rho) \pi_n(\mu) + b_n(m, \rho) \tau_n(\mu)] \\ S_2(\vartheta, m, \rho) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1)} [a_n(m, \rho) \tau_n(\mu) + b_n(m, \rho) \pi_n(\mu)], \end{aligned} \quad (6)$$

где $\mu = \cos \vartheta$.

Фазовые функции $\pi_n(\mu)$ и $\tau_n(\mu)$ определены через производные от полиномов Лежандра целого порядка и вещественного аргумента

$$\begin{aligned} \pi_n(\mu) &= \frac{d}{d\mu} P_n(\mu), \\ \tau_n(\mu) &= \mu \pi_n(\mu) - (1 - \mu^2) \frac{d}{d\mu} \pi_n(\mu), \quad (-1 \leq \mu \leq 1), \end{aligned} \quad (7)$$

где
$$P_n(\mu) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n}{d\mu^n} (\mu^2 - 1)^n.$$

Используя хорошо известные рекуррентные соотношения между этими полиномами и их производными, можно найти коэффициенты $\pi_n(\mu)$ и $\tau_n(\mu)$. Отражаемость от облачных и дождевых капель рассчитывается по формуле:

$$\eta(m, \rho) = \pi \sum_{n=1}^N r^2 n K_{o,p}(m, \rho) \quad (8)$$

где $K_{o,p}(m, \rho)$ – фактор эффективности обратного рассеяния капель, который равен

$$K_{o,p}(m, \rho) = \frac{1}{\rho^2} \left| \sum_{n=1}^N (2n+1) (-1)^n (a_n - b_n) \right|^2 \quad (9)$$

Комплексные амплитудные коэффициенты $a_n(m, \rho)$ и $b_n(m, \rho)$ являются сложными функциями длины волны, показателя преломления и геометрической структуры частиц [4, 5]. Их эффективная оценка очень важна для решения данной задачи. Расчеты этих коэффициентов проводились по алгоритму [5]. Ниже приводится выражение фактора деполаризации [5].

$$D(\vartheta, m, \rho) = \frac{P_1(\vartheta, m, \rho)P_2(\vartheta, m, \rho) - [P_3^2(\vartheta, m, \rho) + P_4^2(\vartheta, m, \rho)]}{P_1(\vartheta, m, \rho)P_2(\vartheta, m, \rho) + [P_3^2(\vartheta, m, \rho) + P_4^2(\vartheta, m, \rho)]}. \quad (10)$$

Начальный спектр размеров капель описывается обобщенным гамма – распределением [5]:

$$n(r) = Nf(r) = Ar^\alpha \exp(-Br^\gamma), \quad (11)$$

где A и B – константы. Константа B определяется модальным размером капель r_m из соотношения $B = \alpha/\gamma_m^\gamma$ при условии, что значения параметров распределения α и γ фиксированы. Константы A и B связаны между собой соотношением:

$$A = \gamma NB^{\frac{\alpha+1}{\gamma}} \left[\Gamma\left(\frac{\alpha+1}{\gamma}\right) \right]^{-1}. \quad (12)$$

Здесь для функции распределения размеров капель в облаке мы брали $\alpha = 2$, $\gamma = 1$, $r_m = 3$ мкм, $N = 400$ см⁻³.

Для проведения расчетов переходим в теории Ми от интегрирования к суммированию, поскольку этого требует дискретность распределения капель в струйной модели конвективного облака, в данном случае брали тридцать градаций облачных капель от 1 до 30 мкм. Согласно постановке задачи, расчеты по модели для рассматриваемых характеристик проведены до высоты 6 км при значениях длин волн: 3,2; 7,5; 10,0; 17,0 см. Результаты этих расчетов приводятся на рисунках и в таблицах.

Результаты и их обсуждение

Основные результаты расчетов приведены на рис. 1, 2 и в табл. 1, 2. На рисунке 1 дано для второго облака (07.06.2012 г.) изменение спектра облачных капель в восходящей облачной струе в результате их конденсационно-коагуляционного роста. Как видно из этого рисунка кривые спектры облачных капель расширяются в сторону больших размеров.

А на рисунке 2 даны для того же облака изменение кривых деполяризации рассеянного света облачными и дождевыми каплями для четырех длин волны и высоты в облаке в зависимости от угла рассеяния. Как видно из рис. 2 величина деполяризации максимальна при угле рассеяния 90° и очень слабо зависит от длины волны и высоты в облаке. При других значениях угла рассеяния деполяризация уменьшается в облаке, стремясь к нулю при углах рассеяния 0° и 180°.

В таблице 1 приводятся результаты расчетов основных параметров двух облаков, рассчитанные по струйной модели облачной конвекции. Верхняя строка относится к первому облаку, а нижняя – ко второму. Как видно из этих результатов по величине основных параметров эти облака являются

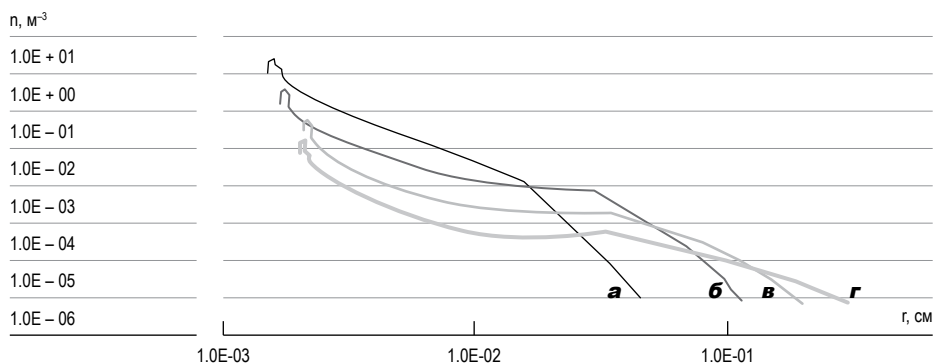
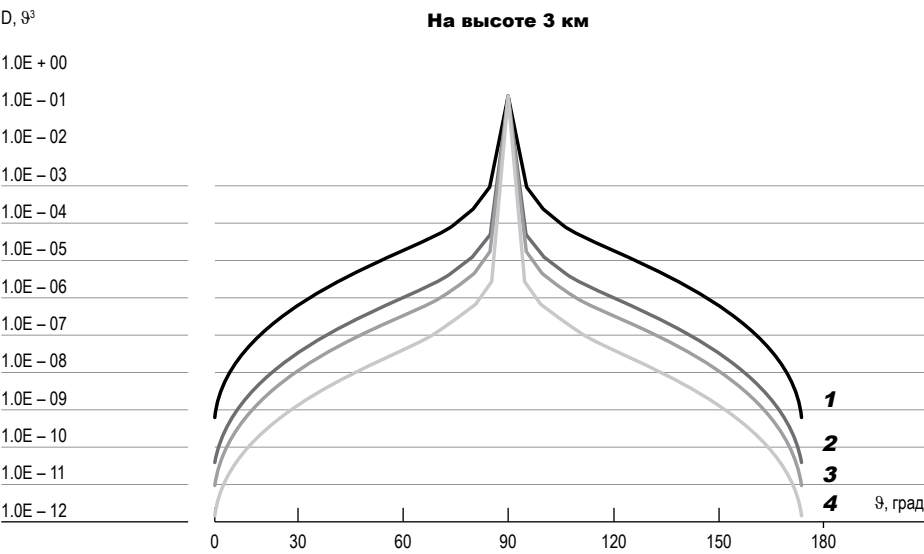


Рис. 1. Изменение спектра облачных капель в развивающемся конвективном облаке на высотах: 3(а), 4(б), 5(в), и 6(г) км.
 Fig.1. Changes in the spectrum of cloud droplets in a developing convective cloud at altitudes of 3(a), 4(b), 5(c), and 6 (d) km.

градоопасными в соответствии с работами [1, 7, 9, 10, 11], но разные по мощности. Далее приведем деполяризационный подход исследования градоопасности облаков. В таблице 2 даны результаты рассеянного света облачными каплями при угле рассеяния 90° и отражаемости для двух стратификаций атмосферы. Верхняя строка относится к первой стратификации (09.07.2011 г.), а нижняя – ко второй (07.06.2012 г.). Здесь приводятся результаты расчетов для тех длин волн, которые чаще используют в физике облаков. Как видно из таблицы в первых колонках для всех длин волн двух облаков деполяризации увеличиваются до определенной высоты в облаке, а сами значения для каждого случая почти совпадают для всех длин волн, имеет место релеевское рассеяние, а потом уменьшаются с высотой в облаке. Это связано с изменением спектра облачных капель на этих высотах, он существенно расширяется в сторону больших размеров за счет коагуляционных процессов. Как видно из этой таблицы и рисунке 2 деполяризация рассеянного света облачными каплями уменьшается в рассматриваемых облаках по-разному, там, где спектр облачных капель шире деполяризация становится меньше. Очевидно, что величина фактора деполяризации зависит от природы частиц и от их распределения по размерам, а также от угла рассеяния. Как видно из таблицы 2 и рисунке 2 большая деполяризация имеет место для более узкого распределения облачных капель по размерам. Максимумы деполяризации в данных облаках находятся на высотах 2 км и 2,5 км соответственно там, где спектр капель уже в облаке. Деполяризация этих облаков при угле рассеяния 90° почти совпадают до определенной высоты (1 км) и для всех длин волн, а выше – расходятся, сильнее уменьшается в том облаке, где спектр капель шире. Анализируя результаты наших расчетов для данных облаков с учетом результатов работ [7, 10, 11] приходим к выводу, что рассматриваемые облака являются градоопасными, при этом второе облако мощнее первого. Теперь установим критериальное число градоопасности облака через деполяризации D_{90} .

Как видно из таблицы 2 для первого облака таким числом на высоте 6 км будет 0,122 при длине волны 3,2 см и 0,092 см при длине волны 17,0 см. А для второго облака эти критериальные числа достигают для этих длин волн



1 — 3,2 см **2** — 7,5 см **3** — 10,0 см **4** — 17,0 см

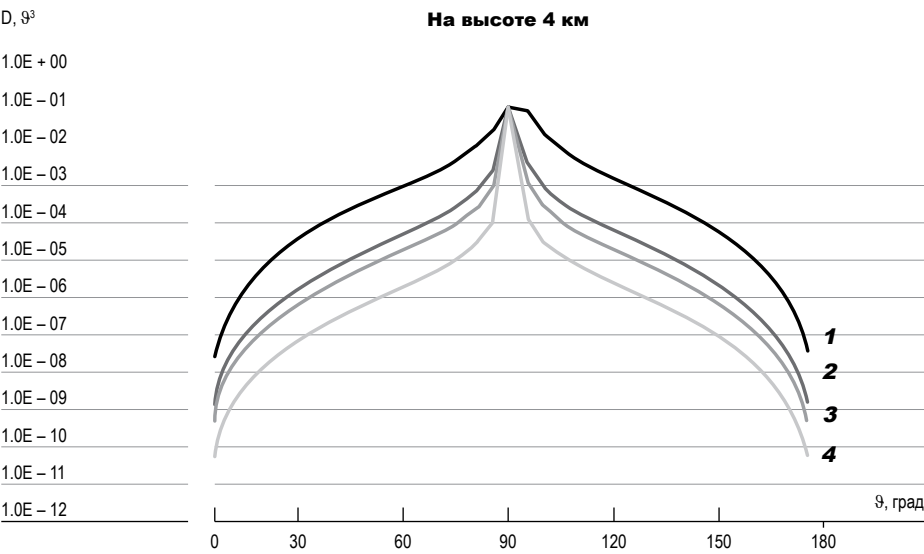
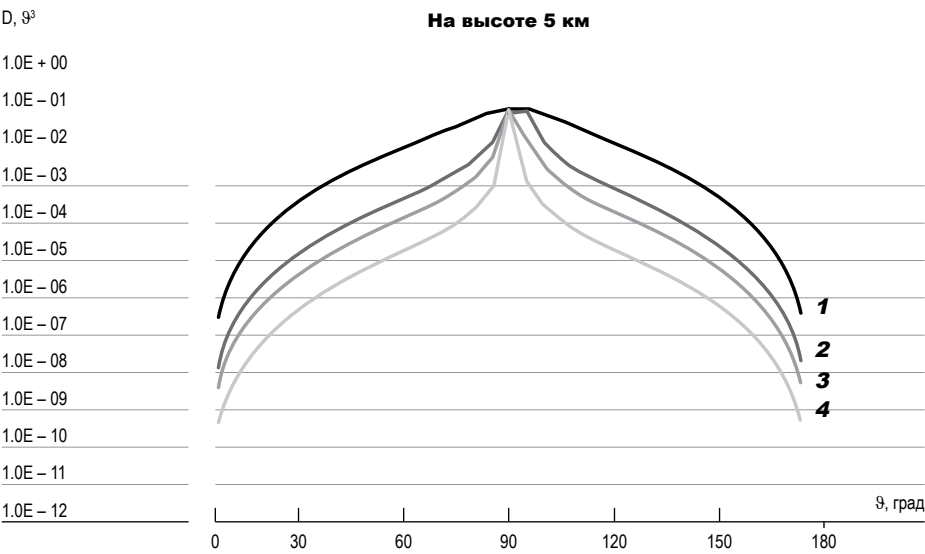


Рис. 2. Значения фактора деполяризации на высотах 3,4,5 и 6 км в развивающемся конвективном облаке при длинах волн 3,2 (1), 7,5 (2), 10 (3) и 17 (4) см в зависимости от угла рассеяния.



