

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

ISSN 2308–4758



Выпуск № 2, 2021 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.г.н., проф. Белозеров В.С.
Заместитель главного редактора:	д.г.н., проф. Щитова Н.А.
Международный редакционный совет:	Абшаев М.Т., д-р физ.-мат. наук, профессор (Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик); Воробьева О.Д., д. экон. наук, профессор (Московский государственный университет, г. Москва); Лиховид А.А., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Бондарь Т.П., д-р мед. наук, профессор (Ставропольский медицинский университет, г. Ставрополь); Бородулин В.Б., д-р мед. наук, профессор (Саратовский ГМУ Росздрава, г. Саратов); Герасименко Т.И., д-р геогр. наук, профессор (Оренбургский гос. университет, г. Оренбург); Диневич Л.А., д-р физ.-мат. наук, профессор (Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив); Жакин А.И., д-р физ.-мат. наук, профессор (Юго-Западный гос. университет, г. Курск); Зырянов А.И., д-р геогр. наук, профессор (Пермский государственный университет, г. Пермь); Ибрагимов А.И., д-р геогр. наук, профессор (Эгейский Университет, Турция, г. Измир); Кдаис Х.А.А., канд. техн. наук, профессор (Иорданский университет науки и технологии, Ирбид); Коляда А.А., д-р физ.-мат. наук, доцент (Белорусский гос. университет, г. Минск); Молодикова И.Н., канд. геогр. наук (Центрально-Европейский университет, г. Вена); Нефедова Т.Г., д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва); Панин А.Н., к.г.н., доц. (Московский государственный университет, г. Москва); Полян П.М., д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва); Разумов В.Б., д-р геогр. наук, профессор (ОАО «Российские космические системы», г. Москва); Рязанцев С.В., член-корреспондент РАН, д. экон. наук, профессор (Институт социально-политических исследований РАН, г. Москва); Тикунов В.С., д-р геогр. наук, профессор (Московский государственный университет, г. Москва); Цатурян Л.Д., д-р мед. наук, профессор (Ставропольский государственный медицинский университет, г. Ставрополь)
Редакционная коллегия:	Бекетов С.Б., д-р техн. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Гасумов Р.А., д-р техн. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Керимов А.Г., д-р техн. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Бондарь Т.П., д-р мед. наук, профессор (Ставропольский медицинский университет, г. Ставрополь); Губарева Л.И., д-р биол. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Джандарова Т.И., д-р биол. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Диканский Ю.И., д-р физ.-мат. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Ерин К.В., д-р физ.-мат. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Закинян А.Р., д-р физ.-мат. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Закинян Р.Г., д-р физ.-мат. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Котти Б.К., д-р биол. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Лукьянов В.Т., д-р техн. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Лысенко А.В., д-р геогр. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Полян П.М., д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва); Разумов В.В., д-р геогр. наук, профессор (главный научный сотрудник ОАО «Российские космические системы», г. Москва); Тимченко Л.Д., д-р ветеринар. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Толпаев В.А., д-р физ.-мат. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Федорова Н.Г., д-р техн. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Шальнев В.А., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь)
Ученый секретарь:	к.г.н., доц. Соловьев И.А.
Свидетельство о регистрации	ПИ № ФС77–52723 от 8.02.2013.
Подписной индекс	Объединённый каталог. ПРЕССА РОССИИ. Газеты и журналы: 94011
Журнал	включен в БД «Российский индекс научного цитирования», перечень ВАК. Журнал «Вестник Ставропольского государственного университета» перерегистрирован в журнал «Наука. Инновации. Технологии» в связи с переименованием учредителя.
Адрес Телефон Сайт E-mail:	355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1 (8652) 33-07-32 www.ncfu.ru nit_ncfu@mail.ru
ISSN	2308-4758

	«Science. Innovations. Technologies» North Caucasus Federal University
Founder	Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education «North Caucasus Federal University»
Chief Editor:	Doctor of Geographical Sciences, prof. Belozеров V.S.
Deputy Chief Editor:	Doctor of Geographical Sciences, prof. Shchitova N.A.
International Editorial Board:	Abshaev M.T., Doctor of Phys.-Math. Sciences, (High Mountain Geophysical Institute, Nalchik); Vorobleva O.D., Doctor of Economics Sciences, Professor (Moscow State University, Moscow); Likhovid A.A., Dr. Geogr. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Bondar T.P., Dr. med. Sciences, Professor (Stavropol Medical University, Stavropol); Borodulin V.B., Dr. med. Sciences, Professor (Saratov State Medical University of Roszdrazh, Saratov); Gerasimenko T.I., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (Orenburg State University, Orenburg); Dinevich L.A., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor (Tel Aviv University, Tel Aviv); Zhakin A.I., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor (South-West State University, Kursk); Zyryanov A.I., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (Perm State University, Perm); Ibragimov A.I., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (Aegean University, Turkey, Izmir); Kdais H.A.A., Cand. tech. Sciences, Professor (Jordan University of Science and Technology, Irbid); Kolyada A.A., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Associate Professor (Belarusian State University, Minsk); Molodikova I.N., Cand. geogr. Sciences (Central European University, Vienna); Nefedova T.G., Dr. Geogr. sciences, led. scientific. RAS employee (IG RAS, Moscow); Panin A.N., Ph.D., Assoc. (Moscow State University, Moscow); Polyan P.M., Dr. of Geogr. sciences, led. scientific. RAS employee (IG RAS, Moscow); Razumov V.V., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (JSC «Russian Space Systems», Moscow); Ryazantsev S.V., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics Sciences, Professor (Institute of Social and Political Research RAS, Moscow); Tikunov V.S., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (Moscow State University, Moscow); Tsaturyan L.D., Dr. med. Sciences, Professor (Stavropol State Medical University, Stavropol)
Editorial team:	Beketov S.B., Dr. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Gasumov R.A., Dr. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Kerimov A.G., Dr. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Bondar T.P., Dr. med. Sciences, Professor (Stavropol Medical University, Stavropol); Gubareva L.I., Dr. of Biol. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Dzhandarova T.I., Dr. of Biol. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Dikansky Yu.I., Doctor of Phys.-Math. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Erin K.V., Doctor of Phys.-Math. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Zakinyan A.R., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Zakinyan R.G., Doctor of Phys.-Math. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Cottie B.K., Dr. of Biol. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Lukyanov V.T., Dr. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Lysenko A.V., Dr. of Geogr. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Polyan P.M., Dr. of Geogr. sciences, led. scientific. RAS employee (IG RAS, Moscow); Razumov V.V., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (Chief Researcher of JSC Russian Space Systems, Moscow); Timchenko L.D., Doctor of Veterinary Medicine. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Tolpaev V.A., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Fedorova N.G., Dr. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Shalnev V.A., Dr. of Geogr. sciences, professor (NCFU, Stavropol)
Scientific Secretary:	Ph.D., Assoc. prof. Soloviev I.A.
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.
Adress Phone Site E-mail:	355017, Stavropol, Pushkin street, 1 (8652) 33-07-32 www.ncfu.ru nit_ncfu@mail.ru
ISSN	2308-4758

СОДЕРЖАНИЕ

«НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ», № 2, 2021

25.00.12	ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	
	Гасумов Р.А., Гасумов Э.Р. Особенности цифрового фильтра- ционного моделирования продуктивных залежей (на примере Кошехабльского месторождения)	7
	Gasumov R.A., Gasumov E.R. Specifics of Digital Filtering Modeling for Productive Deposits (by example of the Koshekh ablskoye field)	8
	Сазонов И.Г., Астапова Д.А. О проблеме восполнения запасов в месторождениях нефти и газа	29
	Sazonov I.G., Astapova D.A. On the Problem of Oil and Gas Reple nishment	30
25.00.17	РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	
	Грачев С.И., Рогозина Т.В., Колев Ж.М., Мамчистова Е.И. Приток к нефтяной скважине со сложной траекторией ствола в продуктивном плас- те.	39
	Grachev S.I., Rogozina T.V., Kolev Zh.M., Mamchistova E.I. Oil well inflow with a complex wellbore trajectory at the development reservoir	40

25.00.23	ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ	
	Ашибоков У.М., Коржов П.Н., Ветошкин А.А., Сурхаев Д.Б., Халидов А.Х., Григорьев М.П.	
	Таксономический состав носителей и переносчиков микроба чумы в пределах Ставро- польской части Прикаспийского песчаного природ- ного очага чумы: современное состояние	59
	Ashibokov U.M., Korzhov P.N., Vetoshkin A.A., Surkhayev D.B., Khalidov A.H., Grigoriev M. P.	
	Taxonomic Composition of Plague Microbe Hosts and Vectors Within the Stavropol Area of the Pre-Caspian Sandy Natural Plague Focus: Current State	60
25.00.24	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ	
	Тикунов В.С., Гайдуков В.Р.	
	Демографическая характеристика зоны прохождения нового Шелкового Пути	73
	Gaydukov V.R., Tikunov V.S.	
	Demographic Characteristics of the New Silk Road Passage Zone	74
25.00.30	МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ	
	Кагермазов А.Х., Федченко Л.М., Созаева Л.Т., Жабоева М.М.	
	Среднесрочный прогноз града по выходным данным глобальной модели атмосферы	91
	Kagermazov A.Kh., Fedchenko L.M., Sozaeva L.T., Zhaboeva M.M.	
	Medium-term Hail Forecast Based on Global Atmospheric Model Output Data	92

Кузьмин В.А., Черкесов А.А. Вариации локального электрического поля атмосферы под влиянием грозových явлений	109
Kuzmin V.A., Cherkesov A.A. Variations of the Local Electric of the Atmosphere Under the Influence of Thunderstorm Events	110

Хучунаев Б.М., Байсиев Х.-М.Х., Геккиева С.О. Лабораторные исследования повы- шения льдообразующей эффективности пиротех- нических составов на основе АД-1	125
Khuchunaev B., Baysiev Kh.-M. Kh., Gekkieva S. Laboratory studies of increasing the ice-forming efficiency of pyrotechnic compositions based on AD-1.	126

25.00.36 ГЕОЭКОЛОГИЯ

Бондарь Е.В., Харина Е.И., Гандрабуrowa Н.И., Антонова А.В., Ставицкая А.А. Особенности накопления тяжелых металлов в системе «почва – клевер» и их влияние на микробный ценоз почвы в условиях городской среды	141
Bondar E.V., Kharina E.I., Gandraburova N.I., Antonova A.V., Stavitskaya A.A. Features of the Accumulation of Heavy Metals in the "Soil-Clover" System And Their Influence on the Microbial Price of Soil in the Conditions of the Urban Environment	142

25.00.12
УДК 338.984

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Гасумов Р.А.,

Северо-Кавказский федеральный университет,
г. Ставрополь, Россия;

Гасумов Э.Р.

Азербайджанский государственный университет нефти
и промышленности», г. Баку, Азербайджан

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ (на примере Кошехабльского месторождения)

DOI 10.37493/2308-4758.2021.2.1

Введение.

В статье рассмотрены особенности создания цифровой фильтрационной модели карбонатных отложений оксфордского яруса юрской системы, основанной на структурных построениях и результатах интерпретации геологических исследований.

Материалы и методы исследований.

Изложены фильтрационные расчеты и подходы к построению геологического разреза продуктивных отложений. Приведены необходимые исходные данные для расчета, полученные по результатам проведенных геолого-геофизических исследований и анализа промысловых данных.

Результаты исследования и их обсуждение.

Рассмотрены результаты комплексной интерпретации данных геолого-геофизических и керновых исследований для моделирования продуктивной залежи. Описаны основные этапы моделирования продуктивного резервуара: построение структурной модели залежи; создание фациальной модели; фильтрационно-емкостное моделирование. Фильтрационная модель адаптирована к фактическим данным по истории разработки на основе уточнения фильтрационно-емкостных свойств коллектора и настроена для прогнозных расчетов вариантов разработки. Приведена оценка достоверности модели оксфордских продуктивных отложений. 1. Интегрированная интерпретация данных промысловых и керновых исследований, результатов опробования скважин выполнялась при подсчете запасов УВ, при этом интегральная погрешность входных данных для построения фильтрационной модели не превышала 20%. 2. Результаты проведенных построений показали увеличение площади газоносности на 112 % вследствие оконтуривания зоны рассеянных биогермов на основе анализа данных сейсморазведочных работ. Выделение подошвы биогермной зоны по методу общей глубинной точки в трехмерном формате привело к уменьшению общей толщины зоны биогермных образований и, соответственно, средней газонасыщенной толщины на 17%. 3. При геологическом моделировании на основе анализа данных сейсморазведки получены следующие параметры: площадь газоносности – 29,5 кв. км; средняя газонасыщенная толщина – 23,8 м; запасы пластового газа – 13,641 млрд куб. м; геологические запасы конденсата – 111 тыс. т, из них извлекаемые составляют 94 тыс. т.

Выводы:

Ключевые слова:

цифровое моделирование, фильтрационная модель, продуктивная залежь, геологический разрез, промысловые исследования, фильтрационно-емкостные свойства.

Gasumov R.A.
Gasumov E.R.

North Caucasus Federal University. Stavropol, Russia
Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

Specifics of Digital Filtering Modeling for Productive Deposits (by example of the Koshekhabskoye field)

- Introduction.** The article discusses specifics of creating a digital filtration model for carbonate deposits of the Oxford stage of the Jurassic system, based on structural constructions and the results of interpretation of geological studies.
- Materials and research methods.** Filtration calculations and approaches to the modeling a geological section of productive deposits are presented. The necessary initial data for the calculation were obtained from the results of the geological and geophysical studies and field data analysis.
- Research results and discussion.** The results of an integrated interpretation of geological-geophysical and core data for modeling a productive deposit are considered. The main stages of reservoir modeling are described: construction of a structural model of the reservoir; creation of a facial model; filtration-capacitive modeling. The filtration model is adapted to the actual data on the development history based on definition of filtration and capacitive reservoir properties and adjusted for predictive calculations of development options. The model validity for the Oxford productive sediments was assessed.
- Conclusions:** 1. Integrated interpretation of field and core survey data, well testing results was carried out when calculating hydrocarbon reserves, while the integral error of the input data for constructing a filtration model did not exceed 20%. 2. The results of constructions showed an increase in the area of gas content by 112% due to the delineation of the zone of scattered bioherms based on the analysis of seismic data. The allocation of the bottom of the bioherm zone using the common depth point method in a three-dimensional format led to a decrease in the total thickness of the zone of biohermal formations and, accordingly, the average gas-saturated thickness by 17%. 3. During geological modeling based on seismic data analysis, the following parameters were obtained: gas-bearing area – 29.5 sq. km; average gas-saturated thickness – 23.8 m; reservoir gas reserves – 13.641 milliard cubic meters; geological reserves of condensate – 111 thousand tons, of which 94 thousand tons are recoverable.
- Key words:** digital modeling, filtration model, productive reservoir, geological section, field research, filtration and capacitive properties.

Введение

Для прогноза динамики технологических показателей и оптимизации системы разработки многопластовой структуры месторождений углеводородов (УВ) требуется создание цифровой фильтрационной модели в рамках геологического моделирования продуктивной залежи, позволяющей проведение необходимых фильтрационных расчетов. Цифровая геологическая модель залежи создается с целью повышения качества проектирования, управле-

ния и контроля за разработкой месторождения УВ, является имитацией продуктивной залежи и представляет собой многомерный пространственный объект, на котором с помощью математических операций проводятся исследования, и выполняется прогноз процессов, протекающих при разработке пластов в объеме геологического резервуара. Цифровая геологическая модель представляет собой объемное поле в трехмерных координатах, каждая ячейка которого характеризуется значениями фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород.

Для прогноза динамики технологических показателей и оптимизации системы разработки многопластового месторождения УВ необходимо решение задач для построения фильтрационной модели залежи, а это требует проведения фильтрационных расчетов и построения геологического разреза с использованием данных, полученных по результатам проведенных исследований и анализа промысловых материалов.

Интерпретация сейсмических данных показала, что исследования включали в себя следующие анализы: полевой системы наблюдений; примененного графа обработки; атрибуты амплитуды в зависимости от смещения (AVO); методики и результатов интерпретации. Особое внимание уделено стратиграфической привязке целевых горизонтов и выделению перспективных аномалий волнового поля.

Анализ полученного волнового поля на временных разрезах свидетельствует о том, что примененный граф обработки для построения разрезов является оптимальным, и позволяет построить разрезы хорошего качества, с достаточно высоким разрешением волнового поля на них. Для построения куба временных разрезов с максимально возможным разрешением волновой картины и уверенной прослеживаемостью отражающих горизонтов на них, на основании тестирования процедур обработки и их параметров требовалось проведение комплекса последовательных действий: обработка наблюдений; анализы; построение модели; расчеты и др. Качество материалов, полученных в результате обработки, полностью соответствовало требованиям для решения поставленных геологических задач, так как анализ интерпретации полученных материа-

лов проведен в комплексе с промысловыми данными, что позволило оценить этапы построения трехмерной цифровой геологической модели оксфордской продуктивной залежи на примере Кошехабльского месторождения.

Кошехабльское поднятие, имеющее меридиональное простирание, является крупной брахиантиклинальной структурой с крутым восточным крылом и пологим западным. Анализ геолого-геофизических данных показывает, что оксфордская газовая залежь контролируется в меньшей мере структурным, а в основном, литологическим фактором – биогермными телами мощностью до 60 м, залегающими в нижней части залежи. Характерной особенностью внутреннего строения оксфордских отложений, наблюдаемой по трехмерной сейсмической записи, является отсутствие связи между наличием в разрезе биогермов и толщиной как всего интервала в целом, так и нижнего, включающего биогермы, комплекса. Установлено, что площади отложения оксфорда не являются рифовыми, а границы зоны рассеянных биогермов не связаны с самой складкой, поскольку образование биогермов происходило в субгоризонтальных морских условиях. Границы зоны биогермных построек ассоциированы при построении цифровой геологической модели, как линии выклинивания каверно-поровых коллекторов, а сам биогермный массив рассмотрен как слоистое пластовое карбонатное тело.

Геологическая модель при экспорте – импорте геологических кубов, которые содержат информацию о структуре моделируемого объекта в сеточном виде, данные о фильтрационно-емкостных параметрах пласта и первоначальном насыщении коллектора, должна позволить получить необходимые геолого-физические данные об объекте. Цифровая геологическая модель построена на основе уточненных полученных ранее результатов за счет применения современных программных средств вычисления – программы моделирования геологического резервуара и способствует эффективному управлению разработки месторождений УВ.

Материалы и методы исследований

Для создания цифровой фильтрационной модели залежи использованы геологические, геофизические, промысловые, аналитические и сейсморазведочные детализированные данные, включающие полевые наблюдения, обработку и интерпретацию материалов исследований. Методы исследований состоят в системном подходе: обобщение, систематизация и анализ информации промысловых данных, статистическая обработка результатов исследований, прогнозирования, кластерный, факторный и корреляционный анализ, методы аппроксимации таблично заданных функций, компьютерные методы обработки табличных данных, методы математического моделирования на основе уравнений нефтегазовой гидромеханики.

При моделировании залежи и обработке полевых сейсмических материалов использованы специальные программные комплексы как, «Petrel», «Roxar», «Tempest» и «Promax».

Промысловые данные содержат единую базу фактических данных по отбору и дебитам УВ из залежей, по замерам пластовых, забойных и устьевых давлений, о сеточных координатах скважин, фактическом и приведенном радиусе, скин-факторе, технологических режимах работы скважин.

Результаты исследований и их обсуждения

Комплексная интерпретация результатов геолого-геофизических и керновых исследований позволили решить следующие задачи: литолого-стратиграфическое расчленение разреза; корреляция разрезов скважин; выявление типа и модели изучаемых коллекторов; разработка петрофизической основы для интерпретации данных геолого-геофизических исследований; определение границ залегания коллекторов и их эффективных толщин, газо-водяного контакта; определение удельного электрического сопротивления зоны проникновения и неизменной части пласта; выработка количественных критериев выделения коллекторов; количественная оценка пористости и газонасыщенности в продуктивных коллекторах [1].

По данным исследования керна, преимущественным развитием в продуктивной толще оксфордского комплекса пользуются каверно-поровые и трещинные известняки, в различной степени доломитизированные, слабоглинистые с прослоями мергелей. Наряду с межзерновой пористостью развиты вторичные пустоты с доминированием пор выщелачивания и каверн. Трещинная пористость существенного вклада в эффективную емкость не вносит (составляет десятые доли процента), но играет основную роль в обеспечении фильтрационных свойств коллектора [2].

Каверно-поровые коллекторы выделялись по следующим признакам: наличию глинистой корки, положительным приращением и уменьшению показаний микрокаротажного зондирования, увеличению механической скорости проходки, изменению геофизических параметров во времени и прямым признакам газонасыщенности. При оценке ФЕС коллекторов и определении их типов использовался графический метод, основанный на построении зависимостей относительного сопротивления и коэффициента пористости от показаний нейтронного гамма-каротажа для каждой скважины. Проводилось их сопоставление с эталонной зависимостью, характеризующей плотные пласты. Точки, смещенные вниз от линии плотных пластов, соответствуют трещинным коллекторам; вверх и вблизи нее – каверно-поровым коллекторам. Коэффициент трещинной пористости определялся по палетке, представляющей собой семейство зависимостей параметра трещинной пористости от коэффициентов трещинной и блоковой пористостей [3].

Для оценки ФЕС карбонатных коллекторов проводилось определение коэффициента пористости по нейтронному, акустическому и электрическому методам. Признаком наличия коллекторов является разница в значениях коэффициента пористости, определенных разными методами. Коэффициент газонасыщенности по каверно-поровым коллекторам, определенный по данным геофизических исследований, колеблется от 0,75 до 0,98 доли ед., среднее значение составляет 0,91 доли ед.

Оценка характера насыщенности по стандартному комплексу геофизических исследований в карбонатных коллекторах затруднительна, в связи с чем, проводилась по прямым признакам. Газоводяной контакт (ГВК) условно принят на гипсометрической отметке

минус 5600 м по подошве II продуктивной пачки оксфорда. Результаты комплексной интерпретации промысловых данных использованы при формировании входных файлов скважинной информации, загруженной в модель. После создания отбивок выполнена проверка скважинных разрезов по профилям, результатом которых стали корреляции разрезов по всем скважинам, использованные при моделировании. Для геологического моделирования принимается пластовая модель залежи с элементами фациального замещения коллекторов.

При построении цифровых геологических моделей размеры горизонтальных и вертикальных проекций выбраны с учетом общих размеров залежи по осям X, Y, Z и расстояний между скважинами, а также возможностей дальнейших технико-гидродинамических расчетов. Размеры области моделирования: с юга на север – 9000 м; с запада на восток – 6000 м; по вертикали – 1200 м.

Учитывая возможности дальнейших технико-гидродинамических расчетов, геологическая модель карбонатных газоносных отложений оксфорда строилась по сетке 50×50 м, при детальности геологических построений по вертикали – 100 слоёв (слои имеют неравномерную толщину).

Моделирование продуктивного резервуара происходило поэтапно и заключалось в выполнении следующих видов работ: построение структурной модели залежи; создание фациальной модели; фильтрационно-емкостное моделирование.