1 — 3,2 см 2 — 7,5 см 3 — 10,0 см 4 — 17,0 см

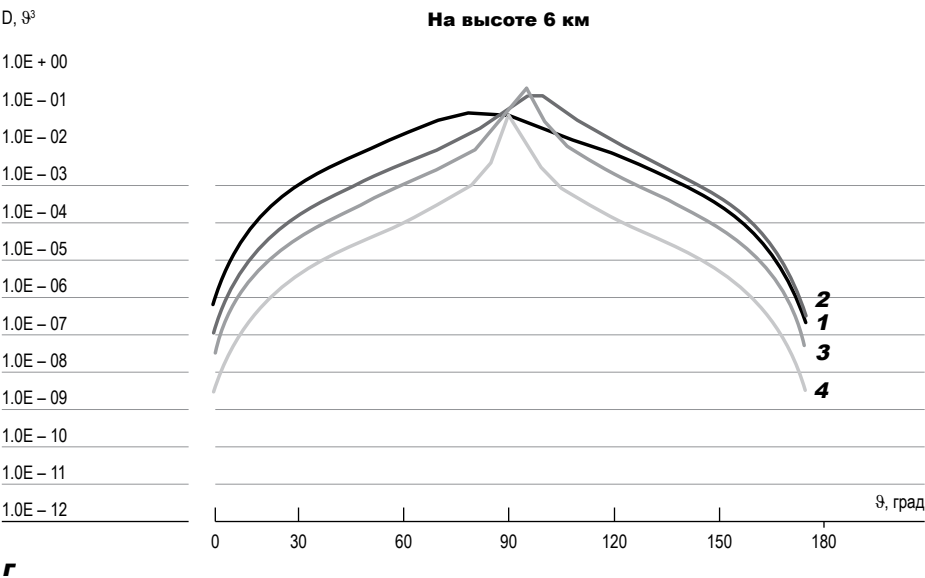


Fig. 2. Depolarization factor values at altitudes of 3,4,5 and 6 km in a developing convective cloud at wavelengths 3,2 (1), 7,5 (2), 10 (3) and 17 (4) cm depending on the scattering angle.

Таблица 1. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХ ОБЛАКОВ ПО СТРУЙНОЙ МОДЕЛИ ОБЛАЧНОЙ КОНВЕКЦИИ. ВЕРХНЯЯ СТРОКА ОТНОСИТСЯ К ПЕРВОМУ ОБЛАКУ (09.07.2011 г.), А НИЖНЯЯ – КО ВТОРОМУ (07.06.2012 г.)
Table 1. Results of calculations of the main parameters of two clouds using the jet model of cloud convection. The top line refers to the first cloud (09.07. 2011), and the bottom refers to the second (07.06. 2012)

z, км	W, м/с	R, км	q, г/кг	T, °C	S, г/кг	ρ, кг/м³	ω, г/м³	E, м²/с²
0,0	1,50	5,00	0,334	17,3	9,98	1,031	0,34	2,0
	2,00	5,00	0,334	18,2	13,10	1,031	0,34	2,0
0,5	3,66	3,83	1,28	14,8	9,01	0,980	1,25	6,7
	4,31	3,67	1,39	16,0	12,00	0,980	1,36	9,3
1,0	6,84	2,92	2,17	12,2	8,06	0,932	2,02	23,4
	5,68	3,21	2,36	13,6	10,91	0,931	2,20	16,1
1,5	8,55	2,73	2,98	9,5	7,13	0,886	2,64	36,6
	6,52	3,12	3,27	11,1	9,83	0,884	2,89	21,2
2,0	8,63	2,83	3,70	6,6	6,22	0,842	3,11	37,2
	7,40	3,06	4,10	8,6	8,76	0,840	3,44	27,4
2,5	10,29	2,71	4,35	3,6	5,36	0,801	3,48	53,0
	9,38	2,83	4,86	5,8	7,72	0,798	3,88	44,0
3,0	12,76	2,54	4,92	0,4	4,54	0,761	3,75	81,4
	11,75	2,65	5,55	3,0	6,72	0,758	4,20	69,0
3,5	14,79	2,47	5,41	-2,9	3,78	0,724	3,91	109,3
	14,19	2,52	6,15	0,0	5,74	0,720	4,43	100,7
4,0	16,15	2,47	5,79	-6,5	3,09	0,688	3,99	130,4
	16,51	2,44	6,65	-3,3	4,85	0,685	4,55	136,3
4,5	16,93	2,52	6,10	-10,2	2,45	0,654	3,99	143,4
	18,49	2,42	7,02	-6,8	4,07	0,651	4,57	170,9
5,0	17,42	2,59	6,35	-14,0	1,88	0,622	3,95	151,7
	19,78	2,45	7,34	-10,4	3,33	0,618	4,57	195,6
5,5	17,65	2,68	6,59	-17,8	1,34	0,591	3,90	155,8
	20,48	2,51	7,69	-13,8	2,58	0,587	4,52	209,8
6,0	17,75	2,79	6,91	-21,4	0,73	0,560	3,87	157,5
	20,86	2,60	8,16	-17,0	1,74	0,556	4,54	217,6

приблизительно на высоте 5 км. Объединяя эти выводы можно сделать один общий вывод, что критериальным числом для этих облаков рассмотренных длин волн можно принять $D_{90} \leq 0,12$. Как видно из этих выводов чем мощнее конвективное облако, тем раньше становится оно градоопасным.

А для ливневых облаков – таким числом будет $D_{90} > 12$ при этом восходящая скорость в облаке не должна превышать 9–10 м/с и она должна быть

Таблица 2.

ЗНАЧЕНИЯ ДЕПОЛЯРИЗАЦИЙ (D_{90}) РАССЕЯННОГО СВЕТА
В РАССМАТРИВАЕМЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКАХ И ОТРАЖАЕМОСТЕЙ
(η), НАИБОЛЕЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛИНЫ ВОЛН В ОБЛАКЕ
Table 2. The values of the scattered light depolarization (D_{90}) in the convective clouds
and reflectivities under consideration (η), the most used wavelengths in the cloud

λ, см								
Z, км	3,2		7,5		10,0		17,0	
	D_{90}	η	D_{90}	η	D_{90}	η	D_{90}	η
0,0	0,149	$1,5 \cdot 10^{-14}$	0,150	$5,1 \cdot 10^{-16}$	0,151	$1,7 \cdot 10^{-16}$	0,157	$1,9 \cdot 10^{-17}$
	0,149	$1,5 \cdot 10^{-14}$	0,150	$5,1 \cdot 10^{-16}$	0,151	$1,7 \cdot 10^{-16}$	0,157	$1,9 \cdot 10^{-17}$
0,5	0,184	$6,9 \cdot 10^{-14}$	0,185	$2,3 \cdot 10^{-15}$	0,187	$7,5 \cdot 10^{-16}$	0,194	$8,7 \cdot 10^{-17}$
	0,174	$7,5 \cdot 10^{-14}$	0,174	$2,5 \cdot 10^{-15}$	0,177	$7,9 \cdot 10^{-16}$	0,184	$9,4 \cdot 10^{-17}$
1,0	0,198	$1,6 \cdot 10^{-13}$	0,199	$5,2 \cdot 10^{-15}$	0,201	$1,7 \cdot 10^{-15}$	0,207	$2,0 \cdot 10^{-16}$
	0,194	$1,8 \cdot 10^{-13}$	0,195	$6,0 \cdot 10^{-15}$	0,196	$1,9 \cdot 10^{-15}$	0,202	$2,3 \cdot 10^{-16}$
1,5	0,303	$2,9 \cdot 10^{-13}$	0,304	$9,6 \cdot 10^{-15}$	0,305	$3,1 \cdot 10^{-15}$	0,311	$3,7 \cdot 10^{-16}$
	0,359	$3,7 \cdot 10^{-13}$	0,359	$1,2 \cdot 10^{-14}$	0,361	$3,9 \cdot 10^{-15}$	0,365	$4,7 \cdot 10^{-16}$
2,0	0,406	$5,0 \cdot 10^{-13}$	0,407	$1,7 \cdot 10^{-14}$	0,408	$5,3 \cdot 10^{-15}$	0,411	$6,3 \cdot 10^{-16}$
	0,442	$9,0 \cdot 10^{-13}$	0,442	$3,0 \cdot 10^{-14}$	0,442	$9,5 \cdot 10^{-15}$	0,443	$1,1 \cdot 10^{-15}$
2,5	0,432	$1,2 \cdot 10^{-12}$	0,432	$4,1 \cdot 10^{-14}$	0,433	$1,3 \cdot 10^{-14}$	0,435	$1,5 \cdot 10^{-15}$
	0,331	$8,3 \cdot 10^{-12}$	0,330	$2,8 \cdot 10^{-13}$	0,330	$8,7 \cdot 10^{-14}$	0,330	$1,0 \cdot 10^{-14}$
3,0	0,329	$6,5 \cdot 10^{-12}$	0,328	$2,2 \cdot 10^{-13}$	0,328	$6,8 \cdot 10^{-14}$	0,328	$8,2 \cdot 10^{-15}$
	0,236	$2,4 \cdot 10^{-10}$	0,234	$8,1 \cdot 10^{-12}$	0,234	$2,6 \cdot 10^{-12}$	0,233	$3,1 \cdot 10^{-13}$
3,5	0,259	$6,2 \cdot 10^{-11}$	0,259	$2,1 \cdot 10^{-12}$	0,257	$6,5 \cdot 10^{-13}$	0,256	$7,8 \cdot 10^{-14}$
	0,178	$4,3 \cdot 10^{-9}$	0,172	$1,5 \cdot 10^{-10}$	0,171	$4,6 \cdot 10^{-11}$	0,169	$5,6 \cdot 10^{-12}$
4,0	0,211	$6,0 \cdot 10^{-10}$	0,208	$2,0 \cdot 10^{-11}$	0,207	$6,3 \cdot 10^{-12}$	0,207	$7,6 \cdot 10^{-13}$
	0,145	$2,8 \cdot 10^{-8}$	0,132	$9,7 \cdot 10^{-10}$	0,130	$3,1 \cdot 10^{-10}$	0,128	$3,7 \cdot 10^{-11}$
4,5	0,173	$4,0 \cdot 10^{-9}$	0,167	$1,4 \cdot 10^{-10}$	0,166	$4,3 \cdot 10^{-11}$	0,165	$5,2 \cdot 10^{-12}$
	0,135	$1,0 \cdot 10^{-7}$	0,114	$3,4 \cdot 10^{-9}$	0,110	$1,1 \cdot 10^{-9}$	0,107	$1,3 \cdot 10^{-10}$
5,0	0,144	$1,7 \cdot 10^{-8}$	0,134	$5,9 \cdot 10^{-10}$	0,133	$1,9 \cdot 10^{-10}$	0,131	$2,3 \cdot 10^{-11}$
	0,124	$3,1 \cdot 10^{-7}$	0,104	$8,6 \cdot 10^{-9}$	0,098	$2,8 \cdot 10^{-9}$	0,092	$3,5 \cdot 10^{-10}$
5,5	0,131	$5,6 \cdot 10^{-8}$	0,115	$1,9 \cdot 10^{-9}$	0,112	$6,1 \cdot 10^{-10}$	0,109	$7,4 \cdot 10^{-11}$
	0,097	$9,2 \cdot 10^{-7}$	0,098	$1,9 \cdot 10^{-8}$	0,088	$6,2 \cdot 10^{-9}$	0,080	$7,9 \cdot 10^{-10}$
6,0	0,122	$1,7 \cdot 10^{-7}$	0,101	$5,3 \cdot 10^{-9}$	0,096	$1,7 \cdot 10^{-9}$	0,092	$2,1 \cdot 10^{-10}$
	0,057	$2,4 \cdot 10^{-6}$	0,095	$3,7 \cdot 10^{-8}$	0,078	$1,3 \cdot 10^{-8}$	0,068	$1,7 \cdot 10^{-9}$

постоянной. Для уточнения этих выводов, т.е. для полного решения этой задачи нужен анализ расчетов множества облаков.

Таким образом, впервые делается попытка определения градоопасности облака численным деполяризационным методом. Определив критериальное число деполяризации рассеянного света облачными и дождевыми каплями можно установить градоопасность облака.

Выводы

В результате проведенного численного исследования получено следующее:

1. Рассмотрена возможность определения градоопасности облака численным деполяризационным методом, определив критериальные значения деполяризации рассеянного света облачными и дождевыми каплями для данных сантиметровых длин волн.
2. Установлено, что по нашим расчетам, рассматриваемые облака являются градоопасными и их критериальное число деполяризации $D_{90} \leq 0,12$. Для полного решения этой задачи нужен анализ расчетов множества облаков.
3. Величина деполяризации максимальна и почти постоянна при угле рассеяния 90° для рассматриваемых длин волн. А при других значениях угла рассеяния величина деполяризация уменьшается при рассеяниях вперед и назад, стремясь к нулю.

Библиографический список

1. Абшаев М.Т., Бурцев И.И., Васкенбург С.И., Шевела Г.Ф. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5, МРЛ-6 в системе градозащиты. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 230 с.
2. Абшаев М.Т., Кармов Х.Н. Обнаружение градовых очагов радиолокационно-радиометрическим методом. «Труды 4-го Всесоюзного совещания по радиометеорологии». М., Гидрометеиздат, 1978. С. 81–86.
3. Диневич Л.А., Тычина Д.П., Шупяцкий А.Б., Результаты поляризационных исследований градовых и градоопасных облаков. «Труды 4-го Всесоюзного совещания по радиометеорологии». М., Гидрометеиздат, 1978. С. 63–70.
4. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами. М.: ИЛ, 1961. 535 с.
5. Деймерджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. М.: Мир, 1971. 165 с.
6. Жакамихов Х.М., Абшаев А.М. Численное исследование рассеяния микрорадиоволн спектрами однородных и двухслойных частиц осадков // Метеорология и гидрология. 2010. №8. С. 26–32.
7. Жакамихов Х. М., Жекамухов М. К., Инюхин В. С. Применение струйной модели градового облака в оперативной практике градозащиты. Метеорология и гидрология, 2010, № 8. С. 41–48.
8. Жекамухов М.К., Жакамихов Х.М. Теоретическая модель градового облака и активного воздействия на градовые процессы с помощью кристаллизующих реагентов // Тр. ВГИ. 1980. Вып. 45. С. 3–39.
9. Жекамухов М.К., Жакамихов Х.М. Некоторые результаты численного моделирования процессов градообразования в облаках

при естественном их развитии и при искусственном воздействии // Тр. ВГИ. 1983. Вып. 48. С. 13–27.

10. Лапчева В. Ф. Определение градоносности и градоопасности конвективных облаков. Труды ВГИ, 1968, вып.11. С. 86–97.
11. Сулаквелидзе Г. К., Глушкова Н. И., Федченко Л. М. Прогноз града, гроз и ливневых осадков. Л., Гидрометеиздат, 1970. 188 с.
12. Иванов А.А., Колосков Б.П. Методы индикации деполяризационных зон в облаках и осадках. «Труды 4-го Всесоюзного совещания по радиометеорологии». М., Гидрометеиздат, 1978. С. 81–86.

References

1. Abshaev M.T., Burtsev I.I., Waskenburg S.I., Shevel G.F.. Guidelines for the use of radars MRL-4, MRL-5, MRL-6 in a city protection system. L.: Gidrometeoizdat, 1980. 230 p. (in Russ).
2. Abshaev M.T., Karmov Kh.N. Detection of hail centers by radar-radiometric method. "Proceedings of the 4th All-Union Conference on Radio Meteorology." M., Gidrometeoizdat, 1978, P. 81–86. (in Russ).
3. Dinevich L. A., Tychina D. P., Shupyatsky A. B., Results of polarization studies of hail and hail clouds. "Proceedings of the 4th All-Union Conference on Radio Meteorology". M., Gidrometeoizdat, 1978. P. 63–70. (in Russ)
4. Van de Hulst G. Light scattering by small particles. M.: IL, 1961. 535 p. (in Russ)
5. Deimerjan D. Scattering of electromagnetic radiation by spherical polydisperse particles. M.: Mir, 1971. 165 p. (in Russ)
6. Zhakamikhov Kh. M., Abshaev A. M. Numerical study of the scattering of microradio waves by spectra of homogeneous and two-layer particles of precipitation // Meteorology and Hydrology. 2010. N8. P. 26–32. (in Russ).
7. Zhakamikhov Kh. M., Zhekamukhov M.K., Inyukhin V. S. The use of an inkjet model of hail cloud in the operational practice of city defense. Meteorology and Hydrology, 2010. No. 8. P. 41–48 (in Russ).
8. Zhekamukhov M.K., Zhakamikhov Kh. M. Theoretical model of hail clouds and active effects on hail processes using crystallizing reagents // Proc. HGI. 1980. Issue. 45. P. 3–39. (in Russ).
9. Zhekamukhov M.K., Zhakamikhov Kh. M. Some results of numerical modeling of the processes of city formation in the clouds during their natural development and under artificial influence // Tr. VGI. 1983. rel. 48. P. 13–27. (in Russ).
10. Lapcheva V. F. Determination of city-bearing and city-hazardous convective clouds. Proceedings of VGI, 1968. rel. 11. p. 86–97. (in Russ).
11. Sulakvelidze G. K., Glushkova N. I., Fedchenko L. M. Forecast of hail, thunderstorms and rainfall. L., Gidrometeoizdat, 1970. 188 p. (in Russ).
12. Ivanov A. A., Koloskov B. P. Methods of indicating depolarization zones in clouds and precipitation. "Proceedings of the 4th All-Union Conference on Radio Meteorology." M., Gidrometeoizdat, 1978. P. 81–86. (in Russ).

**Поступило в редакцию 14.02.2020,
принята к публикации 02.03.2020**

Сведения об авторах

- Жакамихов** Хажмудин Музакирович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт». Адрес: Россия, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2, Scopus ID: 14834510400 , Researcher ID: AAE-1755-2020. Тел.: 8 (938) 690 15 56
- Калов** Хажбара Мамизович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт». Адрес: Россия, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2, Scopus ID: 6505656548 , Researcher ID: V-6492-2018, Телефон: 8 (928) 080-59-42, E-mail: ruslan_kalov@mail.ru
- Кешева** Лара Асировна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт». Адрес: Россия, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2, Scopus ID: 57191577471, Researcher ID: K-4261-2015, Телефон (903) 490-47-75, E-mail: kesheva.lara@yandex.ru

About the authors

- Zhakamihov** Khazhmudin Muzakirovich, candidate of Physical and Mathematical Science, Leading Researcher of the Federal state budgetary institution «High-Mountain Geophysical Institute». Address: Russia, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2. Scopus ID: 14834510400 , Researcher ID: AAE-1755-2020. Phone: 8 (938) 690 15 56
- Kalov** Khazhbara Mamizovich, Doctor of Physical and Mathematical Science, Professor, chief scientific researcher of the Federal state budgetary institution «High-Mountain Geophysical Institute». Address: Russia, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2. Scopus ID: 6505656548 , Researcher ID V-6492-2018, Phone: 8 (928) 080-59-42, E-mail: ruslan_kalov@mail.ru
- Kesheva** Lara Asirovna, candidate of physical and mathematical sciences, senior research associate of department of physics of clouds of Federal state budgetary institution "High-Mountain Geophysical Institute". Scopus ID: 57191577471 Researcher ID: K-4261-2015, Phone: 8 (903) 490-47-75, E-mail: kesheva.lara@yandex.ru

25.00.35
УДК 912:910.27

ГЕОИНФОРМАТИКА

Воробьева Т.А.,
Котова Т.В.,
Слипенчук М.В.,
Тикунов В.С.

Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова,
Москва,
Россия

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ: ОПЫТ КОМПЛЕКСНЫХ АТЛАСОВ

Введение.

Решение сложных многоаспектных проблем природопользования предполагает их надежное информационное обоснование. Научно-методическим способом его обеспечения остается комплексное системное картографирование. Картографирование отдельных сторон природопользования активно развивается в отечественной и мировой науке в рамках отдельных тематических направлений на протяжении XVII–XX вв. Как самостоятельное направление, оно начинает формироваться только в конце XX века. К настоящему времени накоплен богатый опыт картографического изучения системы «природа - общество», подготовлена значительная по содержанию и емкости методологическая и информационная основа. Она может использоваться в картографическом исследовании проблем природопользования и его последствий. Наиболее полно она предстает в атласных произведениях.

Материалы и методы исследований.

Для развития картографирования природопользования и способности отвечать на запросы общественной практики полезно проанализировать опыт атласного картографирования во всем многообразии его реализации. Предметом анализа являются главным образом аналитические, комплексные и синтетические карты научно-справочных общих и специализированных комплексных атласов России и ее регионов. Опыт отечественных атласов анализируется по возможным ключевым направлениям: 1) социально-демографические ресурсы общества, 2) природно – ресурсная база природопользования, 3) организация (типы и структура) природопользования, 4) экологические последствия природопользования, 5) мониторинг и управление природопользованием; перспективы его оптимизации.

Результаты исследований и их обсуждение.

Перспективы атласного изучения природопользования на национальном и региональном уровне связаны с разработкой концепций атласов, их структуры и содержания. Одна из основных задач картографирования взаимодействия природы и общества состоит в раскрытии посредством интегральных карт различных аспектов природопользования, таких как экосистемный, социально-экономический, медико-географический, природоохранный и др. С этой целью необходимо определение комплексных и интегральных показателей и критериев в создании карт, позволяющих оценить и отразить: эффективность использования природно-ресурсного потенциала территории, масштабы экологических последствий хозяйственной деятельности, особенности социально-экономического развития. Продвижение атласного картографирования в русло новой отрасли «Природопользование» согласуется с интегративными тенденциями в развитии географической картографии.

Выводы.