При построении структурных моделей залежей в основе ее лежат точки скважинных пластопересечений и оцифрованные изолинии структурных карт, полученные на этапе подготовки исходных данных. Путем использования алгоритмов двумерной интерполяции были построены структурные поверхности по кровлям пластов. Структурные поверхности по подошвам пластов строились методом прибавления изохор, полученных по скважинным отметкам.

Моделирование структурных поверхностей проводилось с использованием скважинных отбивок. Скважинными разбивками являются границы смены стратиграфических и литологических комплексов. Структурные поверхности кровли и подошвы рассматриваемых пластов построены на основе кровли и подошвы продуктивных

пластов, полученных в результате корреляции и с использованием сейсмических данных. Структурные стратиграфические поверхности по кровле и подошве оксфордских отложений Кошехабльского месторождения представлены на рисунке 1 (а и б).

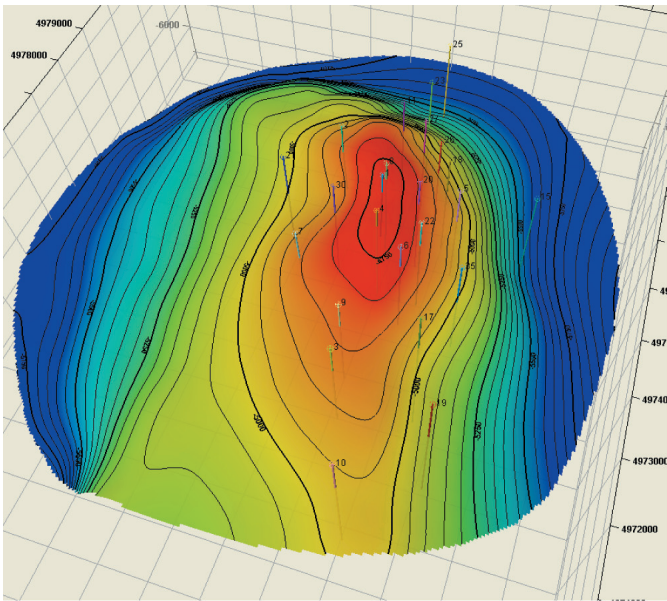
В объемном цифровом моделировании объем между структурными поверхностями кровли и подошвы объекта представляется в виде детальной трехмерной сетки. Для последующей трехмерной интерполяции параметров в межскважинном пространстве скважинные данные переносятся на ячейки дискретных сеток. Каждой ячейке сетки, через которую прошли скважины, присваивается определенный тип пород (коллектор-неколлектор), ФЕС и насыщение.

Этап литологического моделирования заключался в выделении и пространственном распределении пород коллекторов, т.е. пространственной литологической интерпретации на основании комплекса геофизических исследований и граничных значений фильтрационно-емкостных параметров. Результатом являлось построение дискретных индексированных кубов признака «коллектор – неколлектор», условно называемых кубами литологии. При построении кубов использовался алгоритм стохастического моделирования на основе построенных геолого-статистических разрезов с согласованием полученного распределения пород со скважинными данными, с использованием экспоненциальной вариограммы (таблица 1) и трендовой карты эффективных толщин. Каждой ячейке дискретной сетки куба присваивалось значение 1 – коллектор или 0 – неколлектор.

Продуктивная залежь оксфордских отложений является пластовой сводовой с элементами литологического замещения на западе и юге структуры. Продуктивное поле ограничено контуром газонасыщенности в северной и восточной части и линией замещения коллекторов на юге и западе, которого эффективная толщина варьирует от 0 до 60 м, максимальная эффективная газонасыщенная толщина – 60 м. При построении поверхностей карт эффективных толщин полигоны зон непроницаемых и уплотненных пород были приняты за нулевые значения. Структурная поверхность по кровле коллектора оксфордских отложений Кошехабльского месторождения представлена на рисунке 2.

а)

а) по кровле; а) over upper boundary



б)

б) по подошве; b) over lower boundary

Рисунок 1.

Объемное изображение моделируемой стратиграфической поверхности продуктивного пласта оксфордских отложений.
Figure 1. 3D view of a simulated stratigraphic reservoir surface of Oxford sediments.

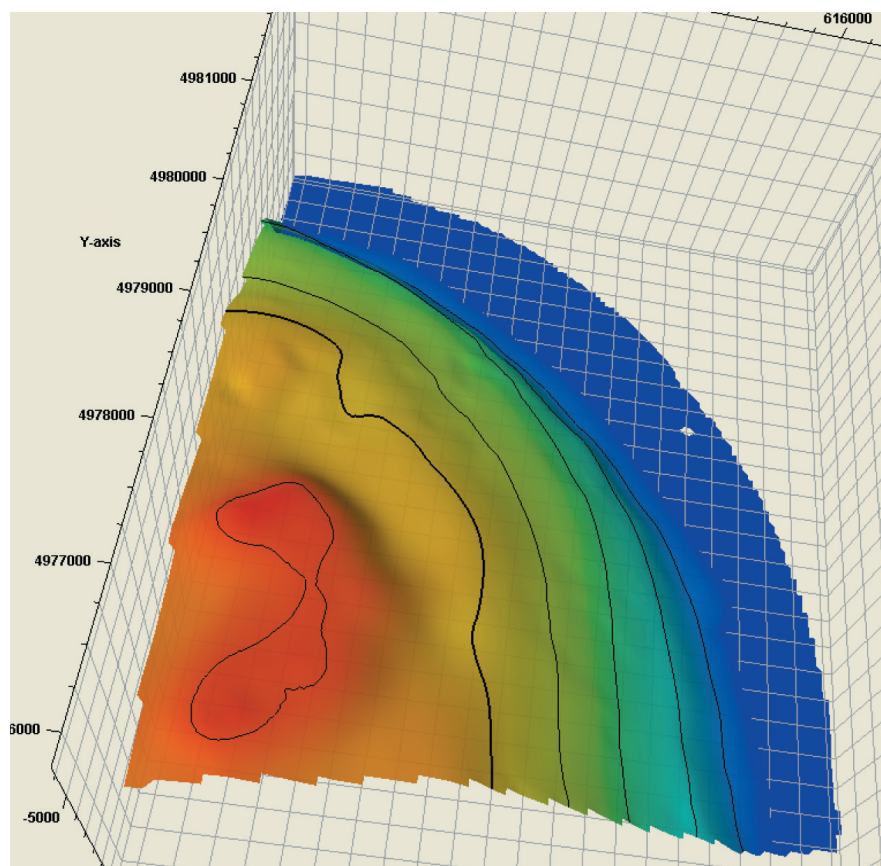


Рисунок 2. Структурная поверхность по кровле коллектора оксфордских отложений.

Figure 2. Structural surface over the upper boundary of Oxford sediments.

Таблица 1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАРИОГРАММЫ ЛИТОЛОГИИ

Table 1. Determination of lithology variogram parameters

Ранги литологии	Направление	Радиус корреляции	Угол	Тип
Оксфорд	Главное	1380	20	Exponential
	Второстепенное	1302	110	Exponential
	Вертикальное	25,8	—	Exponential

Коэффициент пористости в модели рассчитывался на основе LAS файлов, полученных при интерпретации данных промысловой геофизики. При пространственном распределении коэффициента пористости было использовано вероятностное моделирование литологических типов пород и их свойств на основе статистических характеристик и создании наборов равновозможных реализаций моделей. Выбор такого метода обусловлен значительной неоднородностью ФЕС.

С помощью трансформаций, преобразующих скважинные кривые пористости к нормальному распределению, получены вариограммы по каждой из трех осей (X, Y, Z), параметры которых указывают, в какой степени значения пористости изменяются на расстоянии. Путем выбора типов этих вариограмм и настроек их параметров было получено распределение поля пористости, приведенное в таблице 2.

Сопоставление значений пористости по скважинам и по кубу показывает хорошую сходимость (расхождение не превышает 5%). Для подсчета запасов коэффициент пористости рассчитывался как средневзвешенная величина по объему коллектора залежи. По результатам геологического моделирования продуктивных отложений Кошехабльского месторождения были построены наборы карт геологических разрезов.

На рисунке 3 представлены разрезы пород оксфордских отложений, характеризующие распространение коллектора пласта и газонасыщенности.

Таблица 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАРИОГРАММЫ ПОРИСТОСТИ
Table 2. Determination of porosity variogram parameters

Ранги пористости	Направление	Радиус корреляции	Угол	Тип
Оксфорд	Главное	2277	40	Gaussian
	Второстепенное	2532	130	Gaussian
	Вертикальное	12,4	—	Gaussian

Распределение параметра общей пористости и проницаемости реализовано отдельно для дискретного параметра коллектора, в глинах значение пористости и проницаемости равно нулю. На рисунке 4 приведено объемное изображение распределения пористости в продуктивной части оксфордских отложений.

Проницаемость коллектора рассчитывалась как функция пористости по формуле, определенной керновыми исследованиями и интерпретацией материалов геофизических исследований. Значение проницаемости коллектора колеблется от 1×10^{-15} до 20×10^{-5} м (мД).

Построение модели насыщения пластов флюидами выполнялось по стандартной методике, использующей скважинные данные о насыщении и физические условия формирования залежей.

Расчет полей параметров проводился в пределах структурного каркаса на основе данных интерпретации геофизических исследований (ГИС) по скважинам, представленным в виде кривой послойной обработки, в интервале продуктивных отложений.

Положение границы контура запасов категории C_1 (минус 5600 м) и категории C_2 (минус 6000 м) обоснованы, абсолютные отметки глубин контуров запасов приняты в качестве границы газонасыщенной области, на которой величина газонасыщенности равна нулю [4].

С точки зрения дальнейшего гидродинамического моделирования для построения свойства газонасыщенности куба литологии предпочтительным является использование функции Леверетта

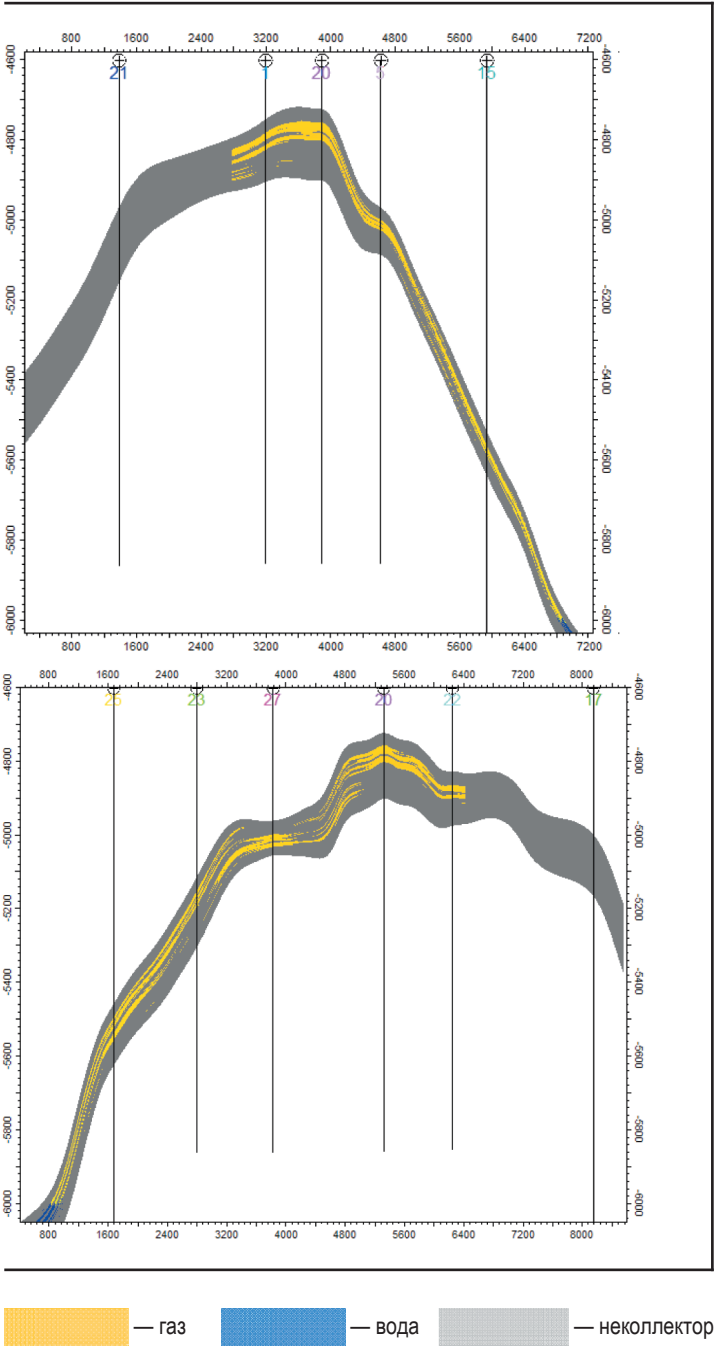


Рисунок 3. Разрез оксфордских отложений, характеризующий распространение коллектора и газонасыщенности по линии скважин.
Figure 3. Section of Oxford sediments showing reservoir distribution and gas saturation along the well line.

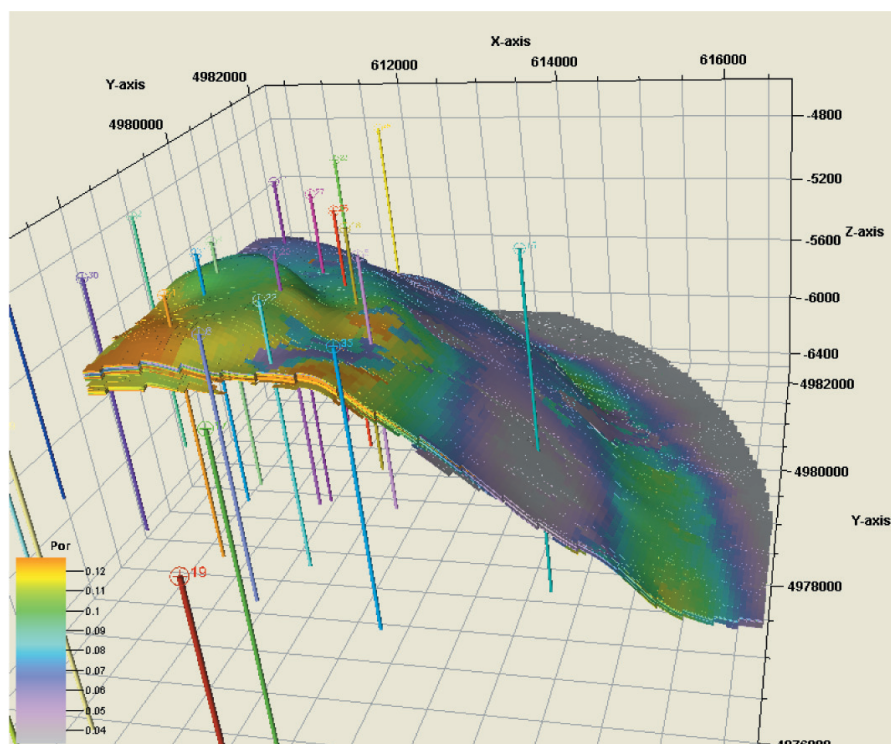


Рисунок 4. Объемное изображение распределения пористости в продуктивной части оксфордских отложений.

Figure 4. 3D-view of porosity distribution in the productive part of Oxford sediments.

(J-функции). В цифровой геологической модели K_g рассчитывался по функции Леверетта, как средневзвешенная величина по газонасыщенному объему, равная средневзвешенному значению, полученному по ГИС. Полученная модель насыщения коллектора газом и водой представлена на рисунке 5.

Как указывалось ранее, преимущественным развитием в продуктивной толще оксфордского комплекса пользуются каверно-поровые и трещинные известняки, в различной степени доломитизированные, слабоглинистые с прослоями мергелей. Наряду с межзерновой пористостью развиты вторичные пустоты с доминированием пор выщелачивания и каверн. Трещинная пористость существенного вклада в эффективную емкость не вносит (составляет десятые доли процента) [5]. Физические свойства и трещиноватость карбонатных пород оксфорда мало изучены по разрезу и по площади. В связи с этим моделирование трещин не представляется целесообразным.

Оценка достоверности модели оксфордских продуктивных отложений производилась на каждом этапе моделирования. Фильтрационная модель адаптирована к фактическим данным по истории разработки, на основе уточнения ФЕС пласта и настроена для прогнозных расчетов вариантов разработки.

Моделирование выполнено в интервале кровля – подошва нижней (продуктивной) толщи пласта (верхняя абсолютная отметка кровли – минус 4723 м, нижняя абсолютная отметка подошвы – минус 6249 м). Законтурные воды не вскрыты ни в одной скважине. Нижняя граница запасов категории C_1 принята в «балансовой модели» на отметке минус 5600 м, а нижняя граница запасов категории C_2 – на отметке минус 6000 м. При построении фильтрационной модели «балансовый контур газонасыщенности» для запасов категории C_1 принят в качестве контура ГВК, на границе которого и ниже газонасыщенность в пласте равна нулю.

Залежь оксфордских отложений – газоконденсатная, поэтому для нее выбрана трехфазная модель фильтрации. Для достижения поставленных целей использовано трехмерное моделирование, имеющее полученные из геологической модели размерности. В связи с тем, что количество активных ячеек исходной геологической модели не превосходит максимально допустимое значение, укруп-

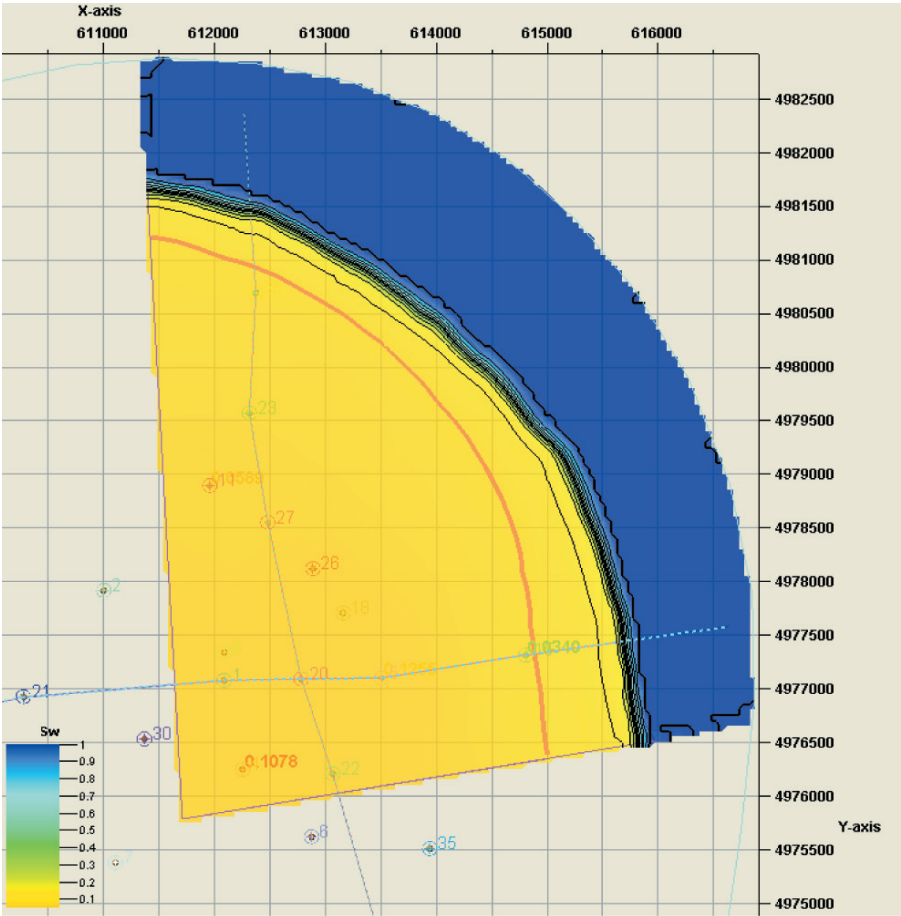


Рисунок 5. Карта средней газонасыщенности коллектора.

Figure 5. Reservoir average gas saturation map.

нение геологической модели не производилось: сетка – тип сетки (Corner Point); общее количество ячеек – 3255519 ($111 \times 139 \times 211$), активных ячеек – 486678; размеры ячейки – 250×250 м по горизонтали, по вертикали min 1 м, max 1 м, (средний размер 1 м). Моделируемые интервалы представлены активными ячейками.

Модель не разбивалась на регионы по относительным фазовым проницаемостям, а для гидродинамических расчетов относительная фазовая проницаемость задавалась аналитическими формулами Corey-Brooks, PVT свойства получены из источников [4, 6–9].

При создании фильтрационной модели оксфордских отложений была использована следующая схема моделирования:

- сетка модели и схема выделения слоев импортированы из трехмерной математической геологической модели в секцию GRID;
- свойства пласта импортированы из трехмерной математической геологической модели в секцию GRID;
- свойства пластовых флюидов определены по результатам исследования скважин, модель не разбивалась на регионы по PVT свойствам, а таблицы PVT свойств определены в секции INIT и заданы в секции INPUT;
- начальные условия определены при построении трехмерной математической геологической модели и заданы в секции INIT.
- расположение скважин, их траектории и интервалы перфорации заданы в секции RECU;
- по истории разработки использованы накопленные отборы по годам и изменение пластового (забойного) давления по скважинам. Эти данные подключены в секцию RECU с помощью специально сформированных файлов. Графические зависимости относительных фазовых проницаемостей получены аналитическим путем и представлены в таблице 3.

Таблица 3. ФАЗОВЫЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ В СИСТЕМЕ ГАЗ-ВОДА
 ДЛЯ ОКСФОРДСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ
Table 3. Phase permeability in the gas-water system for Oxford sediments

Насыщенность водой, доли ед.	Фазовая проницаемость для воды, доли ед.	Фазовая проницаемость для газа, доли ед.	Капиллярное давление газ-вода, МПа
0,10000	0,00000	1,0000	0,00000
0,25000	0,00510	0,77556	0,00000
0,30000	0,02041	0,71072	0,00000
0,35000	0,04592	0,61735	0,00000
0,40000	0,08163	0,51020	0,00000
0,45000	0,12755	0,41326	0,00000
0,50000	0,18367	0,32653	0,00000
0,55000	0,25000	0,25000	0,00000
0,60000	0,32653	0,18367	0,00000
0,65000	0,41326	0,12755	0,00000
0,70000	0,51020	0,08163	0,00000
0,75000	0,61735	0,04592	0,00000
0,80000	0,73469	0,02041	0,00000
0,85000	0,86224	0,00510	0,00000
0,90000	1,0000	0,00000	0,00000
1,00000	1,0000	0,00000	0,00000

Критические точки:

- движение газа начинается при достижении газонасыщенности величины 0,15;
- движение воды в газовой фазе начинается при достижении фракционной величины 0,25.

Капиллярное давление на границе «свободной воды» в начальном статическом состоянии принято равным нулю.

После проведения расчетов выполнен анализ полученных результатов и адаптация фильтрационной модели к истории разработки.

Фильтрационная модель корректировалась интерактивным способом до достижения соответствия расчетного забойного давления историческим данным при соответствии расчетного отбора газа фактической величине. Фазовые переходы флюидов (газа и газового конденсата) для оксфордских отложений моделировались заданием содержания конденсата в добываемом газе на основании теоретической изотермы конденсации пластовой смеси.