Ключевые слова:

природопользование, комплексные атласы, концепция и структура атласа природопользования, интегральные карты

Vorobyova T.A., Kotova T.V., Slipenchuk M.V., Tikunov V.S.
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Nature Management Mapping: Experience of Integrated Atlases

- Introduction.** The solution of complex multidimensional problems of nature management assumes their reliable information substantiation. Scientific and methodological way to ensure it is a complex system mapping. Mapping of certain aspects of nature management is actively developing in domestic and world science within the framework of certain thematic areas during the XVII-XX centuries. As an independent direction, it begins to form only at the end of the XX century. To date, a rich experience of cartographic study of the «nature - society» system has been accumulated, a significant methodological and information basis has been prepared in terms of content and capacity. It can be used in cartographic research of problems of nature management and its consequences. It appears most fully in the Atlas works.
- Materials and methods of the research.** To develop the mapping of nature management and the ability to respond to public practice, it is useful to analyze the experience of Atlas mapping in all the diversity of its implementation. The subject of the analysis is mainly analytical, complex and synthetic maps of scientific reference general and specialized complex atlases of Russia and its regions. The experience of domestic atlases is analyzed in possible key areas: 1) socio-demographic resources of society, 2) natural resource base of nature management, 3) organization (types and structure) of nature management, 4) environmental consequences of nature management, 5) monitoring and rational nature management; prospects for its optimization.
- Results of the study and their discussion.** Prospects of Atlas study of nature management at the national and regional level are connected with the development of the concept of atlases, their structure and content (list of topics). One of the main tasks of nature management mapping is to reveal by means of integrated maps various aspects of nature management, such as nature management, socio-economic, medical-geographical, environmental etc. For the last it is necessary to define a comprehensive and integrated indicators and criteria depending on the concept map, allowing to assess and reflect: efficiency use of natural resource potential of the territory, the scale of the environmental impacts of economic activities, in socio-economic development.
- Conclusions.** Promotion of Atlas mapping in line with the new direction «Nature management» is consistent with integrative trends in the development of geographical cartography.
- Keywords:** nature management, complex atlases, concept and structure of the Atlas of nature management, integrated maps

Введение

Решение сложных многоаспектных проблем природопользования, стоящих перед обществом, предполагает их надежное информационное обоснование в пространственно-временном континууме, базирующееся на современном фундаментальном знании о состоянии и функционирова-

нии системы «природа-общество». Научно-методическим способом его обеспечения остается комплексное системное картографирование, развиваемое в отечественной и мировой науке в рамках отдельных тематических направлений на протяжении XVII–XX вв. Как самостоятельное направление, оно начинает формироваться только в конце XX века. Одна из основных задач картографирования природопользования – раскрытие посредством интегральных карт различных аспектов природопользования, таких как экосистемный, социально-экономический, медико-географический, природоохранный и др.

К настоящему времени накоплен богатый опыт картографического изучения системы «природа – общество» и подготовлена значительная по содержанию и емкости методологическая и информационная основа, которая может использоваться в картографическом исследовании проблем природопользования и его последствий. Наиболее полно она предстает в атласных произведениях. Для развития картографирования природопользования и способности отвечать на запросы общественной практики полезно обращение к опыту атласного картографирования во всем многообразии его реализации.

Цель статьи – показать возможности картографического изучения природопользования на примере достижений атласного картографирования, отразить его важную интегрирующую роль в дальнейшем более глубоком и целостном познании структурно-функциональных особенностей систем природопользования как основы обеспечения рационального подхода в прогностических построениях.

Материалы и методы исследований

В процессе работы проанализирован опыт атласного картографирования, отмечены некоторые тенденции его развития в настоящее время, сделана попытка наметить первоочередные задачи в продвижении картографирования природопользования. Предметом анализа послужили главным образом фундаментальные комплексные атласы России и ее регионов – научно-справочные общие и специализированные, созданные на протяжении полувековой истории развития тематического картографирования (вторая половина XX в. по настоящее время) организациями, принадлежащими академической и университетской школам географической картографии и воплотившие последние достижения в этой области. Атласы соответственно фиксируют природно-хозяйственное многообразие на национальном и региональном уровнях в разные периоды развития страны, демонстрируя совершенствование научно-методических принципов картографирования. Предметом анализа стали концептуальные подходы, структура атласов и тематическое наполнение, система используемых показателей, информационная емкость, методы и подходы в разработке разделов и отдельных аналитических, комплексных и синтетических карт. По данным анализа сделаны обобщения, касающиеся целеполагания статьи.

Результаты исследований и их обсуждение

Концепции картографирования природопользования базируются на трактовке природопользования как комплексной сферы человеческой деятельности, включающей природную, хозяйственную и социальную составляющие и основываются на синтезе естественнонаучных, социально-экономических и картографических знаний. Эта сфера деятельности формирует свою территориальную структуру, имеющую различные связи с природной средой – т.е. территориальную организацию природопользования, которая претерпевает временные изменения.

Картографирование природопользования следует методологии комплексного системного картографирования и основывается на следующих научно-методических принципах [Воробьева, Зенгина, 2012]:

- комплексность, предполагающая охват всех аспектов взаимосвязи общества и природы;
- системность в отображении структуры и особенностей функционирования природно-хозяйственных систем, их внутренних и внешних связей;
- отображение территориальной организации природопользования как производное взаимосвязей структуры расселения, природной (ландшафтной) структуры, особенностей территориально-производственной структуры;
- региональность – выявление зональных, региональных и локальных структур природопользования и специфики их взаимосвязей с природной средой;
- иерархичность отображения природопользования (глобальный, национальный, региональный, локальный территориальные уровни) с учетом функционально-производственных связей форм природопользования;
- динамичность систем природопользования на разных уровнях организации.

Результаты анализа и оценки опыта отечественных атласов целесообразно представить по следующим ключевым тематическим направлениям, характеризующим отображение природопользования: 1) природно-ресурсная база, 2) социально-демографические ресурсы, 3) организация (типы и структура) природопользования, 4) экологические аспекты природопользования, 5) мониторинг и управление природопользованием; перспективы его оптимизации.

1. Природно-ресурсная база природопользования – изначально активно развиваемое и наиболее продвинутое направление в изучении системы «природа – общество». Оно много-

сторонне с учетом региональной специфики, но практически структурно унифицировано, представлено в федеральных [Национальный атлас России, Т. 2. Природа. Экология, 2007; Природные ресурсы и экология России: Федеральный атлас, 2003] и многочисленных региональных атласах. Карты объединены в разделы по природным компонентам – Геология, Поверхностные воды, Почвы, Растительность и т.д. Они традиционно, согласно сложившейся структуре атласных произведений группируются в части (или выпуски, тома) под рубриками «Природные условия» или «Природные условия и ресурсы». Содержание и методики создания карт на протяжении многих лет отрабатывались в рамках отдельных направлений тематического картографирования (гидрологического, почвенного, геоботанического, ландшафтного и т.д.) и, отчасти взаимосвязано в случае междисциплинарных сопряжений. Содержание карт не ориентировано на проблемы природопользования, скорее на наиболее полное освещение того или другого компонента и нередко представлено естественно избыточным. В этом разделе особо выделим карты «Использование земель», чаще «Земельные угодья» отображающие природные ресурсы непосредственно включенные в природопользование. Они служат основой при подготовке карт природопользования. Методика разработки таких карт давно сложились, содержание и легенды вполне унифицированы. Это облегчает сопоставление разных территорий и переход на разные пространственные уровни, но ограничивает передачу региональной специфики.

В контексте природопользования особый интерес и практическую значимость представляет довольно широкий спектр оценочных карт природного (ресурсного) потенциала территорий для разных видов хозяйственной деятельности (сельскохозяйственное освоение, строительство дорог, промышленное и гражданское строительство, осушение и др.), включенных в ряд научно-справочных атласов [Атлас Тюменской области, вып. II, 1976; Атлас Алтайского края, Т. 2, 1980 и др.]. Оценочные карты, показывая взаимосвязь между природными и антропогенными комплексами, указывают на целесообразность и возможную эффективность вовлечения первых в тот или иной вид хозяйственной деятельности.

По мере осознания плотности взаимосвязей в системе «природа-общество» понятие природных ресурсов обогатилось такими представлениями как природный потенциал ландшафтов, экологические функции геосистем в целом или отдельных компонентов (почв, растительности). Они получили отображение в целом ряде отдельно изданных карт и в составе комплексных атласов.

2. Социально-демографические ресурсы определяются целым рядом количественных и качественных показателей (численность, плотность, особенности расселения, занятость, уровень развития человеческого потенциала и др.). Важнейшие из них – численность и качество трудовых ресурсов и численность экономичес-

ки активного населения. Принципы картографирования населения довольно полно разработаны и верифицированы многолетней практикой создания карт. Карты подобной тематики обычны в комплексных атласах. Довольно многопланово на федеральном уровне характеристика демографических ресурсов представлена в Национальном атласе России [Т.3. Население. Экономика, 2008]. С разной степенью содержательной полноты и пространственной привязки (к географической основе или административным единицам) она дается в комплексных научно-справочных региональных атласах [Забайкалье. Атлас, 1967; Атлас Сахалинской обл., 1967; Атлас Тюменской области, вып. II, 1976; Атлас Алтайского края, Т. 2, 1980; Атлас Ханты-Мансийского автономного округа - Югры, Т. I, 2006 и др.]. Более обобщенно, но обязательно эта тематика освещается в довольно многочисленных региональных научно-популярных атласах [Атлас Ленинградской области, 1967; Атлас Республики Коми, 2011; Атлас Удмуртской Республики, 2016 и др.]. Однако, наиболее значимые в плане природопользования, характеристики трудовых ресурсов довольно ограничены и не часто встречаются даже в научно-справочных атласах.

3. Типы и структуру природопользования. Подобная тематика в атласах скорее представлена аналитическими картами, раскрывающими отдельные виды природопользования – прямого или опосредованного. В этой группе, в первую очередь, выделим карты, посвященные отдельным видам пользования (недропользование, землепользование, лесопользование, водопользование и др.) в той или иной степени связанным с природной средой (ресурсное природопользование). Их довольно ограниченный набор и тематика непосредственно передают связь с природным потенциалом территорий. На картах часто показ той или иной отрасли совмещается с отображением сырьевой базы. Они служат основой для картографирования рационального использования природных ресурсов и их охраны, а также как объекты антропогенного воздействия на природную среду для характеристики его видов и последствий (уровень воздействия, загрязнение, нарушенность и т. д.). Это могут быть карты лесоперерабатывающей промышленности, горнодобывающей промышленности, водного и сельского хозяйства, промыслового природопользования в зависимости от географического положения территории [Национальный атлас России. Население. Экономика, 2008; Забайкалье. Атлас, 1967].

Гораздо более широко представлены так называемые отраслевые карты – опосредованно, не всегда функционально связанные с природой (обрабатывающая, пищевая, машиностроительная промышленность и т.д.). Полнота содержания карт зависит от целого ряда факторов (наличие и доступность информации, ее полнота и др.).

Внутри каждой из этих групп можно отметить интегральные карты, связанные с выделением и картографированием природных и обществен-

ных территориальных комплексов. Например, карта «Сельскохозяйственное использование земель (юг области)» м. 1:1 500 000 [Атлас Тюменской области, вып. II, 1976].

4. Экологические аспекты природопользования. Первоначальное внимание к экологическим аспектам изучения природных сред (геологическая, почвенная, биологическая) способствовало появлению карт, которые обогатили характеристику особенностей природной окружающей среды целым рядом показателей, проявляющих взаимодействие и взаимосвязи между нею и хозяйственной деятельностью общества – устойчивость природных компонентов к антропогенным воздействиям (выбросы вредных веществ, выпас скота, промышленное воздействие и др.) или их трансформацию вследствие такого воздействия (загрязнение, нарушенность, деградация), способность противостоять негативным последствиям (самоочищение рек, восстановление плодородия почв, возобновление растительного покрова и др.). Отдельные карты можно встретить в общих комплексных атласах, но много шире они представлены в комплексных специализированных экологических атласах [Экологический атлас России, 2002, 2017; Атлас. Иркутская область. Экологические условия развития, 2004]. Появление таких карт способствовало формированию научной основы для разработки прогностических моделей.

Картографирование последствий природопользования развилось в отдельное эколого-географическое направление. В современном атласном картографировании наилучшим образом представлен геоэкологический аспект природопользования. Он получил реализацию в специализированных экологических атласах федерального и регионального уровня [Тикунов и др., 2012]. Вся широта тематического спектра карт, освещающих геоэкологические аспекты, традиционно распределяется по следующим разделам атласов:

1. Природные условия. 2. Воздействие хозяйственной деятельности на природную среду. 3. Последствия воздействий и состояние окружающей среды (реже ресурсов). 4. Природоохранные мероприятия. 5. Мониторинг и управление природопользованием. 6. Среда обитания и состояние здоровья человека. Из них, пожалуй, наименее всего разработаны карты раздела Управление природопользованием. Они ограничиваются главным образом картами мониторинга, скорее представляющих информационную базу управления нежели само управление.

5. Мониторинг и управление природопользованием, как и его оптимизация делают первые шаги, но обнадеживают перспективами повышения их практической значимости. Как правило, они базируются на достижениях современных геоинформационных

технологий. Подтверждением тому может быть «Электронный атлас земель сельскохозяйственного назначения»*.

Дальнейшее продвижение картографических исследований природопользования нацелено на изучение совокупности прямых и обратных связей в системе «природа-общества» в целом (общие типологические, районирования), так и в отдельных областях их проявления (промышленность, охрана природы, здоровье населения и др.) посредством разработки интегральных карт и частных оригинальной тематики, раскрывающих отдельные стороны природопользования, лимитирующие факторы природопользования, конфликты или гармоничность ресурсо- и средопользования. Их подготовке способствует широкое использование космических снимков, приемов математико-картографического моделирования и компьютерных технологий.

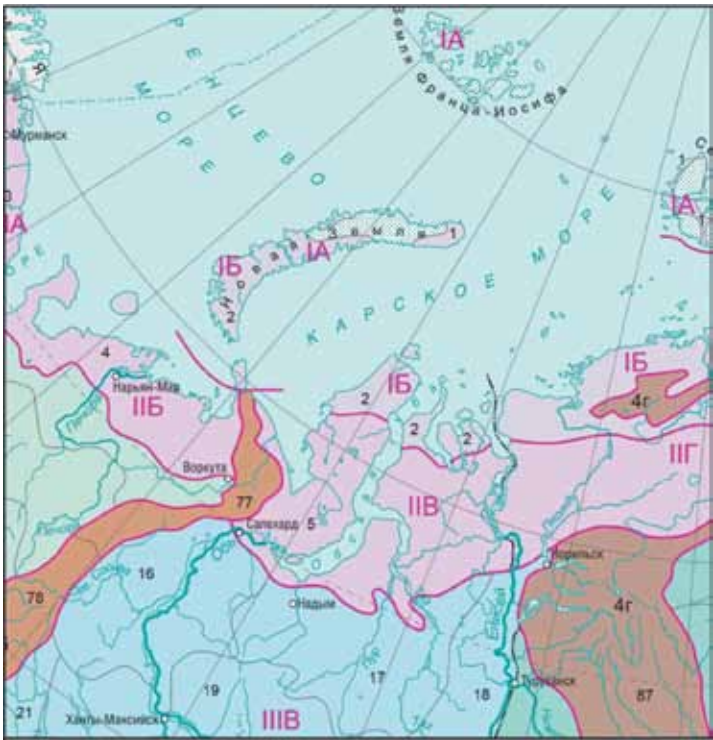
В настоящее время имеются примеры разработки таких новационных карт природопользования. Одна из них – карта «Природно-хозяйственное районирование России» м. 1 : 20 000 000 [Экологический атлас России, 2017], составленная на основе дешифрирования космических снимков с применением морфологического анализа территории. Карта отражает реальную картину дифференциации территории России на районы с различной пространственно-временной структурой природопользования, исторически сложившейся в определенных природных, этно-социальных и экономических условиях (рис. 1). Всего выделено 110 равнинных и горных районов, передающих зональные, региональные и локальные особенности взаимодействия хозяйственной деятельности с природной средой [Воробьева, 2017].

В качестве карты регионального уровня можно назвать экологическую карту из Атласа Удмуртской Республики, где оценки экологических проблем привязаны к выделам географических типов и подтипов природопользования, увязанных с закрепленными в современном законодательстве видами использования земель [Стурман, 2015]. На карте выделены типы природопользования: промышленно-урбанистический, сельско-, лесо- и водохозяйственные и факторы, определяющие их трансформацию.

При разработке карт природопользования наряду с ситуационным подходом используется проблемный, когда предметом исследования становится интегральное представление той или иной проблемы природопользования как совокупности взаимодействия факторов и причин ее появления. Такой подход ведет к разработке карт оригинальной тематики, как например выявление и картографирование конфликтов природопользования. Примером может быть карта «Конфликты природопользования» м. 1 : 20 000 000 (рис. 2) [Экологический атлас России, 2017].

*

Электронный ресурс: <http://docs.cntd.ru/document/456083102> (дата обращения 5.06.2019 г.).



ПРИРОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЗОНА	ПРОВИНЦИЯ	РАЙОН
I. Полярно-промысловая консервационного назначения с фрагментарным крайне экстенсивным освоением	A Арктическая северная островная	1 Северо-островной
	Б Арктическая островная и край континентальная	2 Южно-островной и край континентальный
II. Тундрово-оленьеводческая и промысловая традиционного экстенсивного освоения с очагами интенсивной горнодобывающей промышленности	Б Северо-Европейская	4 Канинско-Большеземельский
	В Западно-Сибирская	5 Ямало-Гыданский
	Г Среднесибирская	6 Таймыро-Хатангский
III. Лесохозяйственная с интенсивными промышленными лесозаготовками, крупными промышленными центрами, очагами добывающей промышленности и с экстенсивным сельским хозяйством животноводческого направления	Б Двинско-Печорская	12 Северный Двинско-Печорский
	В Западно-Сибирская	16 Сосьвинско-Белогорский
		17 Надым-Пурский
		18 Нижне-Енисейский
		19 Центральноприобский
		20 Приобско-Иртышский
	Г Среднесибирская	25 Центральнo-Тунгусский
	Область	Район
	2Б Уральская	77 Полярный и приполярный
		78 Северо-Уральский
	4Г Среднесибирская	87 Путоранский

Рис. 1. Фрагмент легенды и карты «Природно-хозяйственное районирование России». Автор Т.А. Воробьева.
 Fig. 1. Part legend and map « Natural and economic zoning of Russia». Author T.A. Vorobyova.

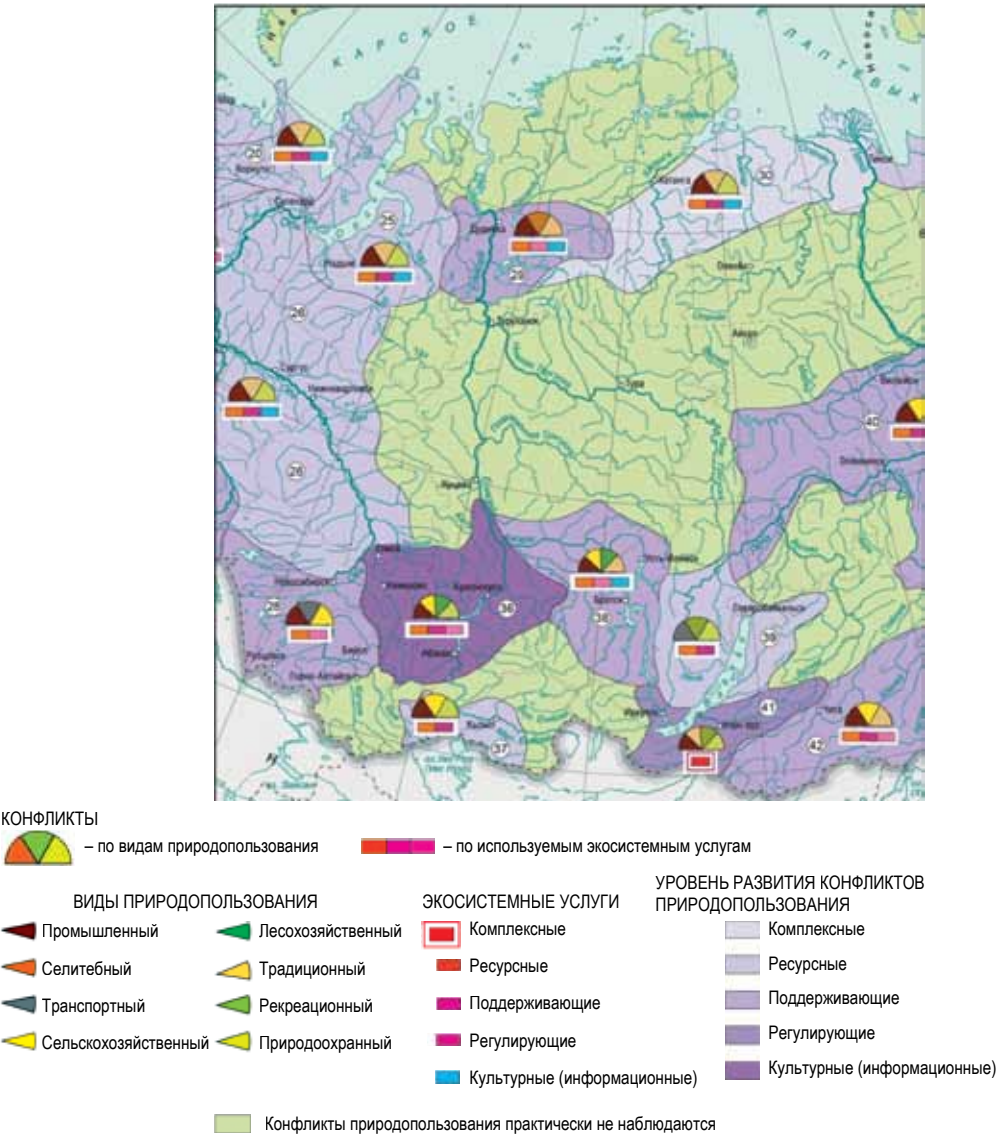


Рис. 2. Фрагмент и легенда карты «Конфликты природопользования». Автор Т. М. Красовская.
Fig. 2. Part and legend of the map «Conflicts of nature management». Author T. M. Krasovskaya.

На карте отражены участки территории, различающиеся по уровню развития конфликтов природопользования на пять категорий от относительно низкого до очень высокого. В пределах этих ареалов диаграммой показаны конфликты между различными видами природопользования по пяти видам используемых экосистемных услуг: комплексные, ресурсные, поддерживающие, регулирующие и культурные.

Следует ожидать разработки новых интегральных карт, раскрывающих особенности природопользования территорий разного уровня.

Как отмечалось выше, полное и разностороннее представление о природопользовании территорий (национального и регионального уровней) может дать комплексное атласное произведение реализованное в бумажной версии или в ГИС – формате. В настоящее время становится актуальным обращение к вопросам подготовки атласов природопользования, которые ранее получили наиболее полное освещение в работах академической и университетской школ географической картографии [Комплексные региональные атласы, 1976; Руденко и др., 1991; Научная концепция..., 1997; Атласное картографирование..., 2015].

С учетом проведенного анализа атласного картографирования предложен пилотный проект федерального Атласа природопользования с возможностью реализации в сжатые сроки [Воробьева, Котова, 2019]. Атлас должен включать следующие разделы:

1. Историю природопользования (формирование сфер природопользования).
2. Основные географические особенности территории РФ, определяющие специфику природопользования (территориальные ресурсы, размещение населения, административное деление и т.д.) на национальном уровне и, отчасти, в глобальном контексте.
3. Природно-ресурсный потенциал природопользования.
4. Территориальную структуру природопользования.
5. Последствия природопользования и перспективы его рационализации.