Выводы

1. Интегрированная интерпретация данных промысловых и керновых исследований, результатов опробования скважин выполнялась при подсчете запасов УВ, при этом интегральная погрешность входных данных для построения фильтрационной модели не превышала 20%.
2. Результаты проведенных построений показали увеличение площади газонасыщенности на 112% вследствие оконтуривания зоны рассеянных биогермов на основе анализа данных сейсморазведочных работ. Выделение подошвы биогермной зоны по методу общей глубинной точки в трехмерном формате привело к уменьшению общей толщины зоны биогермных образований и, соответственно, средней газонасыщенной толщины на 17%. Коэффициенты открытой пористости на 22% и газонасыщенности 4%, также снизились по результатам осреднения па-

раметров промысловых исследований на объемную сетку моделирования.

3. При геологическом моделировании на основе анализа данных сейсморазведки полученные основные параметры следующие: площадь газоносности – 29,5 км²; средняя газонасыщенная толщина – 23,8 м; запасы пластового газа – 13,641 млрд м³; геологические запасы конденсата – 111 тыс. т, из них извлекаемые составляют 94 тыс. т.

Библиографический список

1. Гасумов Р.А. Аппроксимационные математические модели эксплуатационных свойств газовых скважин и их применение к расчетам прогнозных дебитов / Гасумов Р.А., Толпаев В.А., Ахмедов К.С., Першин И.М., Гасумов Э.Р. // Нефтепромысловое дело. 2019. № 5 (005). С. 53-59.
2. Регламент по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений: РД 153-39.0-047-00: утв. Минтопэнерго России: введ. в действие приказом № 67 от 10.03.2000. М., 2000.
3. Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. (Часть 1. Геологические модели. Ч. 2. Фильтрационные модели): разработаны Федеральным государственным учреждением «Экспертнефтегаз» Министерства энергетики Российской Федерации. М.: ВНИИОЭНГ, 2003.
4. Корнеев В.И. Прогнозирование коллекторов и поиски неантиклинальных ловушек в Западном Предкавказье по данным сейсморазведки / В.И. Корнеев, В.Л. Кригиневич. М.: Геология нефти и газа. №3. 1979. С. 64.
5. Альбом палеток и номограмм для интерпретации промыслово-геофизических данных. М.: Недра, 1984.
6. Дуркин С. М. Моделирование процесса разработки нефтяных месторождений (теория и практика): учебное пособие. Ухта: УГТУ, 2014. 104 с.
7. Математические модели расчета фильтрационных процессов на газоконденсатных месторождениях / Гасумов

- Э.Р., Гасумов Р.А. // О новой парадигме развития нефтегазовой геологии: Материалы Международной научно-практической конференции Казань: Изд-во «Ихлас», 2020. С. 174-178.
8. Математическая модель для расчета процессов самозадавливания насосно-компрессорных труб жидкостью с помощью продувки скважин / Гасумов Э.Р., Гасумов Р.А. // Нефтепромысловое дело. М., 2020. №8(620). С. 46-51.
9. Gasumov E.R. Time of profitable operation of production wells at the final stage of development of a gas field //American Scientific Journal. 2020. No. 40. Vol. 2. P. 32. 35.

References

1. Gasumov R.A. Approximating mathematical models of operational properties of gas wells and their application to the calculation of predicted flow rates / Gasumov R.A., Tolpaev V.A., Akhmedov K.S., Pershin I.M., Gasumov E.R. // Oilfield business. 2019. No. 5 (005). P. 53-59.
2. Regulations for the creation of permanent geological and technological models of oil and gas-oil fields: RD 153-39.0-047-00. М., 2000.
3. Guidelines for making permanent geological and technological models of oil and gas-oil fields. (Part 1. Geological models. Part 2. Filtration models): developed by the Federal State Institution "Expertneftegaz" of the Ministry of Energy of the Russian Federation. М.: VNIOENG, 2003.
4. Korneev V.I. Prediction of reservoirs and search for non-anticlinal traps in the Western Ciscaucasia according to seismic data / V.I. Korneev, V.L. Krininevich. М.: Geology of oil and gas. No.3. 1979. P. 64.
5. Album of palettes and nomograms for interpretation of production geophysical data. М.: Nedra, 1984.
6. Durkin S.M. Modeling the process of oil field development (theory and practice) // Tutorial: Ukhta: USTU. 2014. 104 p.
7. Mathematical models for calculating filtration processes in gas condensate fields / E.R. Gasumov, R.A. Gasumov // On the new paradigm of the development of oil and gas geology: Materials of the International Scientific and Practical Conference – Kazan: Ikhlas Publishing House, 2020. P. 174-178.

8. Mathematical model for calculating the processes of tubing self-sealing with liquid by blowing wells / Gasumov E.R., Gasumov R.A. // Oilfield business. M., 2020. No. 8 (620). P. 46-51.
9. Gasumov E.R. Time of profitable operation of production wells at the final stage of development of a gas field // American Scientific Journal. 2020. No. 40. Vol. 2. P. 32-35.

**Поступило в редакцию 19.02.2021,
принята к публикации 24.04.2021**

Об авторах

Гасумов Рамиз Алиджавад-оглы – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования объектов в нефтегазовой сфере, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия. Генеральный директор АО «СевКавНИПИгаз» Ставрополь, Россия.

E-mail: r.gasumov@yandex.ru

Гасумов Эльдар Рамизович – кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности. Азербайджан, Баку.

E-mail: Priemnaya@scnipigaz.ru

About the authors

Gasumov Ramiz Alijavad-ogly – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department Design of Oil and Gas Facilities, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia.

General Director JSC SevKavNIPigaz, Stavropol, Russia.

E-mail: r.gasumov@yandex.ru

Gasumov Eldar Ramizovich – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor at Management Department, Azerbaijan State University of Oil and Industry. Azerbaijan, Baku. E-mail:

Priemnaya@scnipigaz.ru.

25.00.12
УДК 553.046

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Сазонов И.Г.,
Астапова Д.А.

Северо-Кавказский федеральный университет,
Ставрополь, Россия
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Ставрополь, Россия

О ПРОБЛЕМЕ ВОСПОЛНЕНИЯ ЗАПАСОВ В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НЕФТИ И ГАЗА

DOI 10.37493/2308-4758.2021.2.2

Введение:

В статье рассматриваются вопросы продолжающегося формирования запасов углеводородов в залежах нефти и газа, подчеркивается периодичность таких процессов, связанная с периодичностью генерации углеводородов и появлением каналов их миграции. Приведены главные признаки залежей и месторождений нефти и газа, запасы которых продолжают пополняться в настоящее время

Материалы и методы

исследований:

Использованы результаты исследований месторождений Северного Кавказа, а также обобщение и анализ публикаций по месторождениям Волго-Уральского, Прикаспийского и других нефтегазоносных районов. При анализе первоочередное влияние уделялось термодинамическим, гидрогеологическим и геолого-геохимическим отличиям залежей и месторождений нефти и газа

Результаты исследований

и их обсуждение:

Обоснована связь месторождений нефти и газа с более глубокими зонами литосферы. Приведены главные признаки месторождений с активным современным пополнением запасов углеводородов. Подчеркнута периодичность процесса восполнения запасов углеводородов, зависящая, в первую очередь, от режима тектонических процессов

Выводы:

Обоснована необходимость организации мониторинга процессов отбора и поступления углеводородов на нескольких месторождениях с явными признаками восполнения запасов.

Ключевые слова:

Углеводороды (УВ), аномально высокое пластовое давление (АВПД), геохимическая аномалия, восполнение запасов УВ

Sazonov I.G.
Astapova D.A.

North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia
«Gazprom VNIIGAZ Ltd.», Stavropol, Russia

On the Problem of Oil and Gas Replenishment

- Introduction:** The article discusses the issues of the ongoing formation of hydrocarbons in oil and gas deposits and highlights the periodicity of such processes associated with the frequency of hydrocarbons and their migration channels generation. The main features of oil and gas deposits, which reserves are replenishing at the present time, are given
- Materials and research methods:** The results of studies of deposits of the North Caucasus, as well as the generalization and analysis of publications about fields of the Volga-Ural, Caspian and other oil and gas regions were used. During the analysis, priority was given to thermodynamic, hydrogeological and geological-geochemical differences between oil and gas deposits
- Research results and discussion:** The connection of oil and gas deposits with deeper zones of the lithosphere is proved. The main features of fields with active modern replenishment of hydrocarbon reserves are given. The frequency of the hydrocarbon reserves replenishment, which depends, first of all, on the regime of tectonic processes is emphasized
- Conclusions:** The necessity of organizing monitoring of the processes of hydrocarbon's production and inflowing at several fields with clear signs of reserves replenishment has been substantiated
- Key words:** Hydrocarbons, high reservoir pressure, geochemical anomaly, hydrocarbon replenishment

Введение

В последнее время проблема восполняемости запасов УВ в залежах на разрабатываемых месторождениях приобрела особую актуальность. Многие специалисты уверены, что возобновление добычи из давно остановленных скважин свидетельствует о дополнительном поступлении УВ в залежь [1]. Мы также считаем, что многие залежи нефти и газа продолжают формироваться, и ранее выражали свои представления об источниках и путях миграции природных УВ в публикациях [2, 3].

Подробно признаки восполняемых залежей нефти и газа приведены в работе Бочкарева А.В. и Бочкарева В.А. [4], с большинс-

твом из которых можно согласиться, за исключением указанных авторами источников УВ, причин АВПД и дальней латеральной миграции. Далее мы обоснуем наши представления об этих проблемах, отметим дополнительные признаки все еще продолжающих формироваться залежей УВ и ответим на возможные возражения против реальности таких процессов.

Материалы и методы исследования

Из большинства залежей добывается обычно от 30 до 50 % геологических запасов нефти, иногда – в зависимости от свойств нефти и коллектора – несколько больше или меньше. Во многих случаях скважины переводят в периодический режим работы: скважину, переставшую поставлять нефть в процессе откачки, останавливают на несколько часов или суток, а затем в течение некоторого времени откачивают нефть, успевшую вновь скопиться в призабойной зоне скважины. Соответственно, прекращение разработки залежи на несколько лет, и – тем более – десятилетий, приведет к частичному дополнительному перераспределению пластовых флюидов и возможности извлечь еще некоторое количество нефти. Сколько раз может возобновляться добыча, зависит от многих факторов, в том числе – инфраструктурных и технологических, но во всех случаях количество возобновлений добычи ограничено, поскольку поступление в зону дренирования скважин новых порций УВ в какой-то момент прекращается окончательно.

Кроме того, во многих залежах остаются так называемые «целики» – не затронутые дренированием участки залежи, флюиды из которых могут перераспределяться в пределах залежи при длительной остановке разработки. Скорость переформирования таких макрообъемов остаточной нефти оценивалась по результатам 3D геолого-гидродинамического моделирования [5]. По результатам расчета, при вязкости нефти 0,5 сП и проницаемости пласта 500 мД всего через 2 года в кровле продуктивного пласта формируется область толщиной около 7 м с нефтенасыщенностью 0,78, через 10 лет нефтенасыщенная толщина в своде ловушки возрастает до 20 м, спустя 50 лет вся остаточная нефть консолидируется и сосредотачивается у

кровли пласта, то есть при благоприятных условиях, процесс сегрегации по толщине происходит за время, не превышающее времени разработки. В таком случае, чем крупнее залежь, тем больше нефти будет получено дополнительно. Не случайно идея о возобновлении запасов родилась в Татарстане на базе более чем 70-летнего опыта разработки уникального Ромашкинского месторождения [6]. У ряда старых скважин здесь открывалось «второе дыхание»; обычно, при разработке залежь в первую очередь отдает легкие фракции, тяжелые отбираются последними, целенаправленное изучение физико-химических свойств нефтей этого месторождения показало, что на фоне общего увеличения плотности флюида в ряде скважин отмечено поступление и легкой газированной нефти [7].

Все вышеизложенное может сказаться на коэффициенте извлечения нефти на каждом конкретном месторождении, но не приводит к реальному увеличению геологических запасов.

Возможны случаи, когда в залежь в процессе разработки поступают дополнительные количества углеводородов. Такое может произойти, например, за счет изменения соотношения пластовых давлений и возникшего вследствие этого перетока УВ из других залежей того же месторождения. Но в этом случае речь идет не о реальном увеличении суммарных запасов, а об их перераспределении в пределах нескольких гидродинамически сообщающихся залежей.

Еще одним из аргументов восполнения запасов УВ в реальном времени является значительное превышение суммарной добычи УВ из некоторых залежей, кратно превосходящее посчитанные запасы. Например, месторождения в Терско-Сунженском районе (Старогрозненский промысел), первые скважины которых были пробурены в 1893 г. За полвека эксплуатации из песчано-глинистых отложений неогенового возраста было извлечено около 100 млн т нефти. Количество добытой нефти, по расчетам горного инженера Л.И. Баскакова – первооткрывателя грозненских залежей – не могло вместиться во всех известных структурах этого района и прилегающих к ним впадин [1]. Однако, это может быть связано как с причинами, рассмотренными выше, так и с ошибками самого подсчета запасов УВ – например, при оценке величин подсчетных параметров.

Таким образом, мы считаем, что несмотря на постоянно и непрерывно происходящий процесс синтеза углеводородов [6], их

поступление в верхние части осадочной оболочки в объемах, заметно компенсирующих в реальном времени добываемые количества УВ, остается предметом дискуссий.

В отношении направлений миграции УВ мы являемся сторонниками мнения о наличии «ступенчатой» миграции, когда генерирующиеся УВ начинают перемещение вверх по ослабленным зонам (разломным, трещинным). Поступая в толщи проницаемых пород, они перемещаются в латеральном направлении, пока не найдут пути перемещения в гипсометрически вышерасположенные резервуары. В природных резервуарах активное перемещение пластовых вод и увлекаемых этими водами УВ приурочено, преимущественно, к зонам тоннельно-канальной миграции. Даже в случае потери подвижности вод, в этих зонах газообразные и жидкие УВ продолжают движение по правилам плотностной дифференциации, пока не встретят на своем пути ловушку. Этим процессом объясняется отмечаемое обычно полосовое, вплоть до линейного, расположение месторождений и зон нефтегазонакопления.

Проблема восполнения запасов УВ в месторождениях ставит несколько самостоятельных, до сих пор не решенных, вопросов. Во-первых – вопрос об объемах притока запасов для каждой конкретной залежи в единицу времени. Проблема может быть решена путем целенаправленных наблюдений за рядом выработанных залежей. Учитывая масштабность и длительность таких исследований, найти энтузиастов для их финансирования и организации будет непросто. Приходится ориентироваться на публикации по отдельным месторождениям, – например, Ромашкинскому, – которые не позволяют делать однозначные выводы не только об объемах восполнения УВ, но и об источнике такого восполнения, либо вообще о его реальности. Возможно, это продолжение дифференциации УВ внутри коллектора за счет сохранившихся и плохо дренированных участков, УВ, сохранившихся в «тупиковых» пустотах, абсорбированных на поверхности минеральных частиц, т.е. часть общих изначально содержащихся в залежи геологических запасов нефти, обычно составляющая 60–70 % от этих запасов.

Возможен переток УВ из более глубоких залежей в расположенные выше в пределах единого для них месторождения в случае их гидродинамической сообщаемости. В случае естественных пе-

перетоков их масштабы могут сильно различаться. Проявление перетоков может быть периодическим: например, при нарушении изолирующих свойств пород-покрышек в результате сейсмических явлений и последующего пережима проводящих каналов. Таким образом, перетоки могут иметь циклически-пульсирующий характер. Поступающие из глубин легкие углеводороды уменьшают вязкость тяжелых остаточных УВ залежей, способствуют поддержанию пластового давления и повышают таким образом нефтеотдачу. Один из способов увеличения КИН – закачка в пласт газа, который, растворяясь, снижает вязкость нефти, увеличивает ее объем и выталкивает из пласта, такая технология позволяет не только повышать коэффициент извлечения нефти, но и утилизировать попутный нефтяной газ [9].

Исходя из изложенных взглядов, следует различать этапы (фазы) нефтегазообразования, соответствующие времени погружения карбонатосодержащих толщ в глубинные зоны с достаточными термодинамическими и геохимическими обстановками для образования УВ. Пока параметры таких обстановок не выяснены, приходится оперировать избыточными показателями, которые однозначно должны осуществляться в зонах глубоких погружений – Прикаспийской, Терско-Кумской и других подобных тектонических впадин. При этом углеводороды, по нашим представлениям, испытывают вертикальное перемещение, перемежающееся с горизонтальным. Нельзя исключать и вероятность диффузно-рассеянной вертикальной миграции через многочисленные мелкие трещины перекрывающих пород, которые временно появляются при сильных землетрясениях, придавая вертикальной миграции пульсирующий характер.

Однозначным признаком подтока флюидов в залежи считается существование АВПД, поскольку согласно «вертикально-миграционной газо-геодинамической» теории К.А. Аникиева, аномалия возникает в результате вертикального подтока флюидов из более глубоких зон с более высокими давлениями. Для накопления в пласте упругих избыточных запасов необходимо сочетание двух факторов – интенсивной вертикальной миграции по разломам сжатых под большим давлением мантийных флюидов и наличия изолирующей толщи-покрышки, способной эффективно сдерживать упругую сверхвысокую энергию этих флюидов. Миграция флюидов и перенасыщение ими

различных пластов в осадочном чехле происходят вследствие всплесков интенсивных газогеохимических процессов («пульсаций») в недрах земной коры. Этот «инъекционный» механизм формирования АВПД действует на прогрессивной (активной) стадии газогеохимического цикла. На этой стадии горячие парогазовые смеси, жидкие углеводороды, газы, ювенильные щелочные маломинерализованные воды и другие флюиды вторгаются снизу в структуры осадочного чехла, создавая в них АВПД. При этом в экранирующих толщах возникают «ореолы вторжения» [10].

Выводы

Таким образом, явными признаками залежей и месторождений с восполняемыми запасами являются очаговые геотермические и геохимические аномалии, свидетельствующие также о вертикальном подтоке глубинных флюидов. Примеры таких аномалий известны на многих месторождениях – гелиевые (Чаяндинское, Оренбургское), йодо-бромные (Анастасиевско-Троицкое). Ореолы опреснения пластовых вод также свидетельствуют о вертикальной миграции парогазовой смеси с последующей ее конденсацией в более высоко расположенных, а следовательно, более холодных толщах, что характерно для месторождений Терско-Сунженской зоны нефтегазонакопления. Заодно все месторождения этой зоны, как отмечал Г.М. Сухарев, отличаются положительной геотермической аномалией, для территории большинства месторождений геотермические степени всего 12–16 м.

Библиографический список

1. Гаврилов В.П. Возможные механизмы естественного восполнения запасов на нефтяных и газовых месторождениях // Геология нефти и газа. № 1. М.: Геоинформмарк, 2008. С. 56–64.
2. Сазонов, И.Г. Особенности геологического развития Минераловодского выступа / И.Г. Сазонов, Д.А. Коллеганова (Д.А. Астапова) // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. № 3. Ставрополь: Сев-КавГТУ, 2006. С. 68–70.
3. Сазонов, И.Г. Новейшие и современные тектонические движения в северной части Транскавказского субмеридионального поднятия и их влияние на рудо- и нефтегазоносность / И.Г. Сазонов, В.М. Харченко, Д.А. Коллеганова // Разведка и охрана недр. Раздел «Геология и методика поисков и разведки месторождений». М.: ФГУП ВИМС, 2009. Вып. № 3. 76 с.
4. Бочкарев В.А., Бочкарев А.В. Восполняемые запасы углеводородов. М.: ВНИИОЭНГ, 2017. 276 с.
5. Абасов М.Т. Переформирование запасов в истощенных залежах нефти / М.Т. Абасов, Э.С. Закиров, Э.А. Мамедов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. № 5. М.: ВНИИОЭНГ, 2007. С. 28–30.
6. Муслимов Р.Х. Новый взгляд на перспективы развития супергигантского Ромашкинского нефтяного месторождения // Геология нефти и газа. М.: ВНИГНИ-2, 2007. Вып. № 1. С. 109–113.
7. Муслимов Р.Х. Потенциал фундамента нефтегазоносных бассейнов // ТЭК. 2004. № 2.
8. Сазонов И.Г. Углеводороды как звено в общем круговороте углерода в природе / И.Г. Сазонов, Д.А. Астапова, М.А. Сазонова, З.М. Курбанов // Актуальные проблемы нефтегазовой отрасли Северо-Кавказского федерального округа: материалы V-й ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону». Ставрополь: ТЭСЭРА, 2017. 256 с.
9. Назарова Л.Н. Оценка эффективности технологии закачки газа в низкопроницаемые многопластовые объекты / Л.Н. Назарова, С.Н. Карпов // Территория «НЕФТЕГАЗ», 2019. № 9. С. 58–63.

10. М.Д. Белонин. Аномально высокие пластовые давления. Происхождение, прогноз, проблемы освоения залежей углеводородов / Белонин М.Д., Славин В.И., Чилингар Д.В. С.-Пб.: Недра, 2005. 323 с.

References

1. Gavrilov V.P. Possible mechanisms of natural replenishment in oil and gas fields // Oil and gas geology. № 1. M.: Geoinformmark, 2008. p. 56–64.
2. Sazonov, I.G. Geological development features of the Mineralovodskii ledge / I.G. Sazonov, D.A. Kolleganova (D.A. Astapova) // Bulletin of the North Caucasus State Technical University. № 3. Stavropol: NCSTU, 2006. p. 68–70.
3. Sazonov, I.G. The latest and modern tectonic movements in the northern part of the Transcaucasian submeridional uplift and their impact on ore and oil and gas bearing / I.G. Sazonov, V.M. Kharchenko, D.A. Kolleganova // Exploration and protection of mineral resources. Section "Geology and methods of deposits prospecting and exploration". M.: FSBI VIMS, 2009. №. 3. 76 p.
4. Bochkarev V.A., Bochkarev A.V. Replaceable hydrocarbon reserves. M.: VNIIOENG, 2017. 276 p.
5. Abasov M.T. Reforming reserves in depleted oil deposits / M.T. Abasov, E.S. Zakirov, E.A. Mamedov // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. № 5. M.: VNIIOENG, 2007. p. 28–30.
6. Muslimov R.Kh. A new look at the prospects for the development of the supergiant Romashkinskoye oil field // Oil and gas geology. M.: VNIGNI-2, 2007. № 1. p. 109–113.
7. Muslimov R.Kh. Oil and gas basins basement's potential // FEC. 2004. № 2.
8. Sazonov I.G. Hydrocarbons as a link in the general carbon cycle in nature / I.G. Sazonov, D.A. Astapova, M.A. Sazonova, Z.M. Kurbanov // Actual problems of the oil and gas industry of the North Caucasian Federal District: materials of the V-th annual scientific and practical conference of the North Caucasian Federal University "University science to the region". Stavropol: LLC Publishing House "TESERA", 2017. 256 p.
9. Nazarova L.N. The efficiency evaluation of the gas injection technology into low-permeability multilayer objects / L.N. Naz-

arova, S.N. Karpov // Territory "NEFTEGAZ", 2019. № 9. p. 58–63.