В соответствии с обозначенными требованиями в атласе планируется пять разделов: I. Вводный, II. Природно-ресурсная база природопользования, III. Типы и структура природопользования, IV. Экологические последствия природопользования, V. Перспективы и управление природопользованием. При этом методологической и отчасти информационной основой разворота работ по подготовке атласов на основе концепций природопользования послужит накопленный опыт атласного картографирования. Для достижения этой цели необходима активизация усилий для решений следующих задач:

- 1) разработка концепций атласов природопользования (общих и отраслевых) с учетом современных теоретических разработок по изучению природопользования, в частности по классификации для целей картографирования [Систематизация и типологическая классификация природопользования, 2015];
- 2) предложения по структуре и списку карт в соответствии с концепцией атласов;

- 3) разработка методик подготовки комплексных и отраслевых атласов природопользования;
- 4) разработка структуры информационной базы по природопользованию.

Выводы

Современные запросы общества в связи с новыми тенденциями развития взаимодействия в системе природа – общества нуждаются в полноценном информационном обеспечении. В последние десятилетия экономические и экологические вызовы способствовали активизации теоретической и научно-методической базы атласного картографирования и развитию его в русле новой отрасли – картографирование природопользования. Перспективы картографического изучения природопользования тесно связаны с атласными разработками, особенно с развитием электронного атласного картографирования, реализуемого в ряде регионов в целях обеспечения устойчивого развития [Снытко и др., 2003]

Становление атласного картографирования природопользования как отдельного направления, стремление к объективизации, полноте содержания и более глубокому раскрытию взаимосвязей в системе природопользования потребует:

- дальнейшей разработки интегральных карт природных (ПТК), территориально-производственных (ТПК) и территориальных комплексов расселения (ТКН), реализованных в виде карт типологических или районирования;
- создание карт, раскрывающих возможности развития альтернативных видов хозяйственной деятельности, оказывающих более щадящее воздействие на природную среду;
- разработки инновационных оценочных карт, раскрывающих не только экономическую значимость природной ресурсной базы природопользования, но и экосистемных функций природной среды;
- проблемных карт, вскрывающих противоречия и конфликты между различными природопользователями, осуществляющими свою деятельность в пределах определенных районов; меры по их сглаживанию и гармонизации.

Для их разработки необходимо определение комплексных и интегральных показателей и критериев в зависимости от концепции карты, которые позволяют оценить и отразить эффективность использования природно-ресурсного потенциала территории, а также масштабы экологических последствий хозяйственной деятельности и особенности социально-экономического развития. Продвижение атласного картографирования в русле но-

вой отрасли «Природопользование» согласуется с интегративными тенденциями в развитии географической картографии.

Анализ комплексных атласов показал:

- 1) наиболее полные системные знания о природопользовании могут дать комплексные атласы, являющиеся основой дальнейшего развития методологии картографирования природопользования и отчасти его информационной базой (с учетом временных аспектов);
- 2) для перехода атласного картографирования на освещение природопользования необходимо решение ряда первоочередных обозначенных задач.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке РНФ, грант № 20-47-01001.

Библиографический список

1. Атлас Алтайского края. Т. 2. М.; Барнаул: ГУГК, 1980. 235 с.
2. Атлас. Иркутская область. Экологические условия развития. М.: Иркутск, 2004. 92 с.
3. Атлас Ленинградской области. М.: ГУГК, 1967. 82 с.
4. Атласное картографирование: традиции и инновации. Материалы X научной конференции по тематической картографии, Иркутск, 22–24 октября 2015 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. 228 с.
5. Атлас Республики Коми. М.: Изд-во «Феория», 2011. 448 с.
6. Атлас Сахалинской области. М.: ГУГК, 1967. 135 с.
7. Атлас Тюменской области. Вып. II. М. Тюмень: ГУГК, 1976. 227 с.
8. Атлас Удмуртской Республики. М. Ижевск: Изд-во «Феория», 2016. 339 с.
9. Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Т. I. История. Население. Экономика. Ханты-Мансийск. М., 2006. 152 с.
10. Воробьева Т.А. Природно-хозяйственное районирование России. ИнтерКарто. ИнтерГИС 23. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата: Материалы Междунар. конф, М.: Изд-во Моск. ун-та, том 23, часть 1. С. 108–117. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-108-117.
11. Воробьева Т.А., Зенгина Т.Ю. Методические аспекты системного картографирования природопользования. Рациональное природопользование: теория, практика, образование. М.: Географический факультет МГУ, 2012. С. 50–65.
12. Воробьева Т.А., Котова Т.В. Природопользование: проект комплексного атласа России. Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции 6–8 ноября. Санкт-Петербург. СПб: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2019. 596 с.

13. Забайкалье. Атлас. М., Иркутск: ГУГК, 1967. 176 с.
14. Касимов Н. С., Котова Т. В., Тикунов В. С. Экологический атлас России: новый проект. Материалы международной конференции «Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт», 2011. С. 277–282.
15. Комплексные региональные атласы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 638 с.
16. Научная концепция и программа Атласа земель России. М., 1997. 76 с.
17. Национальный атлас России. Т. 2. Природа. Экология. М.: Роскартография, 2007. 496 с.
18. Национальный атлас России. Т. 3. Население. Экономика. М.: Роскартография, 2008. 496 с.
19. Природные ресурсы и экология России: Федеральный атлас. М., 2003. 280 с.
20. Руденко Л.Г., Пархоменко Г.О., Молочко А.Н. и др. Картографические исследования природопользования (теория и практика работ). Киев: Наук. думка, 1991. 212 с.
21. Систематизация и типологическая классификация природопользования. Методологический семинар кафедры рационального природопользования. 2015, вып. № 1. 72 с.
22. Снытко В.А., Батуев А.Р., Башалханов И.А., Кузнецова Т.И., Макаренко Е.Л., Бардаш А.В., Богданов В.Н. Электронное атласное картографирование для обеспечения устойчивого развития Сибири. География и природные ресурсы, 2003, № 3. С. 16–26.
23. Стурман В.И. Картографирование природопользования в экологическом разделе регионального атласа. Известия Русского географического общества, 2015. Т. 147, вып. 4. С. 1–8.
24. Тикунов В.С., Касимов Н.С., Котова Т.В., Рыбальский Н.Г. Атласное экологическое и природно-ресурсное картографирование России. Использование и охрана природных ресурсов в России, 2012, № 6 (126). С. 57–64.
25. Экологический атлас России. М.: Карта, 2002. 128 с.
26. Экологический атлас России. М.: Изд-во «Феория», 2017. 510 с.

References

1. Atlas of Altai Territory. T. 2. Moscow–Barnaul: GUGK, 1980. 235 p. (in Russian).
2. Atlas of Irkutsk region. Environmental conditions of development. Moscow - Irkutsk, 2004. 92 p. (in Russian).
3. Atlas of Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra. T. I. History. Population. Economy. Khanty-Mansiysk; Moscow. 2006. 152 p. (in Russian).
4. Atlas of Komi Republic. Moscow: Publishing «Feoria», 2011. 448 p. (in Russian).
5. Atlas of Leningrad region. Moscow: GUGK, 1967. 82 p. (in Russian).
6. Atlas mapping: traditions and innovations. Proceedings of the X scientific conference on thematic cartography. Irkutsk, 22–24 October

2015. Irkutsk: Publishing of Sochava Institute of geography, 2015. 228 p.
7. Atlas of Sahalinsk region. Moscow: GUGK, 1967. 135 p. (in Russian).
 8. Atlas of Tyumen region. Issue II. Moscow; Tyumen: GUGK, 1976. 227 p. (in Russian).
 9. Atlas of Udmurtian Republic. Moscow; Izhevsk: Publishing «Feoria», 2016. 339 p. (in Russian).
 10. Complex regional atlases. Moscow: Mosc. University, 1976. 638 p. (in Russian).
 11. Ecological Atlas of Russia. Moscow: Karta, 2002. 128 p. (in Russian).
 12. Ecological Atlas of Russia. Moscow: Publishing «Feoria», 2017. 510 p. (in Russian).
 13. Kasimov N.S., Kotova T.V., Tikunov V.S. Ecological Atlas of Russia: new project. Proceedings of the international conference «Sustainable development of territories: GIS theory and practical experience», 2011. P. 277–282. (in Russian).
 14. National Atlas of Russia. V.2. Nature. Ecology. Moscow: Roskartography, 2007. 496 p. (in Russian).
 15. National Atlas of Russia. V.3. Population. Economy. Moscow: Roskartography, 2007. 496 p. (in Russian).
 16. Natural resources and ecology of Russia: Federal Atlas. Moscow, 2003. 280 p. (in Russian).
 17. Rudenko L.G., Parkhomenko G.O., Moloshko A.N. et al. Cartographic studies of nature management (theory and practice of works). Kyiv: Nauk. Dumka, 1991. 212 p. (in Russian).
 18. Scientific concept and program of Atlas of Russian lands. Moscow, 1997. 76 p. (in Russian).
 19. Snytko V.A., Batuev A.R., Bashalhanov I.A., Kuznetsova T.I., Makarenko E.L., Bardach A.V., Bogdanov V.N. Electronic Atlas mapping for sustainable development of Siberia. Geography and natural resources, 2003, No 3. P. 16–26. (in Russian).
 20. Sturman V.I. Mapping of nature management in the ecological section of the regional Atlas. Proceedings of the Russian geographical society, 2015. T. 147, issue 4. P. 1–8 (in Russian).
 21. 2. Systematization and typological classification of nature management. Methodological seminar of the Department of environmental management. 2015.V. No 1. P. 47–63 (in Russian).
 22. Tikunov V.S., Kasimov N.S., Kotova T.V., Rybalsriy N.G. Atlas ecological and natural resource mapping of Russia. Use and protection of natural resources in Russia, 2012, No 6. P. 57–64 (in Russian).
 23. Transbaikalia. Atlas. Moscow; Irkutsk: GUGK, 1967. 176 p. (in Russian).
 24. Vorobyova T.A. Natural and economic zoning of Russia. InterCarto. InterGIS 23. Geoinformation support of sustainable development of territories in the conditions of global climate change. Proceedings of the international conference. Moscow: Mosc. University. V. 23, part 1. P. 108–117. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-108-117 (in Russian).

25. Vorobyova T.A., Kotova T.V. Nature management: project of complex Atlas of Russia. Collection of materials of the III all-Russian scientific and practical conference 06-08 November. Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Publishing house of RSPU. A.I. Herzen, 2019. 596 p. (in Russian).
26. Vorobyova T.A., Zengina T.U. Methodological aspects of system mapping nature management. Rational nature management: theory, practice, education. Moscow: Geographical faculty MSU, 2012. P. 50–65 (in Russian).

**Поступило в редакцию 28.02.2020,
принята к публикации 02.03.2020.**

Об авторах

- Воробьева** Татьяна Александровна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, МГУ, Ленинские горы, д. 1, tvorobyova@yandex.ru.
- Котова** Татьяна Викторовна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, МГУ, Ленинские горы, д. 1, tatianav.kotova@yandex.ru
- Слипенчук** Михаил Викторович, доктор экономических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, МГУ, Ленинские горы, д. 1, slip@metropol.ru.
- Тикун** Владимир Сергеевич, доктор географических наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, МГУ, Ленинские горы, д. 1, vstikunov@yandex.ru.

About the authors

- Vorobyova** Tatiana Aleksandrovna, Ph.D (Geography), senior scientific researcher, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia, tvorobyova@yandex.ru
- Kotova** Tatiana Viktorovna Ph.D (Geography), leading scientific researcher, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia, tatianav.kotova@yandex.ru.
- Slipenchuk** Mikhail Viktorovich, Doctor (Economy), professor, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia, slip@metropol.ru.
- Tikunov** Vladimir Sergeevich, Professor, Lomonosov Moscow state university, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, vstikunov@yandex.ru.