10. M.D. Belonin. Abnormally high reservoir pressures. Origin, forecast, problems of hydrocarbon deposits development / Belonin M.D., Slavin V.I., Chilingar D.V. St. Petersburg: Nedra, 2005. 323 p.

Поступило в редакцию 28.04.2021,

Принята к публикации 27.05.2021.

Об авторах

Сазонов Игорь Георгиевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии нефти и газа Северо-Кавказского Федерального университета (СКФУ). E-mail: kafgog@ncfu.ru

Астапова Дарья Алексеевна, кандидат геолого-минералогических наук, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», заместитель начальника отдела авторского надзора за эксплуатацией ПХГ (г. Ставрополь).
E-mail: darya.astapova@gmail.com

About the authors

Sazonov Igor Georgievich, PhD in Geological and Mineralogical Sciences, associate professor of the Oil and gas geology department of the North Caucasus Federal University. E-mail: kafgog@ncfu.ru

Astapova Darya Alekseevna, PhD in Geological and Mineralogical Sciences, «Gazprom VNIIGAZ Ltd.», Deputy Head of the Department of Field Supervision of UGS Operations (Stavropol).
E-mail: darya.astapova@gmail.com.

25.00.17
УДК 622.276.66

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Грачев С.И.,
Рогозина Т.В.,
Колев Ж.М.,
Мамчистова Е.И.**

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия,
kolevzm@tyuiu.ru

**ПРИТОК К НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЕ
СО СЛОЖНОЙ ТРАЕКТОРИЕЙ СТВОЛА
В ПРОДУКТИВНОМ ПЛАСТЕ**

DOI 10.37493/2308-4758.2021.2.3

Введение. В данной работе рассматриваются подходы к расчету продуктивности нефтяных скважин сложного профиля. Существующие решения не позволяют учесть множество важных факторов, таких как, например, гидравлические сопротивления в стволе скважины, траекторию ствола скважины и др.

Материалы и методы исследований. В статье представлен разработанный численный метод моделирования притока нефти к нефтяной скважине со сложной траекторией ствола по продуктивному пласту.

Результаты исследований и их обсуждение. На основе функции для потенциала точечного стока и методики гидравлических расчетов, получено оригинальное решение, которое учитывает не только изменение давления и расходов по отдельным участкам скважины, но и гидродинамическое несовершенство скважины.

Выводы. Выполнены расчеты дебита скважины, проведено численно-аналитическое решение, численное моделирование и сравнение результатов эксплуатации скважин с волнообразным и горизонтальным стволами, на основе моделирования их работы.

Ключевые слова: продуктивность, дебит скважин, траектория ствола, нефтяная скважина, моделирование, приток.

Grachev S.I. Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia;
Rogozina T.V. Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia;
Kolev Zh.M. Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia;
Mamchistova E.I. Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

Oil well inflow with a complex wellbore trajectory at the development reservoir

Introduction. This paper discusses approaches to calculating the productivity of oil wells. Existing solutions do not allow taking into account many important factors, such as, for example, hydraulic resistance in the wellbore, wellbore trajectory, etc.

Materials and methods of research. The article presents a developed numerical method for modeling oil flow to an oil well with a complex wellbore trajectory along the productive formation.

Results and Discussion. Based on the function for the point flow potential and the method of hydraulic calculations, an original solution was obtained, which takes into account not only the change in pressure and flow rates for individual sections of the well, but also the hydrodynamic imperfection of the well.

Conclusion. Comparison of the results of operation of wells with undulating and horizontal wells, based on the simulation of their work, is carried out.

Key words: well productivity, production rate, wellbore complex trajectory, oil well, modeling, inflow.

Введение

В СССР поиски технических решений для строительства скважин сложного профиля в продуктивном пласте были начаты в 1949 г. А.М. Григоряном, В.А. Брагиным и К.А. Царевичем. При их применении кратно возрастают дебиты скважин, увеличивается площадь зоны дренирования, и коэффициент извлечения нефти [1]. В настоящее время разработка месторождений с применением скважин сложной геометрии является актуальным направлением развития нефтяной промышленности. Для увеличения площади вскрытия коллектора применяют технологию искусственного искривления траектории горизонтального окончания при помощи роторных управляемых систем. На рисунке 1 приведена Схе-

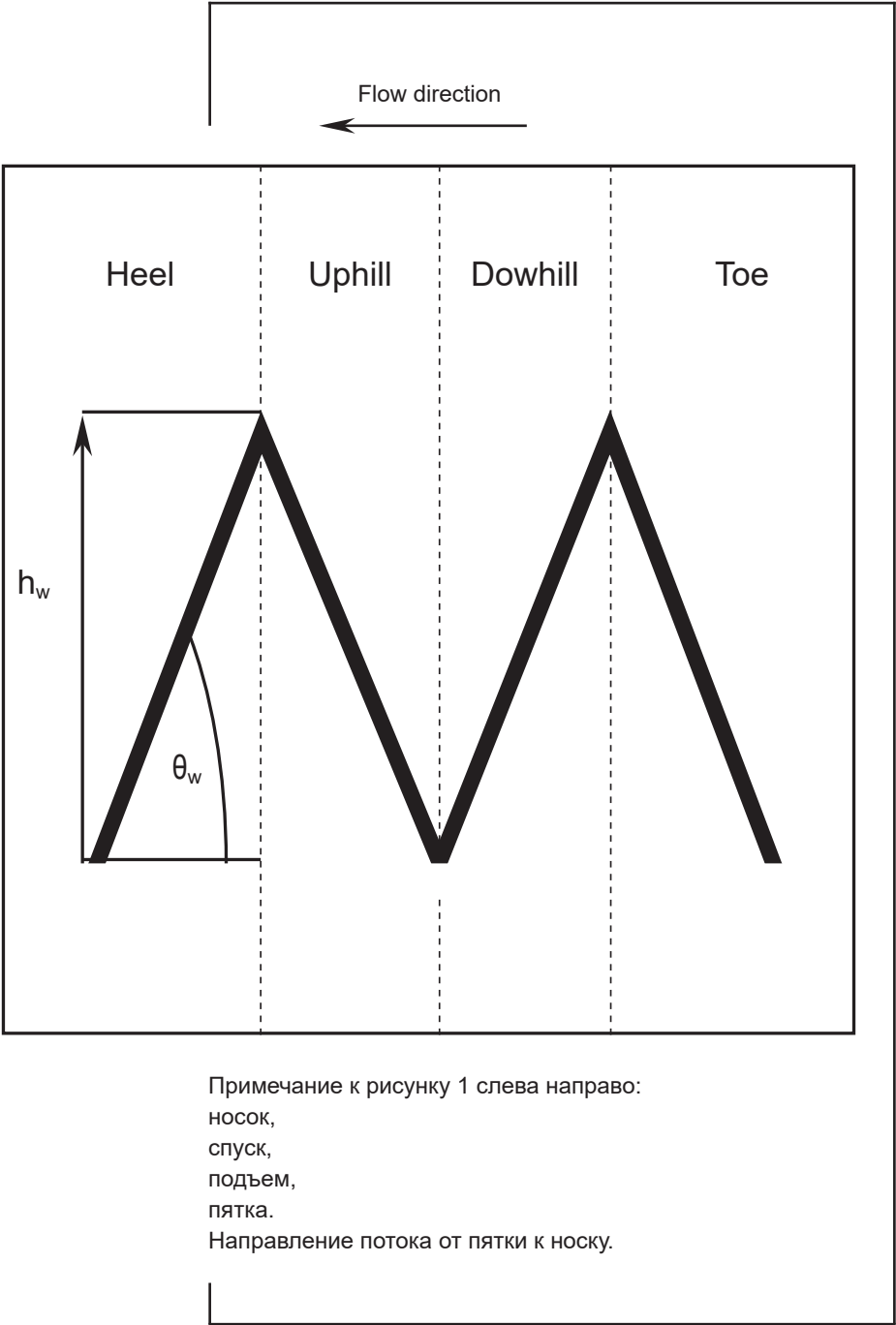


Рис. 1. **Схема скважины горизонтальным окончанием с двумя циклами волнообразного профиля.**

Fig. 1. A horizontal well to the well with two wave-shaped cycles.

ма скважины горизонтальным окончанием с двумя циклами волнообразного профиля [2]

Такая конструкция горизонтального окончания может быть обусловлена необходимостью вскрытия слоистых пластов с частым прослаиванием песчаников и глинистых перемычек.

Материалы и методы исследований

В настоящее время известны аналитические формулы для определения удельного дебита участков скважин с горизонтальным окончанием. В работе А.С. Самойлова [1] рассмотрено влияние увеличения длины ствола, открытого притоку на рост гидравлических потерь и уменьшение депрессии в направлении окончания горизонтального ствола. Рассмотрим зависимости, позволяющие моделировать приток к открытому стволу скважины сложной геометрии. Ф.Н. Доманюк предлагает моделировать открытый ствол скважины цепочкой сфер в работе [3].

Для расчета воспользуемся уравнением для притока жидкости к волнообразной скважине с произвольным числом циклов Ф.Н. Доманюка [2]:

$$Q = \frac{2\pi k h}{\mu B} \frac{(P_{\kappa} - P_{\text{з}})}{\left[\ln \left(\frac{\pi e R_{\kappa}}{2L \cdot \sin \varphi} \right) + \frac{h}{L} \ln \left(\frac{2h \cdot \sin \varphi}{\pi e (1 + \gamma) r_c} \right) \right]} \quad (1)$$

где: $\gamma = \left(\frac{h - \rho \cdot \cos \varphi}{4h} \right)^{0.5}$,

k – абсолютная проницаемость пласта, м²;

h – мощность пласта, м;

μ – вязкость нефти, Па·с;

B – объемный коэффициент нефти, б.р.;

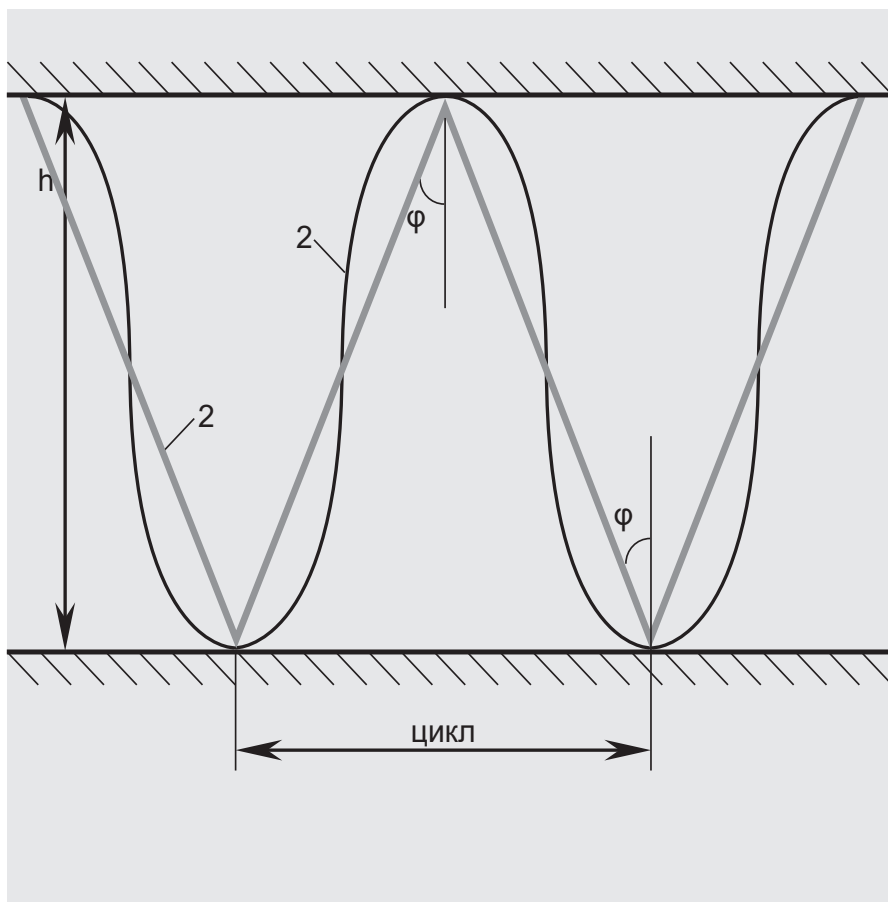


Рис. 2.

Схематизация траектории синусоидальной скважины:

- 1 – траектория сложнопрофильной скважины;
2 – упрощенная траектория.**

Fig. 2. Schematization of the trajectory of the sinusoidal well:
1 – trajectory of a complex well;
2 – simplified trajectory.

P_k –	давление на контуре питания, Па;
P_z –	забойное давление, Па;
R_k –	радиус контура питания, м;
ρ –	длина одного наклонного участка, м;
φ –	угол наклона прямолинейного участка, град;
L –	длина скважины, м;
r_c –	радиус скважины, м.

Для расчета дебита волнообразной скважины (1) примем следующие данные:

$$k = 2,96 \cdot 10^{-14} \text{ м}^2, h = 40 \text{ м}, \mu = 0,005 \text{ Па} \cdot \text{с}, B = 16 \cdot p.,$$

$$P_k = 18,5 \text{ МПа}, P_z = 15 \text{ МПа}, R_k = 400 \text{ м},$$

$$\rho = 304 \text{ м}, \varphi = 83^\circ, L = 762 \text{ м}, r_c = 0,1 \text{ м}.$$

$$\gamma = \left(\frac{40 - 304 \cdot \cos \varphi}{4 \cdot 304} \right)^{0,5} = 0,1599$$

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot 2,96 \cdot 10^{-14}}{0,005 \cdot 1} \frac{(18,5 - 15) \cdot 10^6}{\left[\ln \left(\frac{\pi \cdot e \cdot 400}{2 \cdot 762 \cdot \sin \varphi} \right) + \frac{40}{762} \ln \left(\frac{2 \cdot 40 \cdot \sin \varphi}{\pi \cdot e \cdot (1 + 0,1599) \cdot 0,1} \right) \right]} = 430 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}$$

Дебит скважины, рассчитанный по аналитической формуле, составил 430 м³/сут.

Многими исследователями [2–6] отмечается, что профиль притока вдоль горизонтальной скважины имеет U-образную форму. Знание дебитов отдельных участков, позволяет оценить влияние интерференции на другие участки ствола с учетом расстояния между участками и их производительности, а так же учитывать интерференцию со стороны соседних скважин.

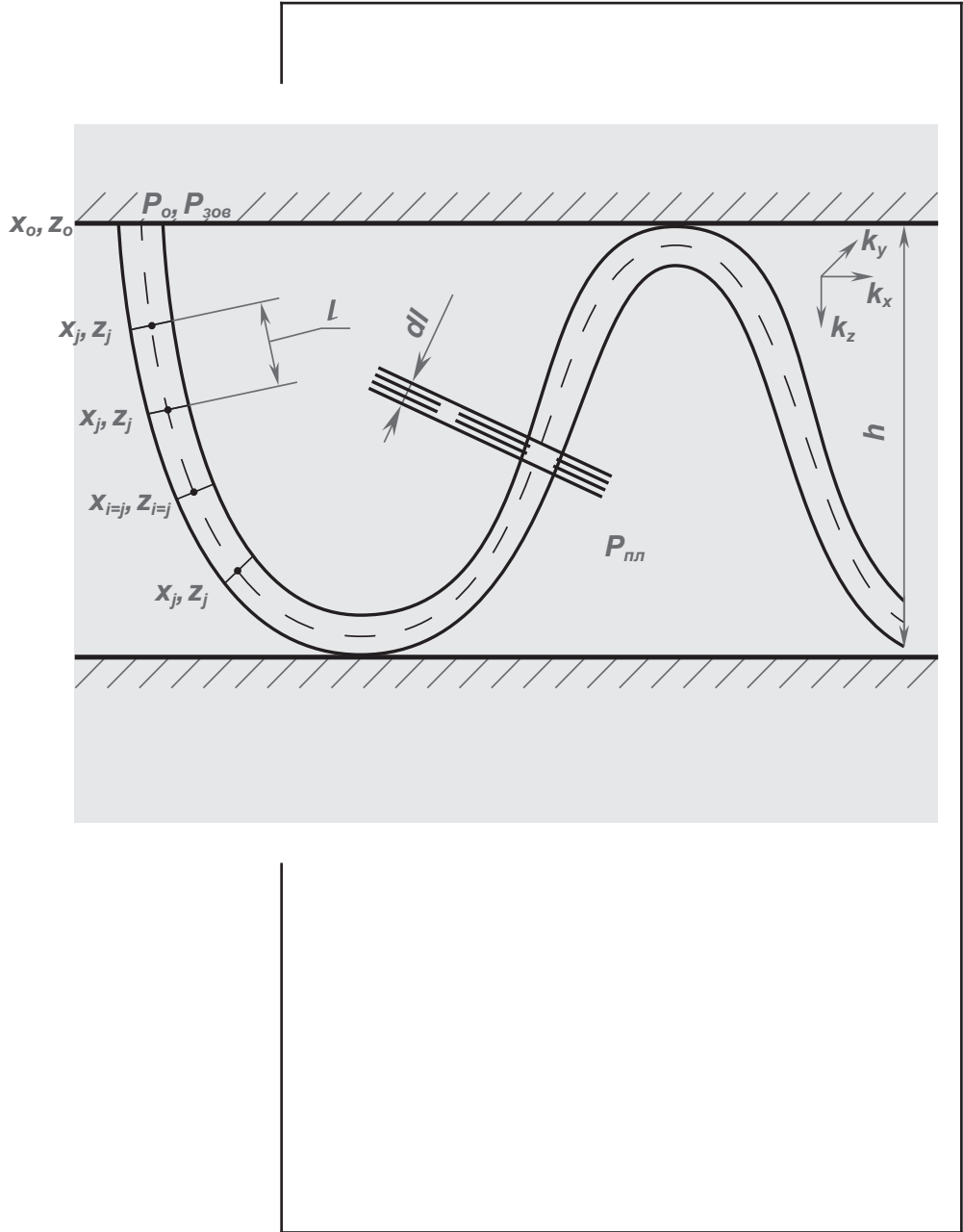


Рис. 3. Представление траектории синусоидальной скважины в виде последовательности прямолинейных участков.

Fig. 3. Representation of the trajectory of the sinusoidal well in the form of a sequence of straight-line areas.

Для решения описанной выше задачи разобьем открытый ствол на множество участков, длина каждого из которых много меньше длины ствола и определим дебит каждого участка с учетом его интерференции с остальными. Представим элементарный участок ствола dl точечным стоком, к которому идет радиально-сферический приток. Тогда прямолинейный участок конечной длины является линией стоков.

Представляя траекторию ствола как множество последовательно расположенных прямолинейных участков (линий стоков), вычисляя угол α с вертикалью каждого участка длиной l , получаем выражение для падения депрессии в пласте (подробный вывод формул приведен в работе [7]):

$$\Delta P_j = \sum_{i=1}^N Q_i S_{ij}$$

$$S_{ij} = \frac{\mu}{4\pi k_{eq}} \int_0^{l_j} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \sqrt{\chi \left(\left(x_{j-1} + \frac{l_j}{2} \sin(\alpha_j) \right) - (x_{i-1} - L \cdot \sin(\alpha_j)) \right)^2 + \chi_h r_c^2 + \chi \left(\left(z_{j-1} + \frac{l_j}{2} \cos(\alpha_j) \right) - (z_{i-1} + L \cdot \cos(\alpha_j)) + 2nh \right)^2}^{-1} + \\ & + \sqrt{\chi \left(\left(x_{j-1} + \frac{l_j}{2} \sin(\alpha_j) \right) - (x_{i-1} - L \cdot \sin(\alpha_j)) \right)^2 + \chi_h r_c^2 + \chi \left(\left(z_{j-1} + \frac{l_j}{2} \cos(\alpha_j) \right) + (z_{i-1} + L \cdot \cos(\alpha_j)) + 2nh \right)^2}^{-1} - \\ & - 0,5 \left[\sqrt{\chi \left(\left(x_{j-1} + \frac{l_j}{2} \sin(\alpha_j) \right) - (x_{i-1} - L \cdot \sin(\alpha_j)) \right)^2 + \chi_h R_k^2 + \chi \left(\left(z_{j-1} + \frac{l_j}{2} \cos(\alpha_j) \right) - (z_{i-1} + L \cdot \cos(\alpha_j)) + 2nh \right)^2}^{-1} - \right. \\ & - 0,5 \left[\sqrt{\chi \left(\left(x_{j-1} + \frac{l_j}{2} \sin(\alpha_j) \right) - (x_{i-1} - L \cdot \sin(\alpha_j)) \right)^2 + \chi_h R_k^2 + \chi \left(\left(z_{j-1} + \frac{l_j}{2} \cos(\alpha_j) \right) + (z_{i-1} + L \cdot \cos(\alpha_j)) + 2nh \right)^2}^{-1} - \right. \\ & \left. - 0,5 \left[\sqrt{\chi \left(\left(x_{j-1} + \frac{l_j}{2} \sin(\alpha_j) \right) - (x_{i-1} - L \cdot \sin(\alpha_j)) \right)^2 - \chi_h R_k^2 + \chi \left(\left(z_{j-1} + \frac{l_j}{2} \cos(\alpha_j) \right) - (z_{i-1} + L \cdot \cos(\alpha_j)) + 2nh \right)^2}^{-1} - \right. \end{aligned}$$

$$-0,5 \left(\sqrt{\chi_h \left(\left(x_{j-1} + \frac{l_j}{2} \sin(\alpha_j) \right) - (x_{i-1} - L \cdot \sin(\alpha_j)) \right)^2 - \chi_h R_k^2 + \chi_v \left(\left(z_{j-1} + \frac{l_j}{2} \cos(\alpha_j) \right) + (z_{i-1} + L \cdot \cos(\alpha_j)) + 2nh \right)^2} \right)^{-1} dL$$

h – толщина пласта, м,

$\chi_h = \sqrt{k_q / k_h}$ – анизотропия в горизонтальном направлении, б.р.,

$\chi_v = \sqrt{k_q / k_v}$ – анизотропия в вертикальном направлении, б.р.,

x, y, z – координаты прямолинейных участков ствола, м,

R_k – расстояние до контура питания, м.

Для определения дебитов участков ствола (профиля притока) необходимо решать совместно систему уравнений распределения давления в пласте при работе N участков и уравнение развивающегося потока жидкости в стволе скважины. Давление в пласте будем находить на стенке каждого участка как суперпозицию давлений, созданных работой всех участков. Движение жидкости по скважине описывается уравнением Бернулли.

$$\rho g z_b + P_b + \frac{\rho V_b^2}{2} = \rho g z_a + P_a + \frac{\rho V_a^2}{2} + \rho g \sum h \quad (3)$$

где: $\rho g \sum h$ – потери давления, при движении жидкости между точками b и a , Па,

V – скорость жидкости, м/с.

Окончательно, имеем систему уравнений, решая которую относительно Q находим дебит каждого участка.

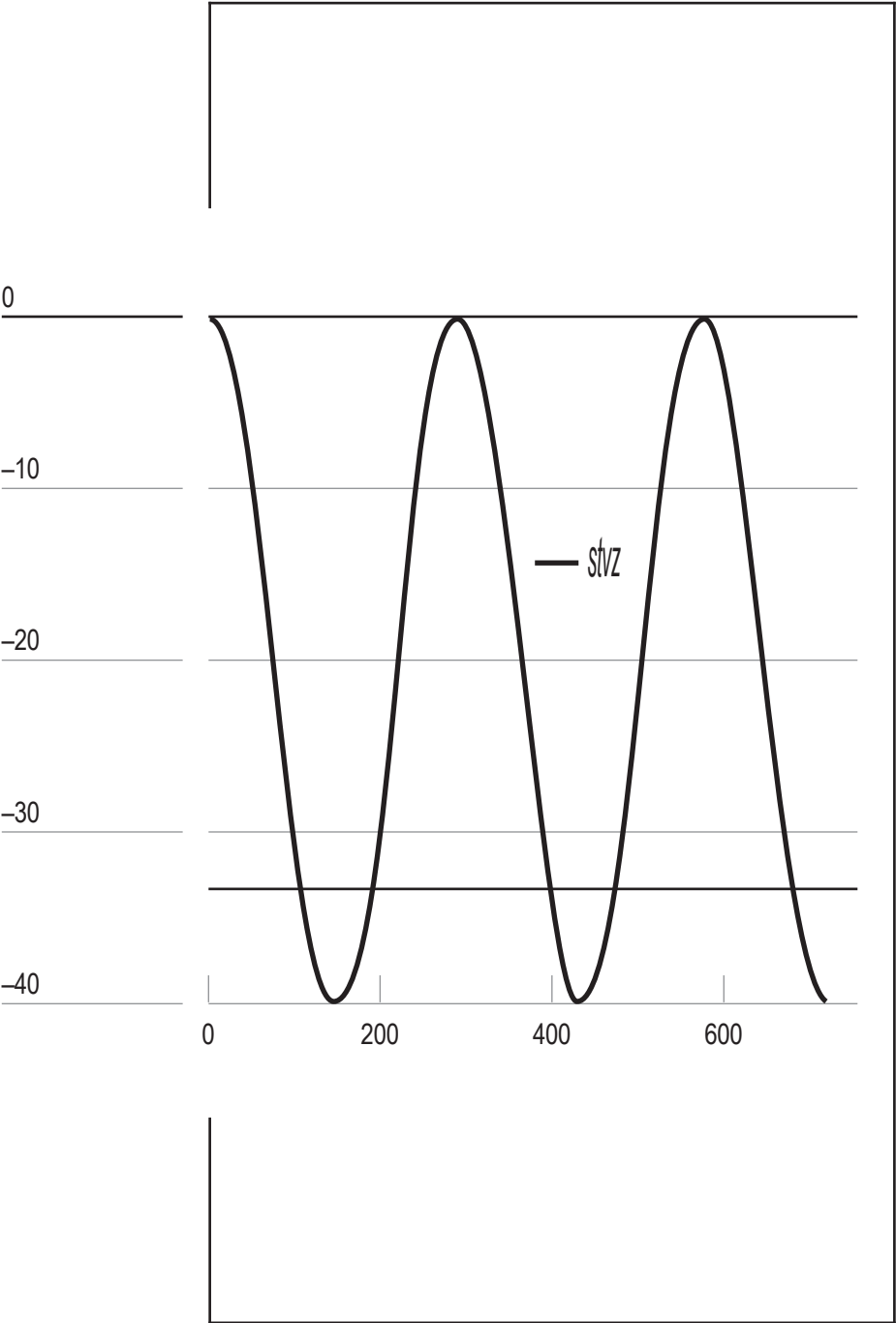


Рис. 4. **Траектория волнообразного горизонтального**
окончания по пласту.

Fig. 4. Wave-like horizontal well trajectory.

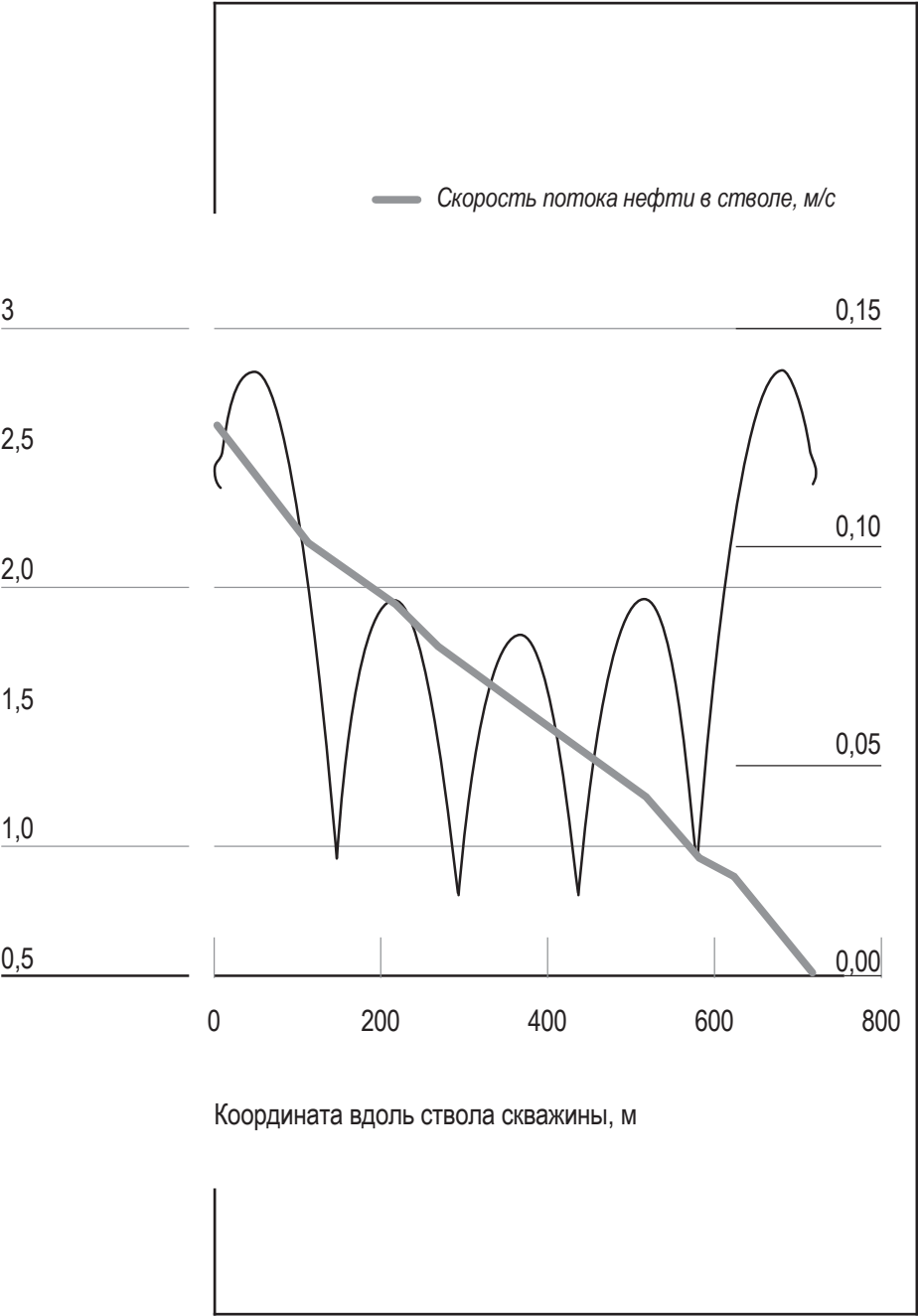


Рис. 5. Профиль притока и эпюра скоростей по стволу волнообразного горизонтального окончания

Fig. 5. Inflow profile and speed episode along the trunk of the wave-shaped horizontal end.

Дебит скважины, рассчитанный в программном комплексе tNavigator, составил 342 м³/сут.

Расчет профиля притока в программном комплексе tNavigator подтверждает исследования ученых [2–6] о U-образной форме распределения дебитов участков вдоль ствола скважины.

Результаты исследования
и их обсуждение

Для оценки влияния учета дополнительных параметров волнообразной скважины, таких как траектория профиля в продуктивном пласте, влияние близости непроницаемых границ (кровли и подошвы), неравномерности распределения профиля притока по стволу скважины, гидравлических сопротивлений, были проведены расчеты по формулам Борисова [8] и Joshi [9] для горизонтального окончания той же длины, проходящего по середине пласта. Сводная таблица по результатам расчетов приведена в таблице 1.

Таблица 1. COMPARISON OF CALCULATED INFLOW
Table 1. Сравнение расчетных дебитов

Формула	ГС (Борисов)	ГС (Джоши)	Доманюк	Сохошко- Колев	Численная модель tNavigator
Дебит, м³/сут	446	445	430	342	342

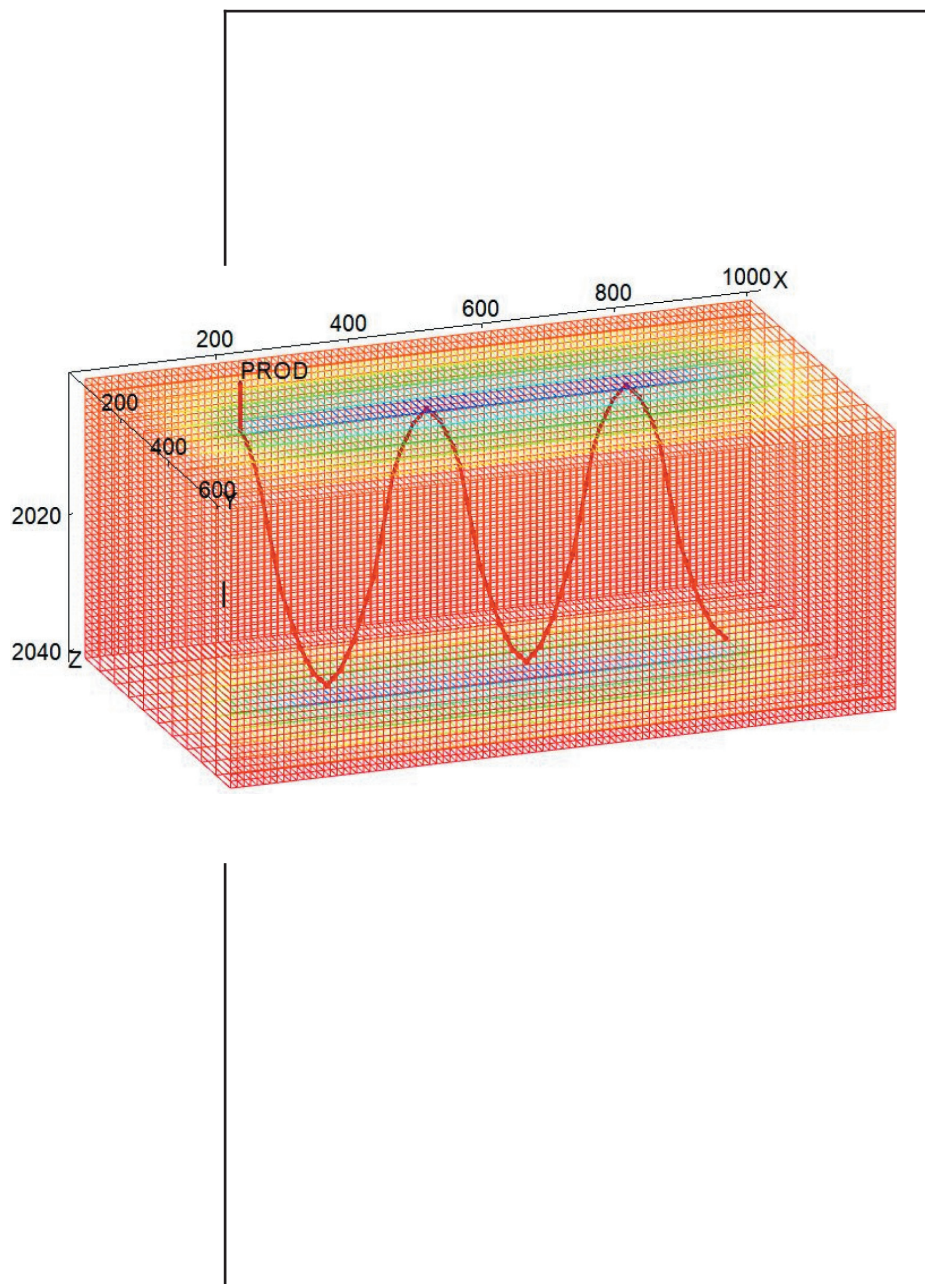


Рис. 6.

3Д модель горизонтальной скважины с волнообразным окончанием в программном комплексе tNavigator.

Fig. 6. 3D model of horizontal well with wave-like ending in the tNavigator software complex.

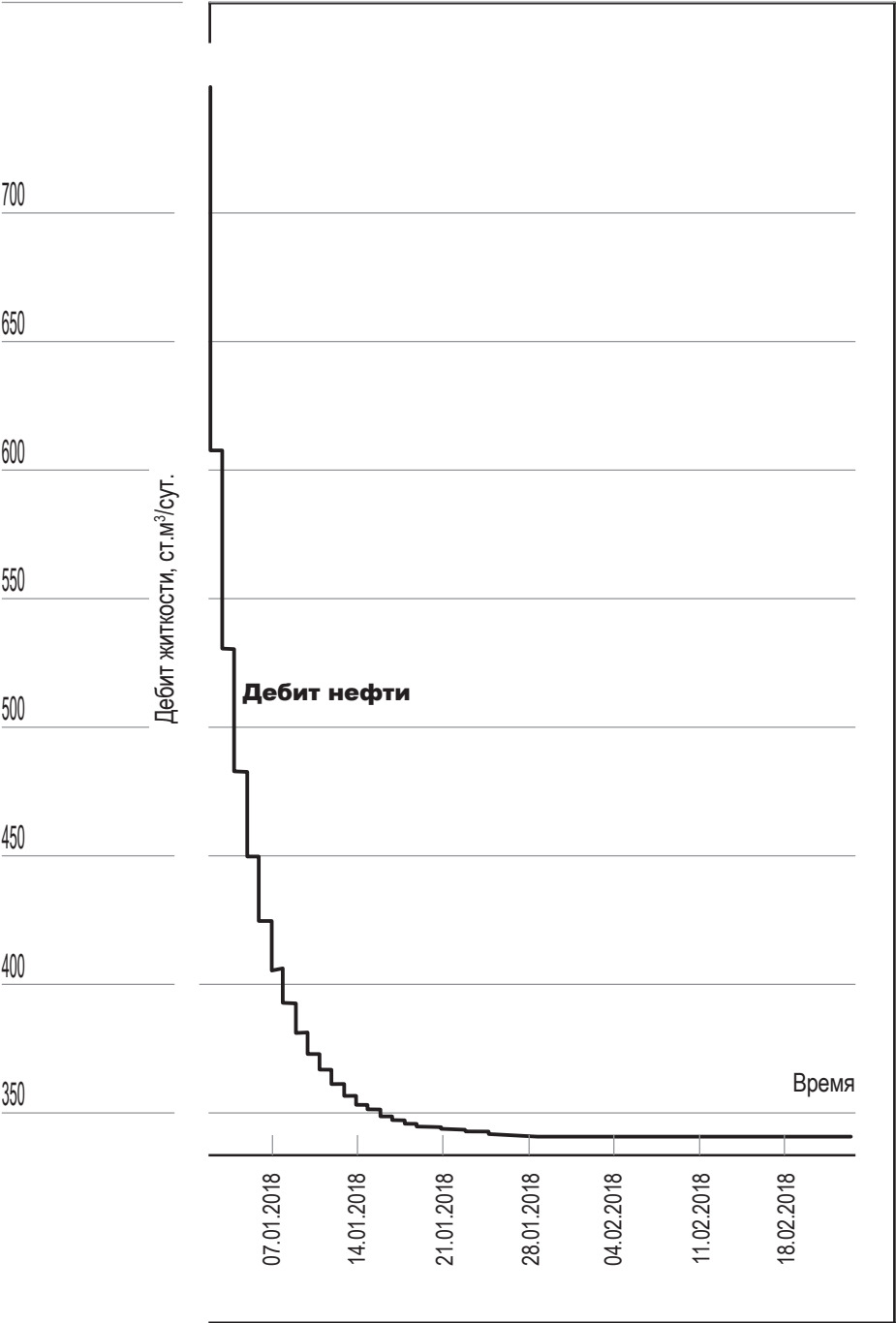


Рис. 7. Динамика дебита нефти, рассчитанная в tNavigator.

Fig. 7. Oil inflow dynamics calculated in tNavigator.

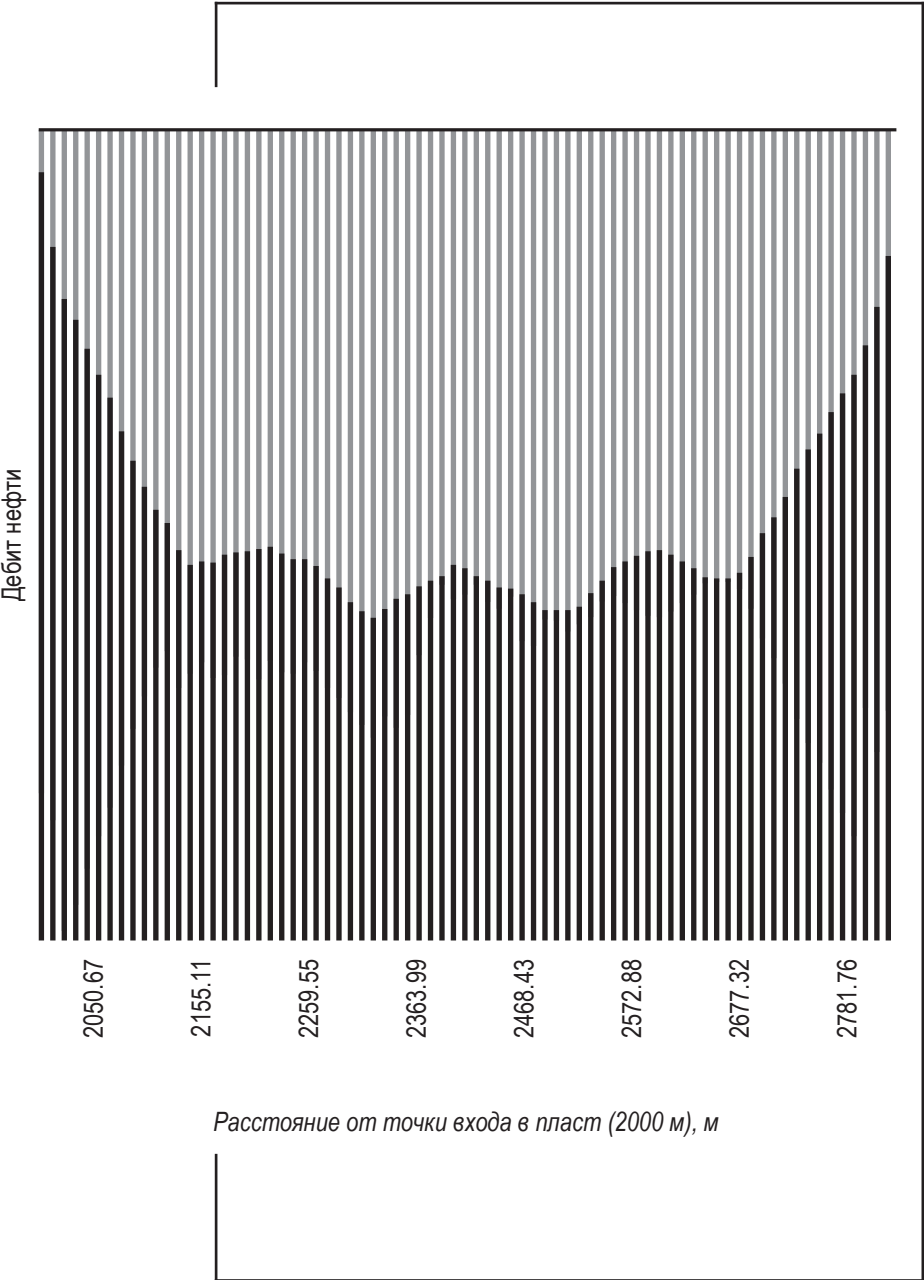


Рис. 8. Профиль притока к перфорации горизонтальной скважины с волнообразным профилем в изотропном пласте.

Fig. 8. Profile of the inflow to the perforation of a horizontal well with a undulating profile in the isotropic layer.

Выводы

На основе аналитических формул выполнены расчеты дебита скважины с волнообразным профилем в изотропном пласте, проведено численно-аналитическое решение и численное моделирование, которые дают близкие результаты расчета притока жидкости.

Установленная разница на 20% при сравнении аналитического и численного решения задачи, показывает, что упрощенной формулой можно пользоваться для экспресс-оценки продуктивности скважины волнообразного профиля. Завышение значений, получаемые по формулам Борисова и Joshi объясняются тем, что положение ствола скважины при выводе формулы авторами принималось по середине продуктивного пласта, тогда как участки ствола скважины с волнообразным профилем вблизи кровли и подошвы работают с меньшими дебитами.

Библиографический список

1. Разработка нефтяных месторождений горизонтальными скважинами : учебное пособие / С.И. Грачев, А.С. Самойлов. Тюмень : ТюмГНГУ, 2015. 144 с.
2. Rungtip Kamkom. Modeling performance of horizontal, undulating, and multilateral wells, Ph. D. dissertation. Texas A&M University. 2007. pp.137
3. Доманюк Ф.Н. Стационарный приток жидкости к скважине с волнообразным профилем // Нефтепромысловое дело. 2011. № 7. С. 21-26.
4. Khalid Aziz and Liang-Biao Ouyang, Productivity of Horizontal and Multilateral Wells. Petroleum Science and Technology, Volume 19, Issue 7-8, 2001. Pages 1009-1025.
5. Yula Tang. Optimization of horizontal well competition. Ph. D. dissertation. The university of Tulsa. 2001. pp. 233
6. Penmatcha, V. R. and K. Aziz 1998. A comprehensive reservoir /wellbore model for horizontal wells, SPE India Oil and Gas Conference, New Delhi, India. SPE 39521. Pages 191-204.
7. Сохошко С.К., Колев Ж.М. Профиль притока к пологому стволу нефтяной скважины на стационарном режиме. НТЖ «Нефтепромысловое дело». М.: ВНИИОЭНГ, № 3. 2014. С. 33-40.
8. Борисов Ю.П., Пилатовский В.П., Табаков В.П. Разработка нефтяных месторождений с горизонтальными и многозабойными скважинами. М.: Недра, 1964, 364 с.
9. Joshi S.D. Augmentation of well productivity with slant and horizontal wells. J. of Petrol Techn. June, 1988, p. 729-739.