25.00.36
УДК 504.3.054 (470.63)

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Мовсесова В.В.*,
Блужина А.С.,
Бакуменко И.А.

«Северо-Кавказский федеральный университет»,
Ставрополь,
Россия
*viktoriya-movsesova@yandex.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ СУЛЬФАТОВ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ Г. СТАВРОПОЛЯ МЕТОДАМИ БИОИНДИКАЦИИ

Введение.

Древесные зеленые насаждения, являясь зеленым каркасом городов, отвечают на экологические изменения окружающей среды. В связи с увеличением площади городов, повышается уровень загрязнения атмосферного воздуха. Уровень сульфатного загрязнения атмосферного воздуха города Ставрополя можно проследить через определение уровня содержания сульфатов в коре древесных растений.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводились в течение осеннего и весеннего периодов. Содержание сульфатов в древесных растениях определялось в водной вытяжке коры в соответствии с положениями РД 52.24.405-2005 Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений турбидиметрическим методом. В ходе работ выявились особенности аккумуляции серы различными видами деревьев, осуществляется поиск коррелятивных связей между количеством сульфатов в коре деревьев и величиной pH как индикационных признаков серного загрязнения. Результаты исследований и их обсуждение.

Результаты исследований и их обсуждение.

Для характеристики загрязнения воздуха соединениями серы в г. Ставрополе было отобрано 51 проба коры, – в том числе 9 – образцов липы (*Tilia*), 9 – тополя (*Pópulus*), 13 – клен (*Acer*), 9 – дуб (*Quercus*), 11 – сосны (*Pínus*). В результате пространственного анализа распределения сульфатов в коре, можно разделить территорию г. Ставрополя на 3 зоны. Зона 1- Парк Победы, Таманский лес, Центральный парк, МКР Демино, данные районы были выбраны в качестве фоновых точек, они испытывающие минимальную техногенную нагрузку характеризуется с низкими значениями содержания сульфатов в коре деревьев; К зоне 2 со средними значениями содержания сульфатов в коре деревьев относятся: ул. Лермонтова, Герцена, Военный Госпиталь № 1166 МО РФ ФГУ, МКР – Демино (котельная), на данных территориях наблюдается повышение концентрации – сульфатов, но незначительно, это связано в большей степени с удаленностью от основных источников антропогенного загрязнения, а также с использованием в озеленении территорий газоустойчивых древесные растения с пониженной способностью коры – к газонакоплению. К зонам 3 с наиболее высокой интенсивностью сульфатного загрязнения коры древесных растений, относятся: ОАО Ставропольский радиозавод «Сигнал», ОАО Молочный комбинат «Ставропольский» (МКС), ул. Кулакова, Центр города (Сквер), ул. Доваторцев, ЗАО «Красный металл», это связано как с выбросами предприятий промышленного производства, так и с выхлопными газами на основных автомагистралях г. Ставрополя.

Выводы.

Наиболее чувствительным индикатором сульфатного загрязнения являются доминирующая в зеленых насаждениях липа (*Tilia*) и клен (*Acer*). Высокая корреляционная зависимость между величиной pH и содержанием сульфатов в коре этого вида позволяет использовать показатель кислотности как надежный критерий в оценке степени сульфатного загрязнения.

Ключевые слова:

биоиндикация, атмосферный воздух, сульфаты в коре, сульфатное загрязнение, pH, корреляция.

Movsesova V.V.*,
Bluzhina A.S.,
Bakumenko I.A.
North-Caucasus Federal University,
Stavropol,
Russia
*viktoriya-movsesova@yandex.ru

Environmental Assessment of the Sulfate Content in the Air of the City of Stavropol Using Bioindication Methods

- Introduction.** Green woodlands, being the green framework of cities, respond to environmental changes in the environment. Due to the increase in the area of cities, the level of air pollution increases. The level of sulfate pollution of atmospheric air in the city of Stavropol can be traced through the determination of the level of sulfate content in the bark of woody plants.
- Materials and methods of the research.** Studies were conducted during the autumn and spring periods. The content of sulfates in woody plants was determined in an aqueous extract of bark in accordance with the provisions of RD 52.24.405-2005 Mass concentration of sulfates in water. Measurement technique by turbidimetric method. In the course of the work, the features of sulfur accumulation by various tree species were revealed; correlative relationships between the amount of sulfates in the tree bark and the pH value as indicative signs of sulfur pollution are searched.
- Results of the study and their discussion.** To characterize air pollution with sulfur compounds in the city of Stavropol, 51 bark samples were taken, including 9 – samples of linden (*Tilia*), 9 – poplar (*Pópulus*), 13 – maple (*Ácer*), 9 – oak (*Quercus*), 11 – pine trees (*Pínus*). The analysis results — pH values and sulfate content in the tree bark — are statistically processed. As a result of spatial analysis of the distribution of sulfates in the crust, it is possible to divide the territory of Stavropol into 3 zones. Zone 1- Victory Park, Taman Forest, Central Park, Demino MDC, these areas were selected as background points, they are experiencing minimal technogenic load and are characterized by low sulfate content in the tree bark; Zone 2 with average sulfate content in the tree bark includes: ul. Lermontov, Herzen, Military Hospital No. 1166 of the Ministry of Defense of the Russian Federation Federal State Institution, MKD Demino (boiler room), in these areas there is an increase in the concentration of sulfates, but not significantly, this is largely due to the remoteness from the main sources of anthropogenic pollution, as well as to the use of gas-resistant areas in landscaping woody plants with a reduced ability to bark for gas accumulation. Zones 3 with the highest intensity of sulphate pollution of the bark of woody plants include: OJSC Stavropol Radio Plant «Signal» OJSC Milk Plant «Stavropol» (ISS), ul. Kulakova, City Center (Square), st. Dovatorsev, CJSC Red Metalist, this is connected both with emissions of industrial enterprises and with exhaust gases on the main highways of the city of Stavropol.
- Conclusions.** The most sensitive indicators of sulfate pollution are linden (*Tilia*) and maple (*Ácer*) dominant in green spaces. The high correlation between the pH value and the sulfate content in the crust of this species makes it possible to use the acidity indicator as a reliable criterion in assessing the degree of sulfate contamination.
- Keywords:** bioindication, atmospheric air, sulfates in the crust, sulfate pollution, pH, correlation.

Введение

В современных реалиях городская среда становится все более уязвимой к различного рода загрязнениям. Не исключением стал и атмосферный воздух. Рост количества автомобилей и промышленных предприятий приводит к ухудшению экологического состояния городской среды. В связи с активно развивающейся застройкой города Ставрополя, имеющаяся система стационарных постов наблюдения за атмосферным воздухом устарела. В отсутствие автоматизированных систем контроля представляется возможным использовать растения в качестве индикаторов состояния атмосферного воздуха. Важность использования растений в качестве основы для разработки мер контроля загрязнения среды обусловлена исключительной чувствительностью высших и низших растений или их специфическими реакциями на конкретные загрязнители [1, 3].

Материалы и методы исследований. В течение осеннего и весеннего периода времени проводились отборы проб коры, для определения интенсивности загрязнения воздуха соединениями серы, на территории г. Ставрополя. Содержание сульфатов древесными растениями определялось в водной вытяжке коры в соответствии с положениями РД 52.24.405-2005 Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений турбидиметрическим методом [2]. В ходе работ выявились особенности аккумуляции серы различными видами деревьев, осуществляется поиск коррелятивных связей между количеством сульфатов в коре деревьев и величиной pH как индикационных признаков серного загрязнения.

Результаты исследований и их обсуждение

Для характеристики загрязнения воздуха соединениями серы в г. Ставрополе было отобрано 51 проба коры, – в том числе 9 – образцов липы (*Tilia*), 9 – тополя (*Pópulus*), 13 – клен (*Ácer*), 9 – дуб (*Quercus*), 11 – сосны (*Pínus*). Результаты анализа – величины pH и содержание сульфатов в коре деревьев – статистически обработаны.

Выявлены специфические особенности накопления сульфатов корой различных видов деревьев (табл. 1).

По возрастанию средних показателей содержания сульфатов в коре различных видов деревьев можно разместить в следующий ряд: тополь (*Pópulus*) – дуб (*Quercus*) – клен (*Ácer*) – липа (*Tilia*)– сосна (*Pínus*).

Существует прямая корреляционная зависимость между поврежденностью растений и интенсивностью газообмена: среднеустойчивые виды поглощают на 42%, а неустойчивые – на 100% больше сульфатов, чем устойчивые. Исследования по оценке функционального состояния городских растений Ставрополя, показали, что липа (*Tilia*), клен (*Ácer*) и сосна (*Pínus*) наиболее чувствительны к воздействию воздушных поллютантов, вызываю-

Таблица 1. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЕЛИЧИНЫ pH КОРЫ ДЕРЕВЬЕВ И СО-
ДЕРЖАНИЯ В НЕЙ СУЛЬФАТОВ
Table 1. Statistical indicators of the pH of tree bark and its sulfate content

№ пробы	Место расположения пробы	pH	Содержание SO4 ²⁻ , мг/л
1.	ОАО Ставропольский радиозавод «Сигнал», Тополь (Pópulus)	7,19	4,9
2.	ОАО Ставропольский радиозавод «Сигнал», Клен (Ácer)	6,66	8
3.	ОАО Ставропольский радиозавод «Сигнал», Сосна (Pínus)	6,65	10
4.	ОАО Ставропольский радиозавод «Сигнал», Липа (Tília)	6,57	9,2
5.	ОАО Ставропольский радиозавод «Сигнал», Дуб (Quercus)	5,15	5,4
6.	ул. Лермонтова, Тополь (Pópulus)	6,98	3,6
7.	ул. Лермонтова, Сосна (Pínus)	5,26	8,1
8.	ул. Лермонтова, Клен (Ácer)	7,36	6,2
9.	ул. Лермонтова, Липа (Tília)	7,25	6,3
10.	ОАО Молочный комбинат «Ставропольский» (МКС), Тополь (Pópulus)	7,26	5,4
11.	ОАО Молочный комбинат «Ставропольский» (МКС), Липа (Tília)	7,20	9
12.	ОАО Молочный комбинат «Ставропольский» (МКС), Клен (Ácer)	7,37	8
13.	ОАО Молочный комбинат «Ставропольский» (МКС), Сосна (Pínus)	5,19	10
14.	ул. Кулакова, Клен (Ácer)	6,88	6,4
15.	ул. Кулакова, Липа (Tília)	5,42	7,3
16.	ул. Кулакова, Тополь (Pópulus)	7,06	4,5
17.	ул. Кулакова, Сосна (Pínus)	5,19	10
18.	ул. Доваторцев, Тополь (Pópulus)	7,60	4,6
19.	ул. Доваторцев, Липа (Tília)	6,80	10
20.	ул. Доваторцев, Дуб (Quercus)	6,36	5,3
21.	ул. Доваторцев, Клен (Ácer)	6,73	8,8
22.	ул. Доваторцев, Сосна (Pínus)	5,44	9
23.	ЗАО «Красный металлист», Тополь (Pópulus)	7,07	5,4

№ пробы	Место расположения пробы	рН	Содержание SO ₄ ²⁻ , мг/л
24.	ЗАО «Красный металлист», Клен (Ácer)	7,38	8,7
25.	ЗАО «Красный металлист», Дуб (Quercus)	7,21	5,6
26.	ЗАО «Красный металлист», Липа (Tília)	6,33	9
27.	ЗАО «Красный металлист», Сосна (Pínus)	6,37	10
28.	Центральный парк, Дуб (Quercus)	5,94	2
29.	Центральный парк, Сосна (Pínus)	6,60	3,5
30.	Центральный парк, Клен (Ácer)	6,73	2,6
31.	Центральный парк, Липа (Tília)	6,18	3,6
32.	Центральный парк, Тополь (Pópulus)	8,22	1,7
33.	Центр города (Сквер), Клен (Ácer)	6,93	6,3
34.	Центр города (Сквер), Тополь (Pópulus)	7	3,7
35.	Центр города (Сквер), (Липа) (Tília)	6,60	7,3
36.	Центр города (Сквер), (Дуб) (Quercus)	6,34	4,5
37.	Центр города (Сквер), Сосна (Pínus)	4,60	8
38.	Парк Победы, Липа (Tília)	6,48	4,3
39.	Парк Победы, Сосна (Pínus)	5,90	3,5
40.	Парк Победы, Клен (Ácer)	6,93	2,6
41.	Парк Победы, Дуб (Quercus)	6,55	1,7
42.	Герцена, Военный Госпиталь № 1166 МО РФ ФГУ, Клен (Ácer)	6,97	1,8
43.	Герцена, Военный Госпиталь № 1166 МО РФ ФГУ, Дуб (Quercus)	6,37	2,1
44.	Таманский лес, Дуб (Quercus)	6,20	1,6
45.	Таманский лес, Клен (Ácer)	6,65	1,8
46.	МКР – Демино (котельная), Клен (Ácer)	6,73	6,2
47.	МКР – Демино (котельная), Тополь (Pópulus)	5,38	4,5
48.	МКР – Демино (котельная), Сосна (Pínus)	6,47	9,8
49.	МКР – Демино (котельная), Дуб (Quercus)	6,13	4,5
50.	МКР Демино, Клен (Ácer)	6,24	2,6
51.	МКР Демино, Сосна (Pínus)	4,20	3,5

щих хлороз, некроз, и другие повреждения листьев. Тополь (*Pópulus*) и дуб (*Quercus*) в этих условиях проявляют большую устойчивость.