References

1. Development of oil fields horizontal wells: training manual / S.I. Grachev, A.S. Samoilov. Tyumen : TumGNGU, 2015. 144s.
2. Rungtip Kamkom. Modeling performance of horizontal, undulating, and multilateral wells, Ph. D. dissertation. Texas A&M University. 2007. pp.137
3. Domanyuk F. N. Stationary inflow of liquid to the well with a wave-like profile / Oil industry. 2011. № 7. Pp. 21-26.
4. Khalid Aziz and Liang-Biao Ouyang, Productivity of Horizontal and Multilateral Wells. Petroleum Science and Technology, Volume 19, Issue 7-8, 2001. Pages 1009-1025.
5. Yula Tang. Optimization of horizontal well competition. Ph. D. dissertation. The university of Tulsa. 2001. pp. 233
6. Penmatcha, V. R. and K. Aziz 1998. A comprehensive reservoir/wellbore model for horizontal wells, SPE India Oil and Gas Conference, New Delhi, India. SPE 39521. Pages 191-204.
7. Sohoshko S.K., Kolev J.M. Profile of the inflow to the gentle trunk of the oil well on stationary mode. NTJ "Oil industry business." M.: VNIIOENG, No. 3. 2014, from 33-40.
8. Borisov Yu,P., Pilatovsky V.P., Tabakov V.P. Development of oil fields with horizontal and multi-slaughter wells. M.: Nedra, 1964, 364 s.
9. Joshi S.D. Augmentation of well productivity with slant and horizontal wells. J. of Petrol Techn. June, 1988, p. 729-739.

**Поступило в редакцию 19.04.2021,
принята к публикации 08.05.2021**

Об авторах

Грачев С.И., заведующий кафедрой РЭНГМ, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «ТИУ», г. Тюмень, +79129989889 grachevsi@tyuiu.ru.

Рогозина Т.В., магистрант кафедры РЭНГМ, ФГБОУ ВО «ТИУ», г. Тюмень, +79323232427, rogozinatv@ingeos.ru.

Колев Ж.М., доцент кафедры РЭНГМ, к.т.н., ФГБОУ ВО «ТИУ», г. Тюмень, +79048899499, kolevzm@tyuiu.ru.

Мамчистова Е.И., профессор кафедры РЭНГМ, к.т.н., ФГБОУ ВО «ТИУ», г. Тюмень, +79224766703, mamchistovaei@tyuiu.ru.

About the authors

Grachev S.I., head of the Department of reservoir engineering, Ph.D., Professor, FSBOU VO "TIU", Tyumen, +79129989889 grachevsi@tyuiu.ru.

Rogozina T.V., Undergraduate of the Department of reservoir engineering, FSBOU "TIU" Tyumen, +79323232427, rogozinatv@ingeos.ru

Kolev Zh.M., Assistant Professor of reservoir engineering, Ph.D., FSBOU VO "TIU", Tyumen, 79048899499, kolevzm@tyuiu.ru.

Mamchistova E.I., Professor of the Department of reservoir engineering, Ph.D., FSBOU "TIU" in Tyumen, 79224766703, mamchistovaei@tyuiu.ru.

25.00.23	ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ (ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ)
УДК 576.8:591.67:579.842.23(470.63)	
Ашибоков У.М., Коржов П.Н., Ветошкин А.А., Сурхаев Д.Б., Халидов А.Х., Григорьев М.П.	«Ставропольский противочумный институт» Роспотребнадзора, г. Ставрополь, Россия; «Дагестанская противочумная станция» Роспотребнадзора, г. Буденновск, Россия; Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора, г. Ставрополь, Россия

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НОСИТЕЛЕЙ И ПЕРЕНОСЧИКОВ МИКРОБА ЧУМЫ В ПРЕДЕЛАХ СТАВРОПОЛЬСКОЙ ЧАСТИ ПРИКАСПИЙСКОГО ПЕСЧАНОГО ПРИРОДНОГО ОЧАГА ЧУМЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

DOI 10.37493/2308-4758.2021.2.4

Введение.	Прикаспийский песчаный природный очаг чумы до 1987 г входил состав Прикаспийского Северо-Западного степного природного очага. Основными носителями микроба чумы являются тамарисковая песчанка <i>Meriones tamariscinus</i> , полуденная песчанка <i>M. meridianus</i> и малый суслик <i>Spermophilus pygmaeus</i> , а основными переносчиками – блохи <i>Neopsilla setosa</i> , <i>Nosopsyllus laevis</i> и <i>Citellophilus tesquorum</i> .
Материалы и методы исследования.	Представленная работа составлена по материалам ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора, архивным данным Буденновского ПЧО ФКУЗ «Дагестанская противочумная станция» Роспотребнадзора и анализа литературы.
Результаты.	В рамках данной работы территория Прикаспийского песчаного природного очага чумы рассматривается в рамках новых границ (согласно предложениям специалистов ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора и ФКУЗ РосНИПЧИ «Микроб» Роспотребнадзора). Составлен список фауны наземных млекопитающих, блох и иксодовых клещей – носителей и переносчиков микроба чумы в Ставропольской части очага, в соответствии с современными систематическими взглядами и новыми границами. Отмечено 25 видов грызунов, 1 вид зайцеобразных, 5 видов насекомых, 10 видов хищников, 33 вида блох, 21 вид клещей.
Выводы.	Уточнен таксономический состав носителей и переносчиков микроба чумы в пределах Ставропольской части Прикаспийского песчаного природного очага чумы, с учетом современных систематических взглядов и новых границ.
Ключевые слова:	Ставропольский участок Прикаспийского песчаного природного очага чумы, микроб чумы, носители, переносчики, изменения границ очага.

Ashibokov U.M. Stavropol Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor, Stavropol, Russia;
Korzhov P.N. Dagestan Anti-Plague Station of Rospotrebnadzor, Budennovsk, Russia;
Vetoshkin A.A. Dagestan Anti-Plague Station of Rospotrebnadzor, Budennovsk, Russia;
Surkhayev D.B. Dagestan Anti-Plague Station of Rospotrebnadzor, Budennovsk, Russia;
Khalidov A.H. Dagestan Anti-Plague Station of Rospotrebnadzor, Budennovsk, Russia;
Grigoriev M.P. Stavropol Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor, Stavropol, Russia

Taxonomic Composition of Plague Microbe Hosts and Vectors Within the Stavropol Area of the Pre-Caspian Sandy Natural Plague Focus: Current State

Annotation: Materials and methods of research. The presented work is based on the materials of the Stavropol Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor, archival data of the Budennovsky PCHO of the Dagestan Anti-Plague Station of Rospotrebnadzor and the analysis of the literature. Results. Within the framework of this work, the territory of the Caspian sandy natural plague center is considered within the new borders (according to the proposals of the specialists of the Stavropol Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor and Rosnipchi «Microbe» of Rospotrebnadzor). A list of the fauna of terrestrial mammals, fleas and ixodid ticks – carriers and carriers of the plague microbe of the Stavropol part of the focus, in accordance with modern systematic views and new borders, has been compiled. There are 25 species of rodents, 1 species of hares, 5 species of insectivores, 10 species of predators, 33 species of fleas, 21 species of ticks. Conclusions. The taxonomic composition of carriers and vectors of the plague microbe within the Stavropol territory has been clarified.

Introduction. The Caspian sandy natural focus of the plague was a part of the Caspian North-Western Steppe natural focus until 1987. The main carriers of the plague microbe are the tamarisk gerbil *Meriones tamariscinus*, the midday gerbil *M. meridianus*, and the small ground squirrel *Spermophilus pygmaeus*, while the main carriers are the fleas *Neopsylla setosa*, *Nosopsyllus laeviceps*, and *Citellophilus tesquorum*.

Materials and methods of research. The presented work is based on the materials of the Stavropol Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor, archival data of the Budennovsky PCHO of the Dagestan Anti-Plague Station of Rospotrebnadzor and the analysis of the literature.

Results. Within the framework of this work, the territory of the Caspian sandy natural plague center is considered within the new borders (according to the proposals of the specialists of the Stavropol Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor and Rosnipchi «Microbe» of Rospotrebnadzor). A list of the fauna of terrestrial mammals, fleas and ixodid ticks – carriers and carriers of the plague microbe of the Stavropol part of the focus, in accordance with modern systematic views and new borders, has been compiled. There are 25 species of rodents, 1 species of hares, 5 species of insectivores, 10 species of predators, 33 species of fleas, 21 species of ticks.

Conclusions. The taxonomic composition of carriers and vectors of the plague microbe within the Stavropol territory has been clarified.

Key words: Stavropol area of the Pre-Caspian sandy natural plague focus, plague microbe, hosts, vectors, boundary changes.

Введение

Прикаспийский песчаный природный очаг чумы до 1987 года входил состав Прикаспийского Северо-Западного степного природного очага. В настоящее время очаг расположен на административной территории четырех субъектов РФ: Республики Дагестан, Астраханской области, Республики Калмыкии и Ставропольского края.

Основными носителями микроба чумы являются тамарисковая песчанка *Meriones tamariscinus*, полуденная песчанка *M. meridianus* и малый суслик *Spermophilus pygmaeus*, а основными переносчиками – блохи *Neopsylla setosa*, *Nosopsyllus laeviceps* и *Citellophilus tesquorum*.

На территории Ставропольского края расположен участок южной части этого очага чумы.

До середины прошлого столетия Ставропольский участок Прикаспийского песчаного природного очага чумы проявлял высокую эпизоотическую активность. Последние пробы, в которых были выявлены ДНК возбудителя чумы, получены из Курского района в 2014 году. В настоящее время очаг находится в межэпизоотическом периоде.

Территория Прикаспийского песчаного природного очага чумы обследуется несколькими противочумными организациями: ФКУЗ «Дагестанская противочумная станция» Роспотребнадзора с Буденновским ПЧО, ФКУЗ «Элистинская противочумная станция» Роспотребнадзора, ФКУЗ «Астраханская противочумная станция» Роспотребнадзора. Также стоит отметить, что на территории Ставропольской части данного очага регистрируется и ряд других природно-очаговых инфекций, такие как туляремия и КГЛ, в связи с чем здесь проводят эпизоотологическое обследование и сотрудники ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ставропольском крае». При обмене данными по видовому составу носителей и переносчиков особо опасных инфекций между организациями возникают сложности, при которых непонятно о каком виде идет речь. В приведенных ниже списках млекопитающих, блох и иксодовых клещей название даны в соответствии с современными систематическими взглядами, для исключения неточностей в таксономических названиях.

Материал и методы исследований

Представленная работа составлена по материалам ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнад-

зора, архивным данным Буденновского ПЧО ФКУЗ «Дагестанская противочумная станция» Роспотребнадзора и анализа литературных источников. Названия млекопитающих, блох и клещей приведены в соответствии с современными систематическими представлениями [8, 5, 10]. В рамках данной статьи территория Прикаспийского песчаного природного очага чумы рассматривается в нескольких иных границах (согласно предложениям специалистов ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора и ФКУЗ РосНИПЧИ «Микроб» Роспотребнадзора) [6]. Данные предложения считаем вполне аргументированными и соответствующими критериям выделения природных очагов чумы.

Результаты и обсуждения

Следует отметить, что территория Ставропольского участка Прикаспийского Северо-Западного природного очага чумы была признана оздоровленной (внеочаговой), и только восточная полоса (при соответствующем изменении статуса очаговости) присоединена к прилегающей Ставропольской части Прикаспийского песчаного природного очага чумы. Кроме того, к оздоровленной (внеочаговой) зоне отнесена часть Прикаспийского песчаного очага, расположенная к западу от Терско-Кумского канала [11]. Причиной послужило мощное антропогенное воздействие, вследствие чего на некоторых участках Прикаспийского песчаного природного очага чумы практически исчезли поселения основных носителей микроба чумы [6]. В результате таких антропогенных преобразований на территории Ставропольского края остался один природный очаг чумы – Прикаспийский песчаный, расположенный полностью или частично на территориях пяти административных районов: Левокумского, Арзгирского, Нефтекумского, Степновского и Курского.

В настоящее время описано множество видов теплокровных животных, обнаруженных зараженными микробом чумы [9].

Ниже (табл. 1) приведен список млекопитающих отмеченных на территории Ставропольской части Прикаспийского песчаного природного очага чумы, отмеченных за весь период обследований.

В настоящее время зарегистрировано 25 видов грызунов, 1 вид зайцеобразных, 5 видов насекомоядных, 10 видов хищников.

Одни из основных носителей микроба чумы в очаге – малые песчанки, размещены на всей энзоотичной по чуме зоне края. Малый суслик, до середины прошлого столетия был одним из фоновых видов грызунов, но под влиянием различных факторов (распашка целины, противочумные истребительные работы), сейчас находится на грани полного исчезновения. Данное обстоятельство способствовало его включению в Красную книгу Ставропольского края. Доминирующим видом среди второстепенных носителей микроба чумы является домовая мышь.

Стоит отметить, что на территории Ставропольской части очага зарегистрирован новый для края вид грызуна – кавказская мышь, найденная в припойменных лесонасаждениях реки Терек (окрестности станций Стодерева и Галюгаевской) в Курском районе в 2019 году.

Известно, что блохи играют важнейшую роль в трансмиссии возбудителя чумы [3].

Ниже (табл. 2) представлен список видов блох, зарегистрированных за весь период обследований на Ставропольской части Прикаспийского природного очага чумы. Микроб чумы могут сохранять небольшая группа блох, в том числе и межэнзоотические периоды [2], но известно немало видов, от которых выделялся возбудитель чумы в естественных условиях [3].

Таблица 2 показывает, что из 33 видов блох, отмеченных в Ставропольской части Прикаспийского песчаного природного очага, у 27 видов обнаружен возбудитель чумы в естественных условиях (в различных природных очагах чумы России и сопредельных стран). На территории Ставропольской части очага обнаружен один вид, зараженный возбудителем – *Nosopsyllus laeviceps*. Изучению роли иксодовых клещей при циркуляции микроба чумы (среди грызунов) изучали Д.Н. Засухин и М.М. Тихомиров [4].

Микроб чумы обнаружен у *I. crenulatus* [1], *H. erinacei*, *H. asiaticum*, *R. pumili* [1], *R. schulzei* [7].

Ниже (табл. 3) приведен список видов иксодовых клещей, зарегистрированных в Ставропольской части Прикаспийского песчаного природного очага чумы. Всего отмечено 21 вид иксодовых клещей из 5 родов. Род *Rhipicephalus* представлен наибольшим количеством видов.

Таблица 1. СПИСОК ВИДОВ МЛЕКОПИТАЮЩИХ СТАВРОПОЛЬСКОЙ ЧАСТИ ПРИКАСПИЙСКОГО ПЕСЧАНОГО ПРИРОДНОГО ОЧАГА ЧУМЫ
Table 1. List of mammal species inhabiting within the Stavropol area of the Caspian sandy natural plague focus

Виды млекопитающих	О**	В**	С**
Отряд грызуны – Rodentia			
Полуденная песчанка – <i>Meriones meridianus</i> Pallas,1773	+		
Тамарисковая песчанка – <i>Meriones tamariscinus</i> Pallas,1773	+		
Малый суслик – <i>Spermophilus pygmaeus</i> Pallas,1779	+		
Домовая мышь – <i>Mus musculus</i> Linnaeus, 1758		+	
Степная мышь – <i>Sylvaemus witherbyi</i> Thomas,		+	
Малая лесная мышь – <i>Sylvaemus uralensis</i> Pallas, 1811		+	
Кавказская мышь – <i>Sylvaemus ponticus</i> Sviridenko, 1936			+
Полевая мышь – <i>Apodemus agrarius</i> Pallas, 1771		+	
Мышь-малютка – <i>Micromys minutus</i> Pallas.,1771			+
Серая крыса – <i>Rattus norvegicus</i> Berkenhout, 1769		+	
Обыкновенная полёвка – <i>Microtus arvalis</i> Pallas, 1778		+	
Общественная полёвка – <i>Microtus socialis</i> Pallas, 1773		+	
Водяная полёвка – <i>Arvicola amphibious</i> Linnaeus, 1758			+
Обыкновенная слепушонка– <i>Ellobius talpinus</i> Pallas, 1770			+
Ондатра – <i>Ondatra zibethicus</i> Linnaeus, 1766			+
Серый хомячок – <i>Cricetulus migratorius</i> Pallas, 1773		+	
Обыкновенный хомяк – <i>Cricetus cricetus</i> Linnaeus, 1758			+
Большой тушканчик – <i>Allactaga major</i> Kerr, 1792			+
Малый тушканчик – <i>Allactaga elater</i> Lichtenstein, 1825			+
Тарбаганчик – <i>Pygeretmus pumilio</i> Kerr, 1792			+
Обыкновенный емуранчик – <i>Stylodipus telum</i> Lichtenstein, 1823			+
Мохноногий тушканчик – <i>Dipus sagitta</i> Pallas, 1773			+

Виды млекопитающих	О**	В**	С**
Степная мышовка – <i>Sicista subtilis</i> Pallas, 1773			+
Лесная соня – <i>Dryomys nitedula</i> Pallas, 1778			+
Гигантский слепыш – <i>Spalax giganteus</i> Nehring, 1898	–	–	–
Отряд зайцеобразные – Lagomorpha			
Заяц-русак – <i>Lepus seuropaeus</i> Pallas, 1778			+
Отряд насекомоядные – Eulipotyphla			
Ушастый ёж – <i>Hemiechinus auritus</i> Gmelin., 1770			+
*Южный ёж – <i>Erinaceus roumanicus</i> Barren-Hamilton, 1900			
Малая белозубка – <i>Crocidura suaveolens</i> Pallas., 1811			+
Белобрюхая белозубка <i>Crocidura leucodon</i> Herman., 1780			+
Кавказская бурозубка – <i>Sorex satuninin</i> Ognev, 1922			+
Отряд хищные – Carnivora			
Ласка – <i>Mustela lanivalis</i> Linnaeus., 1766			+
*Норка европейская – <i>Mustela lutreola</i> Linnaeus, 1761			
Степной хорь – <i>Mustela eversmannii</i> Lesson., 1827			+
Перевязка – <i>Vormella peregusna</i> Guldenstaedt., 1770			+
*Каменная куница – <i>Martes foina</i> Erxleben., 1777			
Обыкновенная лисица – <i>Vulpes vulpes</i> Linnaeus., 1758			+
Корсак – <i>Vulpes corsac</i> Linnaeus., 1768			+
Волк – <i>Canis lupus</i> Linnaeus., 1758			+
Шакал – <i>Canis aureus</i> Linnaeus., 1758			+
Енотовидная собака – <i>Nectereutes procyonoides</i> Gray, 1834.	–	–	–

Примечание:

* – статус неизвестен

О** – основной носитель микроба чумы в данном очаге;

В** – потенциально второстепенный носитель микроба чумы (известны случаи выделения возбудителя чумы в различных природных очагах чумы);

С** – потенциально случайный носитель микроба чумы (известны случаи выделения возбудителя чумы в различных природных очагах чумы).

Таблица 2. ВИДЫ БЛОХ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ В СТАВРОПОЛЬСКОЙ ЧАСТИ ПРИКАСПИЙСКОГО ПРИРОДНОГО ОЧАГА ЧУМЫ
Table 2. Flea species found within the Stavropol area of the Caspian natural plague focus

Виды блох Ставропольской части Прикаспийского песчаного природного очага чумы	ОО*	ЗО**	ДО***
<i>Neopsylla setosa</i>	+	–	+
<i>Citellophilus tesquorum</i>	+	–	+
<i>Frontopsylla frontalis</i>	+	–	+
<i>Frontopsylla semura</i>	+	–	+
<i>Nosopsyllus laeviceps</i>	+	+	+
<i>Nosopsyllus mokrzeckyi</i>	+	–	+
<i>Nosopsyllu sconsimilis</i>	+	–	+
<i>Leptopsylla segnis</i>	+	–	+
<i>Leptopsylla taschenbergi</i>	+	–	+
<i>Pulex irritans</i>	+	–	+
<i>Ctenophthalmus secundus</i>	+	–	+
<i>Ctenophthalmus proximus</i>	+	–	
<i>Ctenophthalmus orientalis</i>	+	–	+
<i>Ctenophthalmus wagneri</i>	+	–	+
<i>Ctenophthalmus gigantospalacis</i>	+	–	
<i>Ctenophthalmus acuminatus</i>	+	–	
<i>Myoxopsylla jordani</i>	+	–	

Виды блох Ставропольской части Прикаспийского песчаного природного очага чумы	ОО*	ЗО**	ДО***
<i>Mesopsylla tuschkan</i>	+	—	+
<i>Amphipsylla rossica</i>	+	—	+
<i>Echidnophaga gallinacean</i>	+	—	+
<i>Oropsylla idahoensis</i>	+	—	+
<i>Stenoponia ivanovi</i>	+	—	+
<i>Stenoponia vlasovi</i>	+	—	+
<i>Rhadinopsylla ucrainica</i>	+	—	+
<i>Coptopsylla bairamaliensis</i>	+	—	+
<i>Ophthalmopsylla volgensis</i>	+	—	
<i>Chaetopsylla globiceps</i>	+	—	
<i>Ctenocephalides felis</i>	+	—	+
<i>Ctenocephalides canis</i>	+	—	+
<i>Mesopsylla hebes</i>	+	—	+
<i>Xenopsylla magdaliniae</i>	+	—	+
<i>Ceratophyllus fringillae</i>	+	—	
<i>Archaeopsylla erinacei</i>	+	—	

Примечание: ОО*– обнаружены на территории Ставропольской части Прикаспийского природного очага чумы;
 ЗО**– обнаружены зараженными возбудителем чумы на территории Ставропольской части Прикаспийского природного очага чумы;
 ДО***– обнаружены зараженными возбудителем чумы в других природных очагах чумы России и сопредельных стран.

Таблица 3. ВИДОВОЙ СОСТАВ ИКСОДОВЫХ КЛЕЩЕЙ
СТАВРОПОЛЬСКОЙ ЧАСТИ ПРИКАСПИЙСКОГО ПЕСЧАНОГО
ПРИРОДНОГО ОЧАГА ЧУМЫ
Table 3. Species composition of Ixodid ticks in the Stavropol area of the
Caspian sandy natural plague focus

Иксодовые клещи, обнаруженные на территории Ставропольской части Прикаспийского песчаного природного очага чумы с ____ по ____ гг.	
Род	Вид
<i>Hyalomma</i>	<i>H. marginatum</i>
	<i>H. scupense</i>
	<i>H. anatolicum</i>
<i>Dermacentor</i>	<i>D. marginatus</i>
	<i>D. reticulatus</i>
	<i>D. niveus</i>
<i>Ixodes</i>	<i>Ix. ricinus</i>
	<i>I. kaiseri</i>
	<i>I. lividus</i>
	<i>I. frontalis</i>
	<i>I. redikorzevi</i>
<i>Rhipicephalus</i>	<i>Rh. bursa</i>
	<i>Rh. sanguineus</i>
	<i>Rh. schulzei</i>
	<i>Rh. annulatus</i>
	<i>Rh. turanicus</i>
	<i>Rh. rossicus</i>
	<i>Rh. pumilio</i>
<i>Haemaphysalis</i>	<i>Haem. sulcata</i>
	<i>Haem. punctata</i>
	<i>Haem. parva</i>

Выводы

Таким образом, уточнен таксономический состав носителей и переносчиков микроба чумы в пределах Ставропольской части Прикаспийского песчаного природного очага чумы, с учетом современных систематических взглядов и новых границ. Зарегистрировано 25 видов грызунов, 1 вид зайцеобразных, 5 видов насекомых, 11 видов хищников, 33 вида блох и 21 вид клещей. Кавказская мышь впервые найдена на территории Ставропольского края.