Наиболее четко особенности в накоплении сульфатов различными видами деревьев проявились при анализе концентраций сульфатов в пробах коры, отобранных с совместно произрастающих деревьев. Установлено, что почти на всех исследованных пробных площадках кора тополя (*Pópulus*) содержит наименьшее количество сульфатов, а в коре липы (*Tilia*) и сосны (*Pínus*) отмечается максимальное их количество.

При анализе значений pH коры деревьев разных видов также выявлены ряд особенностей. Судя по средним значениям, наиболее кислая кора у сосны (*Pínus*) (что характерно для хвойных), затем следуют дуб (*Quercus*), липа (*Tilia*), клен (*Ácer*), тополь (*Pópulus*). Величина pH у тополя (*Pópulus*) – колеблется в очень широких пределах – от 5,38 до 8,22 однако среднее значение выше, чем у всех остальных видов. Среди листопадных деревьев средняя величина pH ниже всего у дуба (*Quercus*), но возможно это связано с малой выборкой.

Показатель pH в коре деревьев, как правило, тесно связан с содержанием сульфатов, но в условиях комплексного загрязнения атмосферы эта зависимость уже не является столь четкой. На примере липы (*Tilia*) и сосны (*Pínus*) очень ясно прослеживается уменьшение pH при росте содержания сульфатов – кора становится более кислой.

Это позволяет утверждать, что липа (*Tilia*) и сосна (*Pínus*) – наиболее чувствительные индикаторы загрязнения атмосферы сернистым ангидридом, а широкое распространение этого вида в озеленении дает возможность объективно оценивать степень сульфатного загрязнения городской среды с помощью метода фитоиндикации при использовании такого доступного и экономически выгодного показателя, как pH. Клен (*Ácer*) тоже является чутким индикатором, в зеленых насаждениях он встречается также часто, эти индикаторы могут дать правильное представление о пространственном распределении воздушных поллютантов [4].

Анализируя пространственное распределение сульфатов по их содержанию в коре, можно разделить территорию г. Ставрополя на 3 зоны (рис. 1).

- Зоны 1 — характеризуется с низкими значениями содержания сульфатов в коре деревьев;
- Зоны 2 — характеризуется со средними значениями содержания сульфатов в коре деревьев;
- Зоны 3 — с высоким содержания сульфатов в коре деревьев.

К зонам 1 с низкими значениями содержания сульфатов в коре деревьев относятся: Парк Победы, Таманский лес, Центральный парк, МКР Демино, данные районы были выбраны в качестве фоновых точек, они испытывающие минимальную техногенную нагрузку.

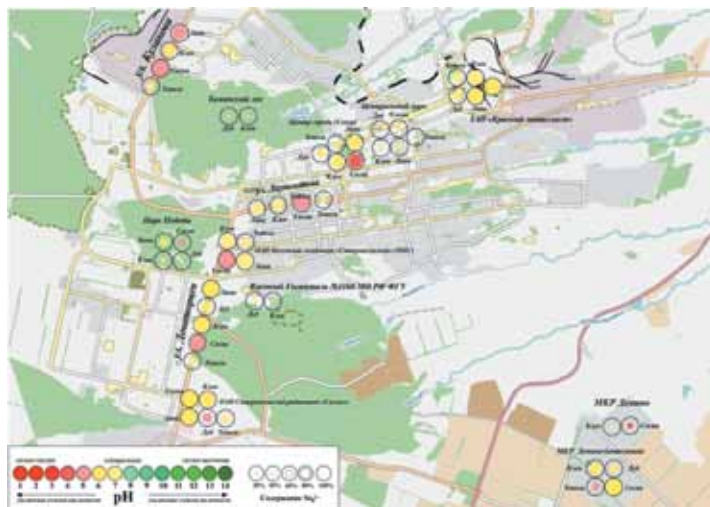


Рис. 1.

Пространственное распределение сульфатов по их содержанию в коре на территории города Ставрополя.

Fig. 1 The spatial distribution of sulfates by their content in the crust on the territory of the city of Stavropol

К зонам 2 со средними значениями содержания сульфатов в коре деревьев относятся: ул. Лермонтова, Герцена, Военный Госпиталь № 1166 МО РФ ФГУ, МКР – Демино (котельная), на данных территориях наблюдается повышение концентрации – сульфатов, но незначительно, это связано в большей степени с удаленностью от основных источников антропогенного загрязнения, а также с использованием в озеленении территорий газоустойчивых древесных растений с пониженной способностью коры – к газонакоплению.

К зонам 3 с наиболее высокой интенсивностью сульфатного загрязнения коры древесных растений, относятся: ОАО Ставропольский радиозавод «Сигнал», ОАО Молочный комбинат «Ставропольский» (МКС), ул. Кулакова, Центр города (Сквер), ул. Доваторцев, ЗАО «Красный металлист», это связано как с выбросами предприятий промышленного производства, так и с выхлопными газами на основных автомагистралях г.Ставрополя.

Выводы. На всех исследованных пробных площадках кора тополя (*Rópusulus*) характеризуется максимальной устойчивостью к серосодержащим соединениям, что выражается у них низким значением концентрации сульфатов в коре. Наиболее низкой – интенсивностью поглощения сульфатов также обладает кора дуба (*Quercus*), в условиях повышенного содержания двуокиси серы в воздухе, кора накапливает не большое количество сульфатов, что подтверждают полученные результаты. Установлено, что высокой серопоглоща-

ющей способностью обладает кора клена (*Ácer*), липы (*Tilia*) и сосны (*Pínus*). Кора липы (*Tilia*) является хорошим поглотителем сульфатов, в исследуемых образцах наблюдается заметное повышение концентрации SO_4^{2-} . Однако кора сосны (*Pínus*) наиболее чувствительна к загрязнениям, особенно к диоксиду серы, что выражается в максимальном количестве сульфатов в исследуемых образцах. Кора липы (*Tilia*) и сосны (*Pínus*) является наиболее чувствительным индикатором загрязнения атмосферы сернистым ангидридом, широкое распространение этого вида в озеленении дает возможность объективно оценивать степень сульфатного загрязнения городской среды с помощью метода фитоиндикации. Кора клена (*Ácer*) тоже является чутким индикатором, способным дать правильное представление о пространственном распределении сульфатов.

Получены результаты свидетельствуют определяют необходимость организации контроля за динамикой загрязнения городских территорий соединениями серы.

В заключение надо отметить, что наиболее чувствительным индикатором сульфатного загрязнения являются доминирующая в зеленых насаждениях липа (*Tilia*) и клен (*Ácer*). Высокая корреляционная зависимость между величиной pH и содержанием сульфатов в коре этого вида позволяет использовать показатель кислотности как надежный критерий в оценке степени сульфатного загрязнения.

Библиографический список

1. Махмудова Г.К. Сравнительный анализ сульфатного загрязнения воздуха г. Санкт-Петербурга и г. Светлограда Ставропольского края // Известия ДГПУ. 2008. №3. С. 28-32.
2. РД 52.24.405-2005 Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений турбидиметрическим методом.
3. Сунцова Л.Н., Иншаков Е.М. Древесные растения в условиях техногенной среды города Красноярска // Хвойные бореальной зоны. 2007. №1 Т.24. С. 20-26.
4. H.T.H. Wolterbeei, P. Kuik, T.G. Verburg, G.W.W. Wamelink. Relations between sulphate, ammonia, nitrate, acidity and trace element concentrations in tree bark in the Netherlands // Environmental Monitoring and Assessment. 1996. №40. С.185-201.

References

1. Makhmudova G. K. Comparative analysis of sulfate air pollution in St. Petersburg and the city of Svetlograd, Stavropol territory // Proceedings of DSPU. 2008. №3. С. 28-32.
2. RD 52.24.405-2005 Mass concentration of sulphates in water. Method of performing turbidimetric measurements.

3. Suntsova L. N., Inshakov E. M. Woody plants in the technogenic environment of the city of Krasnoyarsk // Coniferous of the boreal zone. 2007. №1 T.24. С. 20-26.
4. H.T.H. Wolterbeek, P. Kuik, T.G. Verburg, G.W.W. Wamelink. Relations between sulphate, ammonia, nitrate, acidity and trace element concentrations in tree bark in the Netherlands // Environmental Monitoring and Assessment. 1996. №40. С.185-201.

**Поступило в редакцию 17.02.2020,
принята к публикации 02.03.2020.**

Об авторах

- Мовсесова** Виктория Валерьевна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры экологии и природопользования, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, корп. 2, ауд. 327, e-mail: viktoriya-movsesova@yandex.ru, (8652) 95-68-00, (доб. 49-05) (вести переписку).
- Блужина** Анастасия Сергеевна, научный сотрудник НУЛ «Экоаналитическая лаборатория» СКФУ, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, корп. 2, ауд. 334, e-mail: institutka-aska@mail.ru, тел. 89624037577.
- Бакуменко** Иван Александрович, аспирант кафедры экологии и природопользования, Институт математики и естественных наук Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь, Россия, e-mail: vanya.bakumenko@yandex.ru, тел. +7 928 319 98 63

About the authors

- Movsesova** Victoria Valeryevna, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecology and Nature Management, North-Caucasian Federal University, Stavropol, ul. Pushkin, 1, building. 2, aud. 327, viktoriya-movsesova@yandex.ru, (8652) 95-68-00, (ext 49-05).
- Bluzhina** Anastasiya, Researcher place of work North Caucasian Federal University, Stavropol, st . Pushkin , 1 , Bldg . 2 , room . 334 e-mail: institutka-aska@mail.ru, tel. 89624037577.
- Bakumenko** Ivan Aleksandrovich, Postgraduate student of the Department of Ecology and Nature Management, Institute of Mathematics and Natural Sciences of the North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia, e-mail: vanya.bakumenko@yandex.ru, tel. +7 928 319 98 63.

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ
№ 1, 2020



Издательство Северо-Кавказского федерального
университета. г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1.

Корректор – М.И. Толмачев.
Компьютерная версия – О.Г. Полевич.

Подписано в печать 23.03.2020 г. Выход в свет 30.03.2020 г.
Формат 70 × 108 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага
офсетная. Усл. печ. л. 8,26. Тираж 1000 экз. Цена 534 руб.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».
355029, г. Ставрополь, пр-т Кулакова, 2.