Библиографический список

1. Афанасьева О.А., Микулин М.А. Современное состояние вопроса о роли клещей надсем. Ixodidea в природной очаговости и эпизоотологии чумы: Сб. «Природная очаговость и эпидемиология особо опасных инфекционных заболеваний». Саратов, 1959. С. 181-187.
2. Ващенко В.С. Роль блох (Siphonaptera) в эпизоотологии чумы // Паразитология 1999. Т. 33. Вып. 3. С 198-209.
3. Гончаров А.И., Тохов Ю.М., Плотникова Е.П., Артюшина Ю.С. Список видов и подвидов блох, обнаруженных зараженными возбудителем чумы в естественных условиях. Методическое пособие. Ставрополь: РИО ИДНК, 2013. 34 с.
4. Засухин Д.Н., Тихомиров М.М. Сохраняемость чумного вируса в личинках и нимфах *Dermacentor silvarum* // Вестник микробиол., эпидемиол. и паразитол. 1936. Т. 15. С. 357-362.
5. Котти Б.К. Каталог блох (Siphonaptera) фауны России и сопредельных стран. Ставрополь: СКФУ, 2018. 129 с.
6. Кузнецов А.А., Матросов А.Н., Поршаков А.М., Чекашов В.Н., Шилов М.М. Изменение границ природных очагов чумы Северо-Западного Прикаспия // Проблемы особо опасных инфекций. 2016. Вып. 3. С. 38-43.
7. Кондрашкина К.И. Экология клещей *Rhipicephalus schulzei* в полупустыне Прикаспийской низменности в связи с их ролью в эпизоотологии чумы: автореф. канд. дис. Саратов, 1959. 21 с.
8. Павлинов И.Я., Лисовский А.А. Млекопитающие России: систематико-географический справочник. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 604 с.
9. Слуцкий А.А. Список позвоночных животных мировой фауны – носителей возбудителя чумы // Проблемы особо опасных инфекций. 2014. Вып. 3. С 42-51.

10. Цапко Н.В. Иксодовые клещи (Acari, Ixodidae) Северного Кавказа: видовое разнообразие, паразито-хозяйинные, отношения // Паразитология. 2017. Т. 51. Вып. 2. С 104-120.
11. Методические указания 3.1.3.3395-16 «Паспортизация природных очагов чумы Российской Федерации». М.: ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора 2016. 40 с.
12. Lewis R.E. Resume of the Siphonaptera (Insecta) of the World // Journal of Medical Entomology. 1998. Vol. 35, no. 4. P. 377-389.

References

1. Afanasyeva O.A., Mikulin M.A. The role of Ixodoidea ticks in the natural focality and epizootology of plague, the current state: Coll. "Natural focality and epidemiology of particularly dangerous infectious diseases". Saratov, 1959. P. 181-187.
2. Vashchenok V. S. The role of fleas (Siphonaptera) in the epizootology of plague // Parasitology 1999. Vol. 33. Issue 3. From 198-209.
3. Goncharov A.I., Tokhov Yu.M., Plotnikova E.P., Artyushina Yu.S. List of species and subspecies of fleas found infected with the causative agent of plague in natural conditions. Methodological guide. Stavropol: RIO IDNK, 2013. 34 p.
4. Zasukhin D.N., Tikhomirov M. M. Persistence of plague microbe in larvae and nymphs of *Dermacentor silvarum* // Bulletin of Microbiology, Epidemiology and Parasitology. 1936. Vol. 15. p. 357-362
5. Kotti B.K. Russian and neighboring countries catalog of fleas (Siphonaptera). Stavropol: NCFU, 2018. 129 p.
6. Kuznetsov A.A., Matrosov A.N., Porshakov A.M., Chekashov V.N., Shilov M.M. Changing the boundaries of natural plague foci in the North-Western Caspian region // Problems of particularly dangerous infections. 2016. Issue 3. P. 38-43.
7. Kondrashkin K. I. Ecology of the tick *Rhipicephalus schulzei* in the semi-desert of the Caspian lowland and its role in the epizootology of the plague: Autoabs. Cand. Diss. Saratov, 1959. 21 p.
8. Pavlinov I. Ya., Lisovsky A. A. Mammals of Russia: Taxonomical geographical guide. M.: Association of scientific publications KMK, 2012. 604 p.
9. Slutsky A.A. List of vertebrate animals of the world fauna-carriers of the causative agent of the plague // Problems of particularly dangerous infections. 2014. Issue. 3. P 42-51.
10. Tsapko N.V. Ixodid ticks (Acari, Ixodidae) North Caucasus:

species diversity, parasite-host relationships // Parasitology. 2017. Т. 51. Vol. 2. From 104-120.

11. Methodological guidelines 3.1.3.3395-16 "Certification of natural foci of the plague of the Russian Federation". М.: Federal State Budgetary Institution of the Federal State Budgetary Institution of the Russian Federation of Rospotrebnadzor 2016. 40 p.
12. Lewis R.E. Resume of the Siphonaptera (Insecta) of the World // Journal of Medical Entomology. 1998. Vol. 35, no. 4. P. 377-389.

**Поступило в редакцию 01.02.2021,
принята к публикации 01.04.2021**

Об авторах

- Ашибоков** Умар Мухадинович, кандидат биологических наук, биолог лаборатории медицинской зоологии ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора, г. Ставрополь, Россия. 89614821519.
E-mail: Umar5555@mail.ru
- Коржов** Петр Николаевич, зоолог Буденновского ПЧО ФКУЗ «Дагестанская противочумная станция» Роспотребнадзора, г. Буденновск, Россия
- Ветошкин** Андрей Анатольевич, заведующий зоологическим отделом Буденновского ПЧО ФКУЗ «Дагестанская противочумная станция» Роспотребнадзора; г. Буденновск, Россия
- Сурхаев** Джамалдин Багавдинович, начальник Буденновского ПЧО ФКУЗ «Дагестанская противочумная станция» Роспотребнадзора; г. Буденновск. Россия
- Халидов** Арслан Халидович, кандидат биологических наук, заведующий зоологическим отделом ФКУЗ «Дагестанская противочумная станция» Роспотребнадзора; г. Махачкала, Россия
- Григорьев** Михаил Павлович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории медицинской зоологии ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора; г. Ставрополь, Россия.

About authors

- Alshibokov** Umar Mushadinovich, candidate of biological Sciences, biologist, laboratory of medical Zoology of the Federal Government Health Institution «Stavropol Plague Control Research Institute» of the Rospotrebnadzor.
Stavropol, Russian Federation Stavropol 89614821519.
E-mail: Umar5555@mail.ru
- Corjov** Petr Nikolaevich, zoologist Budennovsky PCO of Federal state healthcare "Dagestan plague control station" of Rospotrebnadzor,
Budennovsk, Russian Federation
- Vetoshkin** Andrey Anatolyevich, head of the Zoological Department of the Budennovsky PCO of Federal state healthcare "Dagestan plague control station" of Rospotrebnadzor,
Budennovsk, Russian Federation
- Surkhayev** Dzhamaldin Bagawdinovich, head of Budennovsky PCO of Federal state healthcare "Dagestan plague control station" of Rospotrebnadzor.
Budennovsk, Russian Federation
- Khalidov** Arslan Khalidovich, Candidate of Biological Sciences, Head of the Zoological Department of the Dagestan Anti-Plague Station of Rospotrebnadzor.
Makhachkala, Russian Federation
- Grigoriev** Mikhail Pavlovich, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Medical Zoology of the Federal Government Health Institution «Stavropol Plague Control Research Institute» of the Rospotrebnadzor.
Stavropol, Russian Federation Stavropol

25.00.24
УДК 314.9

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ
И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

Тикунов В.С.,

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва,
Севастопольский государственный университет;

Гайдуков В.Р.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОНЫ ПРОХОЖДЕНИЯ НОВОГО ШЕЛКОВОГО ПУТИ

DOI 10.37493/2308-4758.2021.2.5

Введение.

Данное исследование посвящено работам по созданию индексов для анализа демографической характеристики стран и регионов зоны прохождения Нового Шелкового пути, в рамках исследования нами была актуализирована статистическая база данных содержащая демографические показатели данной зоны, затем с целью сравнительного анализа современных тенденций демографического развития данной территории были сформированы три набора показателей, характеризующих демографическое состояние регионов, а так же рассчитаны индексы демографического развития при различных наборах показателей. В конечном итоге с помощью геоинформационных (ГИС) технологий нами была создана серия карт, характеризующих демографическую ситуацию и её динамику. Были выявлены региональные особенности и различия демографического развития зоны прохождения Нового Шелкового пути.

Материалы и методы исследования: В рамках социо-демографической характеристики зоны «Один пояс – один путь» создана статистическая база данных, которая включила в себя материалы о рождаемости, смертности на 1000 населения, естественном приросте (убыли) и миграционном приросте (убыли) в коридоре прохождения Нового Шелкового пути, который включил в себя территорию 145 регионов из 8 стран. Статистика собиралась для трех лет - 2010, 2015, 2018 гг. Исследование базировалось на официальной статистике стран Евразии [4,5]. Затем данный набор показателей агрегировался в соответствующий социо-демографический индекс с помощью оценочного алгоритма, разработанного ранее В.С. Тикуновым [1997]. Итогом работы этого этапа стала таблица демографических показателей, адаптированная для работы в ГИС. В качестве базового картографического приема использовались бесступенчатые шкалы. Затем, был произведен экспорт картографических изображений напрямую в графический редактор, и уже там осуществлялась дальнейшая работа по оформлению изображения.

Результаты исследования и их обсуждение: в результате проведенного исследования был собран статистический материал и создана база данных, для оценки демографической ситуации в странах Нового Шелкового пути и их регионах. При этом работа наглядно проиллюстрировала анализ взаимодействия показателей естественного и миграционного прироста, в формировании демографической ситуации в зоне Нового Шёлкового пути. В целом работа показала эффективность применения данного алгоритма и различных сценариев построения демографических индексов с целью их последующего анализа.

Ключевые слова:

демография, Новый Шёлковый путь, демографическое развитие, индекс, классификация, ГИС.

Tikunov V.S. Moscow State University M.V. Lomonosov, Moscow, Sevastopol State University;
Gaydukov V.R. Moscow State University M.V. Lomonosov, Moscow

Demographic Characteristics of the New Silk Road Passage Zone

Introduction: This study is devoted to the creation of indices for the analysis of the demographic characteristics of the countries and regions of the New Silk Road zone. As part of the study, we updated a statistical database containing demographic indicators of this zone, then for the purpose of comparative analysis of current trends in the demographic development of this territory, three sets of indicators were formed that characterize the demographic state of the regions, as well as calculated demographic development indices for different sets of indicators. Finally, with the help of geographic information (GIS) technologies, we developed a series of maps that characterize the demographic situation and its dynamics. Regional features and differences in the demographic development of the New Silk Road passage zone were identified.

Materials and research methods: Within the framework of the socio-demographic characteristics of the «One Belt – One Road» zone, a statistical database was created, which included materials on the birth rate, mortality per 1000 population, natural growth (loss) and migration growth (loss) in the corridor of the New Silk Road, which included the territory of 8 countries and 145 of their regions. Statistics were collected for three years-2010, 2015, 2018. The study was based on the official statistics of the Eurasian countries [4,5]. Then this set of indicators was aggregated into the corresponding socio-demographic index using the evaluation algorithm developed earlier by V. S. Tikunov [1997]. The result of this stage was a table of demographic indicators adapted to work in GIS. As one of the basic techniques for creating cartographic images, I use the cartogram method with a stepless scale. Then, the map images were exported directly to the graphic editor, and further work on the image design was carried out there.

The results of the study and their discussion: as a result of the conducted research, statistical material was collected and a database was created to assess the demographic situation in the countries of the New Silk Road and their regions. At the same time, the work clearly illustrated the analysis of the interaction of indicators of natural and migration growth in the formation of the demographic situation of the New Silk Road countries and their regions. In general, the work showed the effectiveness of using this algorithm and various scenarios for constructing demographic indices for the purpose of their subsequent analysis.

Key words: demography, New Silk Road, demographic development, index, classification, GIS.

Введение

Все мы, так или иначе, слышали о Шелковом пути, древнем торговом пути, возникшем во время экспансии на запад китайской династии Хань (206 г. до н. э. – 220 г. н.э.), которая создала торговые сети на территории современных центрально азиатских стран Киргизии, Таджикистана, Казахстана, Узбекистана, Туркмени и Афганистана, а также современных Пакистана и юге Индии.

Эти маршруты в конечном итоге простирались более чем на четыре тысячи миль в Европу. Таким образом, Центральная Азия стала эпицентром одной из первых волн глобализации, соединившей восточные и западные рынки, породившей огромные богатства и смешавшей культурные и религиозные традиции. Ценные китайские шелка, специи, нефрит и другие товары перемещались на запад, в то время как Китай получал золото и другие драгоценные металлы, слоновую кость и изделия из стекла. Объем перевозок достиг своего пика в первом тысячелетии, под руководством сначала Римской, а затем Византийской империй и династии Тан (618–907) в Китае. Но крестовые походы, а также успехи монголов в Центральной Азии ослабили торговлю в данном регионе, и сегодня страны Центральной Азии экономически изолированы друг от друга.

Однако в 2013 были объявлены планы о возрождении Шелкового пути, так Председатель КНР Си Цзиньпин в сентябре 2013 года выдвинул концепцию «Нового шёлкового пути» под лозунгом «Один пояс – один путь». Эта глобальная стратегия, включающая проекты «Экономический пояс Шёлкового пути» и «Морской Шёлковый путь XXI века», данная стратегия предполагает создание обширной инфраструктурной сети по пути от западных границ Китая через страны Центральной Азии и Иран в Европу. Однако проект «Нового шёлкового пути» («пояс, путь» – в современном варианте) не просто возрождение древнего Шёлкового пути, транспортного маршрута между Востоком и Западом, это скорее масштабное преобразование всей торгово-экономической модели Евразии, и в первую очередь — Центральной и Средней Азии. Она включает в себя множество инфраструктурных проектов. Среди проектов в рамках НШП планируются новые железные дороги и шоссе, морские и воздушные пути, трубопроводы, и вся сопутствующая инфраструктура. По самым скромным оценкам, НШП втянет в свою орбиту 4,4 миллиарда человек — более половины населения Земли. Таким образом, реализация столь масштабного инфраструктурного и социально-экономического проекта подогревает естественный запрос к всестороннему изучению стран и регионов Нового Шелкового пути. В то же самое время демографическая проблема является одной из самых острых в данном регионе, данная территория крайне контрастна и имеет порой противो-

положные демографические проблемы. Так проблема стремительного прироста населения (перенаселение территорий) в развивающихся странах Азии, сочетается со старением и депопуляцией вследствие суженного воспроизводства населения (демографический кризис) в промышленно развитых странах, прежде всего, Западной Европы. Поэтому создание системы индексов демографического развития территории является очень актуальной задачей для данного региона.

Материалы и методы исследования

В рамках социо-демографической характеристики зоны «Один пояс – один путь» создана статистическая база данных, которая включила в себя материалы о рождаемости, смертности на 1000 населения, естественном приросте (убыли) и миграционном приросте (убыли) в коридоре прохождения Нового Шелкового пути, который включил в себя территорию 145 регионов из 8 стран – Китая, Монголии, Казахстана, Узбекистана, России и Греции, Италии, Хорватии, с которыми Китай подписал соглашения о сотрудничестве по Шелковому пути [3] (рис. 1). Статистика собиралась для трех лет – 2010, 2015, 2018 гг. Исследование базировалось на официальной статистике стран Евразии [4, 5]. Итогом работы этого этапа стала таблица демографических показателей, адаптированная для работы в ГИС.

Затем данный набор показателей агрегировался в соответствующий социо-демографический индекс с помощью оценочного алгоритма, разработанного ранее В.С. Тикуновым [1997]. Данный алгоритм позволяет получить синтетические характеристики оценок территориальных единиц по единой шкале и ранжировать данные территориальные единицы на основе этих оценок [2].

$$\hat{x}_{ij} = \frac{|x_{ij} - \hat{x}_j|}{|\max/\min x_j - \hat{x}_j|}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m;$$

Где $\hat{x}$ – число, отклонения от которого имеют содержательный смысл – это могут быть наихудшие или наилуч-

шие значения j -го показателя с точки зрения их влияния (положительного или отрицательного) в рамках поставленной задачи;

$\max/\min x$ — наиболее отличающиеся от $\bar{x}$ значения показателей;

N — количество исследуемых территориальных единиц;

M — число показателей, использованных для расчетов.

Цель такой нормировки — перевод показателя в отклонение от заданного наилучшего или наихудшего значения. Полученные в результате нормировки значения ограничены отрезком $[0, 1]$.

Часто при построении индексов для агрегирования используют суммирование и осреднение [1]. Но осредняя нескольких показателей, мы неизбежно сводим все множество показателей к среднему уровню. Такой подход ненадежен для оценки, так как, например, если взять индекс общественного здоровья, рассчитываемый на основе показателей ожидаемой продолжительности жизни мужчин и женщин и смертности детей в возрасте до одного года, если уровень младенческой смертности превысит критические для общества значения, а остальные показатели будут в пределах допустимого, итоговый индекс покажет удовлетворительную картину, что будет далеко от объективности. Именно поэтому при разработке методики нами использовался метод, базирующийся на расчете евклидовых расстояний до наихудшей единицы (d^0). Это позволяет выделить аномально большие разности, поскольку они возводятся в квадрат. Применение такой меры требует обработки информационного массива по методу главных компонент с целью ортогонализации и «свертки» системы показателей, что также было реализовано в нашем эксперименте. Полученные значения вектора-столбца d^0 интегральных оценочных характеристик для удобства дальнейшего анализа дополнительно нормируются. Величина d^0 варьирует в пределах от нуля до единицы, нуль — соответствует наихудшей комплексной оценке, а единица — наилучшей.

Кроме возможности ранжирования полученных значений индекса, используемый алгоритм позволяет выделять однородные в оценочном отношении группы территорий. Достигается это раз-



Рис. 1. Регионы прохождения Нового Шелкового пути.

биением соответствующих ранжированных значений ряда евклидовых расстояний на однородные ступени. Процедура выделения ступеней многовариантна, в каждом случае получается спектр вариантов объединения территорий в однородные группы при разном их числе. Качество разбиения оценивалось с помощью коэффициентов канонической корреляции, а также коэффициентов неоднородности, что позволяет выбрать один окончательный вариант, оптимальный со статистической точки зрения. Математическое выделение ступеней может быть скорректировано экспертным

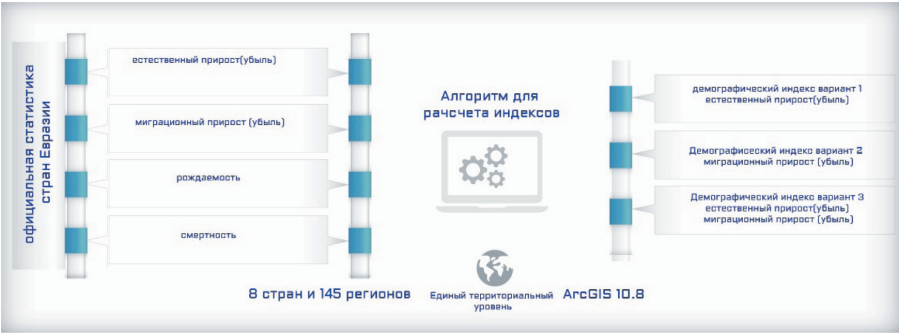


Рис. 2. Концептуальная схема создания базы данных и расчёта данных.

путем, в частности для улучшения восприятия картографического материала.

Полученные наборы данных были экспортированы в ГИС пакет ArcGis 10.8 Связь данных осуществлялась на основании значений общего атрибутивного поля, что позволяет избежать ввода данных вручную и не только экономит время, но и значительно уменьшает возможность ошибки при механическом вводе. В качестве базового приема создания картографических изображений мы пользовались построением бесступенчатых шкал. При таком

представлении особенности территориальной дифференциации проявляются достаточно чётко, легко установить незначительные различия в демографической ситуации соседних регионов, а также выявить подробности различий внутри обобщённых групп [1]. Затем, ввиду невозможности создания визуально-органичных материалов только с помощью инструментов оформления, предложенных в ГИС, был произведен экспорт картографических изображений напрямую в графический редактор, и уже там осуществлялась дальнейшая работа по оформлению изображения. Таким образом, схему проводимых работ по созданию базы данных и картографического материала можно представить следующим образом (рис. 2).

Результаты исследования и их обсуждение

Стоит отметить, что для лучшего анализа были использованы три версии расчета демографического индекса с сохранением постоянными показатели рождаемости и смертности. Так нами были получены следующие результаты. Классификация регионов по первому варианту индекса включала в себя такие показатели как рождаемость, смертность, естественный прирост.

На основании первого варианта расчетов по состоянию на 2010 г. были получены следующие результаты: наилучшей демографической ситуацией обладают регионы Узбекистана, причем данная страна отличается отсутствием какой-либо территориальной дифференциации. Так же к регионам с высокими значениями индекса можно отнести аймаки Монголии, однако в данной стране территориальная дифференциация более выражена, так наибольшие значения индекса наблюдаются в западной и восточной части страны (рис. 3., А). Помимо этого, к странам, содержащим регионы с высокими значениями индекса можно отнести Казахстан, однако главным отличием данной страны от выше перечисленных, заключается в том, что данная страна имеет высокие значения индекса в прибрежных регионах, а также районах приграничных с Узбекистаном, и снижением значений индекса в северо-восточных регио-

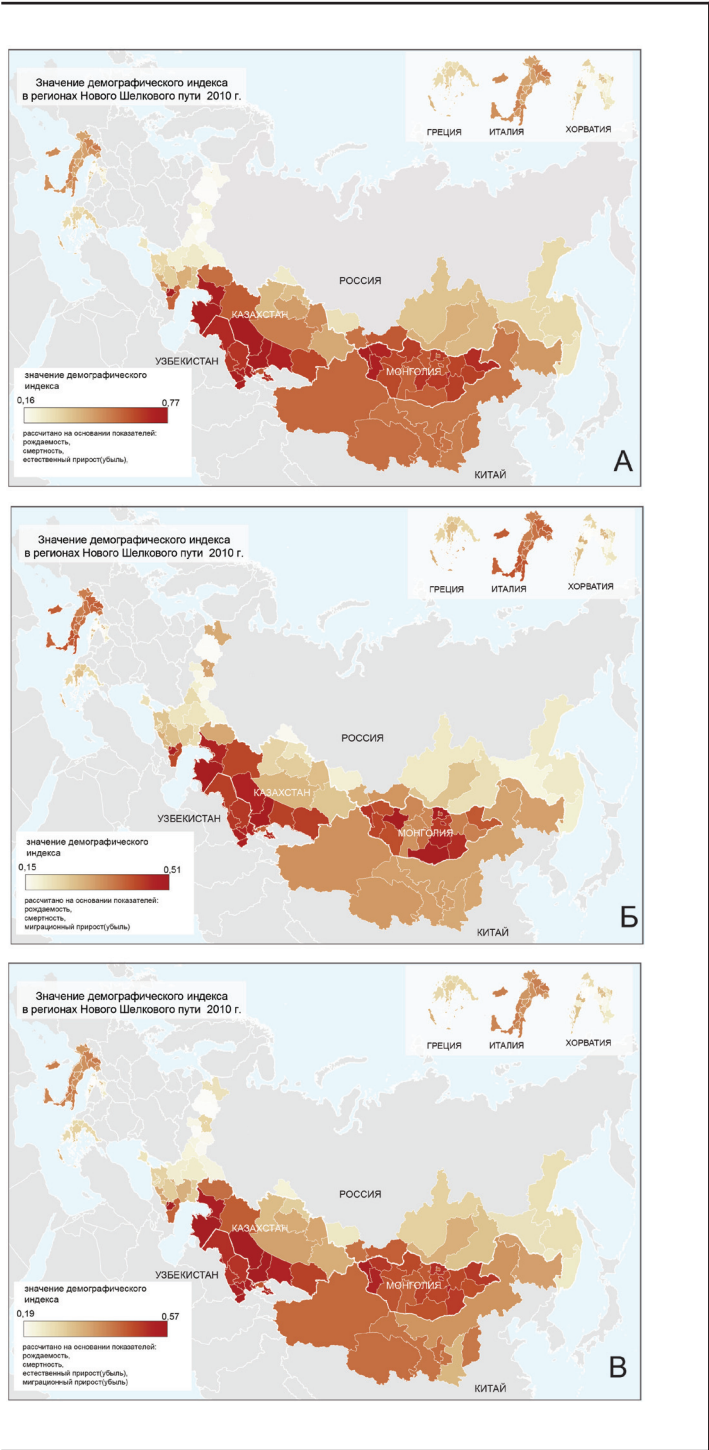


Рис. 3.

Демографический индекс 2010 г.

нах, приграничных с Россией. При этом к странам с низкой территориальной дифференциацией и относительно благоприятной демографической ситуацией на 2010 год можно отнести Италию, Китай. Так же стоит особо отметить Российскую федерацию так как она обладает самыми большим разбросом значений индекса имея регионы которые входят как в первую пятерку регионов с наибольшими значениями индекса – Чеченская республика и республика Ингушетия, занимая второе и четвертое место среди всех исследуемых регионов соответственно, так и регионы которые по состоянию на 2010 занимают 2 последних места – Тульская и Тверская область, следует так же отметить, что изменения значений демографического индекса на территории данного государства в сторону увеличения происходит по направлению с севера на юг (рис. 3, А). Так же следует отметить дифференциацию территории Хорватии данная страна характеризуется повышенными значениями в регионах с 5 крупнейшими городами страны, в то время как внутренние области страны обладают меньшими значениями индекса, Если проанализировать второй вариант расчета индекса, можно отметить общее уменьшение значений индекса, так если в первом варианте интервал значений находился в диапазоне с 0,16 до 0,77, то во втором варианте интервал составил от 0,15 до 0,51 что говорит о значительно меньшем влиянии миграционного прироста на демографическую ситуацию (рис. 3, Б). Тем не менее, замена одного показателя привела к определенным изменениям территориальной дифференциации индекса. Так в Греции наблюдается картина с преобладанием западных регионов страны над восточными что практически противоположно первому варианту расчетов. В Италии можно говорить о повышенных значениях в северных приграничных регионах, а также регионах на юге страны, в целом можно говорить о улучшении демографической ситуации в данной стране за счет миграционных процессов. Наиболее же заметные изменения произошли на территории России и Монголии. Так сразу можно выделить Ленинградскую и Московскую область России, которые явно демонстрируют большую роль миграции в формировании демографической обстановки данных регионов, что объясняется нахождением в данных субъектах двух крупнейших городов страны - Москвы и Санкт-Петербурга, которые являются мощнейшими акцепторами мигрантов

(рис. 3, Б). Так же четко проявляется граница между югом страны с более высокими значениями индекса и регионами ЦФО с более низкими, так же усиливается территориальная дифференциация регионов Азиатской части страны. При рассмотрении аймаков Монголии территорию страны можно разделить на 3 зоны с более высокими значениями индекса и проходящими между ними полосами из регионов с более низкими значениями показателей, данная картина крайне интересна и нуждается в дальнейшем более детальном рассмотрении. Следует отметить, что наиболее устойчивыми к изменению показателя оказались регионы, Узбекистана и Казахстана в которых наблюдались одни из самых высоких значений индекса в первом варианте расчетов, что указывает на незначительное влияние миграционных процессов на данных территориях, сюда же можно отнести Чеченскую республику и республику Дагестан на юге России. Так же практически неизменным остается картина, наблюдаемая в Хорватии где повышенные значения индекса, наблюдаются в областях крупнейших городов страны. В третьем варианте расчетов большинство регионов осталось в тех же группах что и в первом варианте модели. Это так же подтверждает большую роль естественного движения населения над миграционными процессами, однако следует обратить особое влияние на Ленинградскую и Московскую область России, а также на провинции Китая дифференциация которых становится более выражена (рис. 3, В).

По состоянию на 2015 год на основании первого варианта расчетов отмечается увеличение территориальной дифференциации Италии по сравнению с 2010 годом, так четко прослеживается увеличение значений индекса серных регионов страны, особенно приграничных со Швейцарией и Австрией, а также регионов юго-западного побережья страны. Помимо этого, изменения в территориальной дифференциации произошли в Греции, так особенно выделяются регионы, граничащие с Албанией и Северной Македонией. Территориальная дифференциация Хорватии остается ярко выраженной, однако соответствует мозаике 2010 года. Россия так же остается страной с наибольшей территориальной дифференциацией, однако наблюдается некое улучшение ситуации в регионах ЦФО с ярким выделением Москвы и Московской области, чего не наблюдается в 2010 году. Так же следует отметить улучшение ситуации в

регионах восточной Сибири и Дальнего востока. При этом отмечаются стабильно высокие показатели республик СКФО, так же стоит отметить явное улучшение демографической ситуации не только в республиках, но и остальных регионах юга страны. Стоит отметить определенные изменения в аймаках Монголии, группа из 4-х приграничных аймаков с высокими значениями индекса сохранилась без изменений, однако появилась тенденция к улучшению демографической ситуации в оставшихся приграничных аймаках, при этом внутренняя часть имеет наиболее высокие индексы лишь в крупных городах, что указывает на процесс улучшения демографической ситуации, который происходит по направлению из центра к периферии. Данная картина интересна и нуждается в дальнейшем в более детальном изучении (рис. 4, А). Территориальная дифференциация регионов Казахстана остается в целом стабильной, с улучшением ситуации в северо-восточных регионах. Наиболее же стабильными являются регионы Узбекистана и Китая, которые остаются в том же положении что и в 2010 году. Картина, полученная при создании материалов иллюстрирующих второй вариант расчетов, указывает на сохранение основных тенденций, заданных в первом. Однако стоит отметить уменьшение территориальной дифференциации Италии при этом с явным преобладанием северных регионов страны, так же сохранение мозаики регионов Греции и Хорватии (рис. 4, Б). В России так же сохраняется полоса более высоких значений на юге страны по сравнению с регионами ЦФО. А также наблюдается некое ухудшение ситуации в регионах Дальнего Востока. При этом так же четко выражены повышенные показатели индекса в Ленинградской и Московской области, данный процесс обуславливается причинами, описанными выше. На территории Монголии миграционные процессы так же направлены к приграничным аймакам, при этом центральная часть страны имеет сниженные значения показателя. По-прежнему наиболее стабильными являются провинции Китая и Узбекистана, данные регионы образуют устойчивую картину вне зависимости от вида изменяемого показателя, но при этом в данную группу по состоянию на 2015 год можно отнести также регионы Казахстана (рис. 4, Б). Рассматривая третий вариант расчетов можно увидеть, что полученная картина наиболее соответствует первому варианту расчётов, что так же указывает на определяю-

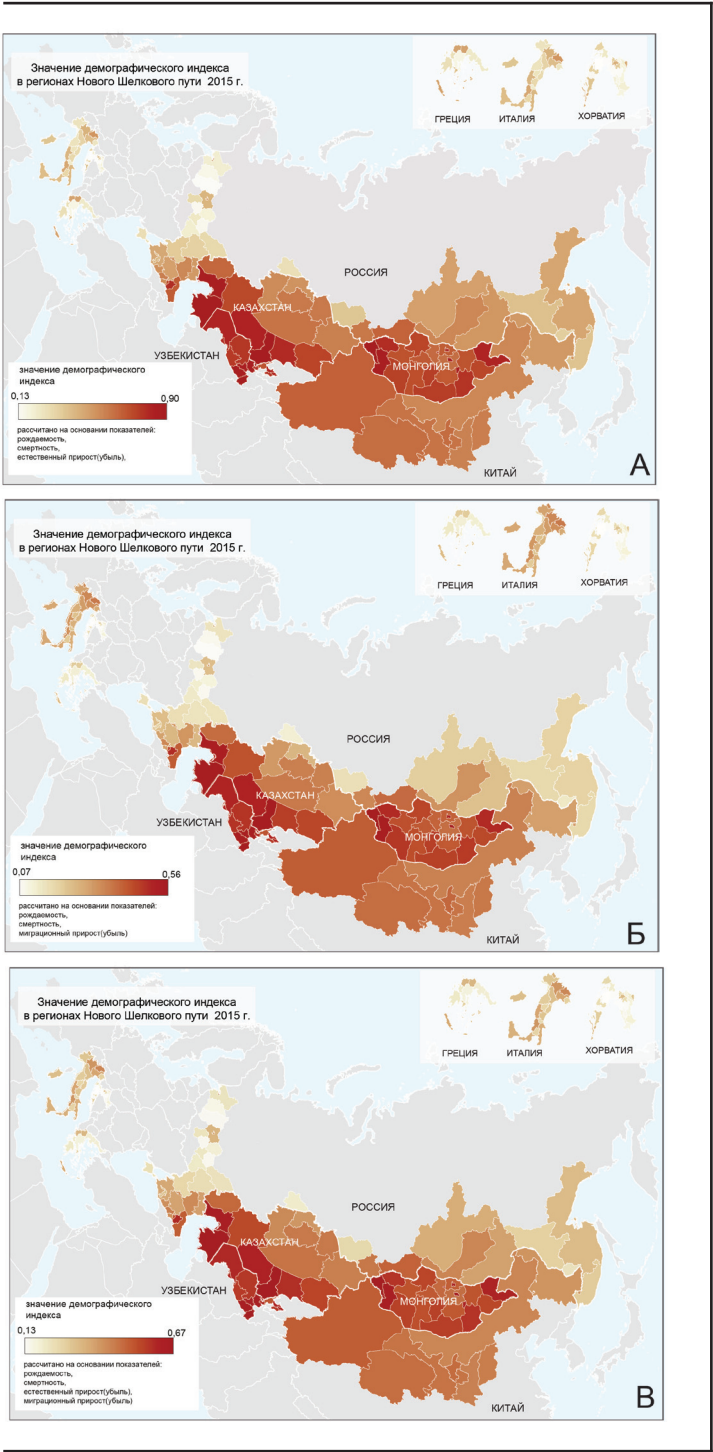


Рис. 4.

Демографический индекс 2015 г.

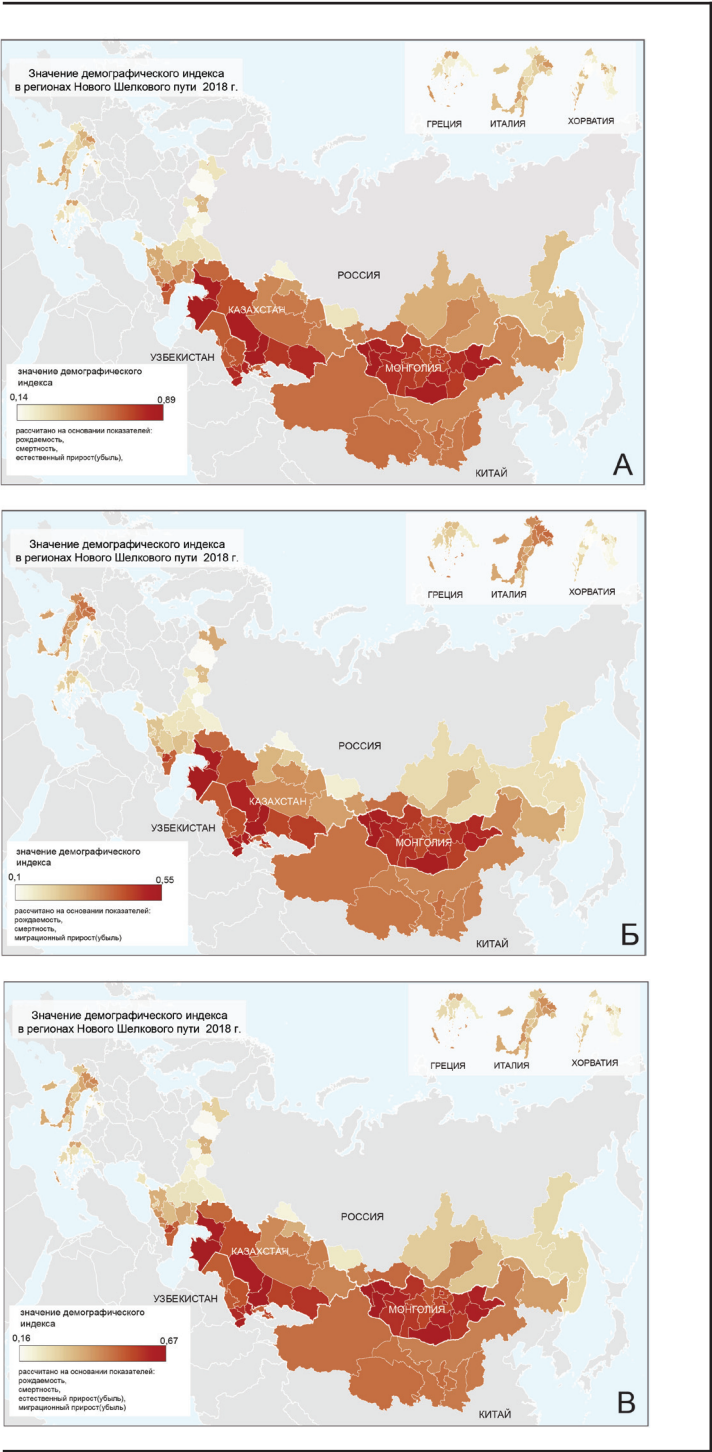


Рис. 5. Демографический индекс 2018 г.

щую роль естественного прироста в формировании демографической ситуации региона (рис. 4, В).

По состоянию на 2018 год на основании первого варианта расчетов получены следующие результаты - в целом картина соответствует процессам, описанным по состоянию на 2015 год, однако происходит территориальная дифференциация территории Узбекистана, а также выравнивание значений индекса во внутренних Монголии. В целом же картина, наблюдаемая в рисунке остальных стран и их регионов вполне сопоставима с предыдущим годом исследования (рис. 5, А). Во втором варианте расчетов наблюдается ситуация, схожая с 2015 годом, однако так же наблюдается возникновение дифференциации территории Узбекистана чего не наблюдалось ранее. Так же по сравнению с 2015 увеличились значения в Ленинградской области России (рис. 5, Б). При этом основные направления повышенных значений индекса на территории Монголии снова направлены в сторону западных и восточных регионов. Третий же вариант расчетов так же соответствует общим тенденциям, описанным ранее, так же происходит дифференциация территории Узбекистана при чем данный процесс одинаков во всех вариантах расчетов. Этого не наблюдалось ранее и нуждается в дальнейшем более детальном изучении. Так же по сравнению с 2015 г. несколько улучшается демографическая ситуация в Ленинградской области России. При этом наиболее стабильно выглядят регионы Казахстана и провинции Китая, данные регионы не находятся в одних и тех же группах во всех трех сценариях расчетов (рис. 5, В). Таким образом, описанная картина указывает на стабилизацию демографической ситуации в 2018 г. после ее улучшения в 2015 г.

Выводы

Таким образом, в результате проведенного исследования был собран статистический материал и создана база данных, для оценки демографической ситуации в странах Нового Шелкового пути и их регионах. Разработаны различные варианты демографического индекса. В результате проведенного анализа нами были сделаны следующие выводы

- была выявлена преобладающая роль естественного прироста в формировании демографической ситуации данного региона;
- существенное улучшение демографической ситуации в 2015 году по сравнению с 2010 и стабилизация ситуации в 2018 с общим сохранением тенденций, заданных в 2015 году;
- были выявлены основные особенности изменения территориальной дифференциации демографического индекса исследуемой территории в 2010 2015, 2018 гг.;
- были выявлены наиболее интересные территории для детальных исследований;
- так же на основании представленных материалов можно оценить роли миграционного и естественного прироста при формировании демографической ситуации исследуемой территории.

При этом работа наглядно проиллюстрировала анализ взаимодействия показателей естественного и миграционного прироста, в формировании демографической ситуации стран Нового Шёлкового пути и их регионов. В целом работа показала эффективность применения данного алгоритма и различных сценариев построения демографических индексов с целью их последующего анализа.

Библиографический список

1. Игонин, А.И., Тикунов В.С. Многовариантное математико-картографическое моделирование демографической характеристики регионов России и Европы / А.И. Игонин, В.С. Тикунов // Геодезия и картография. 2019. Т. 80. № 11. С. 26-36.
2. Tikunov V.S., Cheresnaya O.Yu. (2016) Public Health Index in Russian Federation from 1990 to 2012. Social Indicators Research, Springer Netherlands, v. 129, issue 2. pp. 775-786.

3. Comprehensive planning of Eurasian transport corridors to strengthen the intra- and inter-regional transport connectivity. The Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP) UN. Bangkok, 2017. 202p.
4. International Labour Migration Statistics Database in ASEAN (ILMS) // The Asia Pacific Migration Network (AP Migration) [Электронный ресурс]. URL: <http://apmigration.ilo.org/asean-labour-migration-statistics> (дата обращения 18.05.2021)
5. Database // Eurostat [Электронный ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> (дата обращения 10.05.2021)

References

1. Igonin, A. I., Tikunov, V. S. Multivariant mathematical and cartographic modeling of the demographic characteristics of the regions of Russia and Europe / A. I. Igonin, V. S. Tikunov // Geodesy and Cartography. 2019. Vol. 80. No. 11. p. 26-36.
2. Tikunov V.S., Cheresnaya O.Yu. (2016) Public Health Index in Russian Federation from 1990 to 2012. Social Indicators Research, Springer Netherlands, v. 129, issue 2, pp. 775-786.
3. Comprehensive planning of Eurasian transport corridors to strengthen the intra- and inter-regional transport connectivity. The Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP) UN. Bangkok, 2017. 202 p.
4. International Labour Migration Statistics Database in ASEAN (ILMS) // The Asia Pacific Migration Network (AP Migration) [Электронный ресурс]. URL: <http://apmigration.ilo.org/asean-labour-migration-statistics> (дата обращения 18.05.2021).
5. Database // Eurostat [Электронный ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> (дата обращения 10.05.2021)

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья подготовлена при поддержке Российского научного фонда (проект № 20-47-01001).

ACKNOWLEDGMENTS

The article was prepared with the support of the Russian scientific fund (project No. 20-47-01001).

**Поступило в редакцию 20.05.2021,
принята к публикации 05.06.2021**

Об авторах

- Тикун** Владимир Сергеевич, доктор географических наук, профессор географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия. Телефон: (495)9391339; E-mail: vstikunov@yandex.ru. Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, 33; 299053 Севастополь.
- Гайдуков** Владислав Романович, аспирант, кафедры географии мирового хозяйства, географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Телефон: +7 (988) 092-59-47. E-mail: gayd.vladislav2013@yandex.ru

About the authors

- Tikunov** Vladimir Sergeevich, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Faculty of Geography Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia, Phone: (495)9391339; E-mail: vstikunov@yandex.ru. Sevastopol State University, ul. Universitetskaya 33, 299053 Sevastopol, Russia
- Gaydukov** Vladislav Romanovich, PhD Student, Department of World Economy Geography, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. Phone: +7 (988) 092-59-47. E-mail: gayd.vladislav2013@yandex.ru

25.00.30
УДК 551.578.7

Кагермазов А.Х.,
Федченко Л.М.,
Созаева Л.Т.,
Жабоева М.М.

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ)

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»,
г. Нальчик, Россия;
ljk_62@rambler.ru

СРЕДНЕСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ГРАДА
ПО ВЫХОДНЫМ ДАННЫМ
ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ

DOI 10.37493/2308-4758.2021.2.6

Введение.

Прогноз опасных явлений погоды, в том числе и града, становится все более востребованным не только для служб по борьбе с градом, но и для других отраслей экономики. Этому способствует интенсификация погодных процессов из-за потепления климата и оперативная доступность результатов моделирования атмосферы Земли, в частности, значений стратификации по глобальной модели (GFS NCEP). В данной работе рассматривается возможность прогнозирования града с заблаговременностью 132 часа с помощью дискриминантного анализа. Успешность прогноза града оценивается по критериям качества прогнозов.

Материалы и методы исследования.

Материалами исследований послужили выходные данные глобальной модели атмосферы GFS NCEP с заблаговременностью 132 часа. Для прогнозирования явления «град» и «не град» использовались дискриминантные функции. Результаты прогнозирования были сопоставлены с данным наблюдений о выпадении града, предоставленными военизированными службами по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы, расположенными в радиусе репрезентативности фактических данных аэрологического зондирования на станции «Минеральные воды». Для оценки успешности прогноза града составлена таблица сопряженности и рассчитаны критерии качества прогнозов.

Результаты исследования и их обсуждение.

Результаты расчетов показали, что прогноз града с заблаговременностью 132 часа соответствуют всем критериям качества прогнозов. Показатели успешности прогноза оказались хорошими. Так, оправдываемость прогноза града составила $\approx 70\%$.

Заключение.

Исследования показали, что предлагаемый подход прогноза града по данным глобальной модели атмосферы при увеличении заблаговременности до пяти суток не приводит к заметному снижению качества прогнозов.

Ключевые слова:

глобальная модель атмосферы, аэрологическое зондирование, заблаговременность, метеорологические параметры, дискриминантный анализ, прогноз опасных явлений.

**Kagermazov A.Kh.,
Fedchenko L.M.,
Sozaeva L.T.,
Zhaboeva M.M.**

Federal state budgetary institution «High-Mountain geophysical institute»
Nalchik, Russian Federation
*ljk_62@rambler.ru

Medium-range Hail Forecast Based on Global Atmospheric Model Output Data

- Introduction.** The forecast of dangerous weather phenomena, including hail, is becoming more and more popular not only for services to combat hail, but also for other sectors of the national economy. This is facilitated by the intensification of weather processes due to climate warming and the operational availability of the results of modeling the Earth's atmosphere, in particular, the values of stratification according to the global model (GFS NCEP). This paper discusses the possibility of predicting hail with a lead time of 132 hours using discriminant analysis. The success of the hail forecast is assessed by the criteria of the forecast quality.
- Materials and methods of research.** The research materials were the output data of the global atmospheric model GFS NCEP with a lead time of 132 hours. Discriminant functions were used to predict the phenomenon of «hail» and «non-hail». The results of the forecast were compared with the data of observations on the fall of hail provided by the paramilitary services for active influence on meteorological and other geophysical processes, located within the radius of representativeness of the actual data of the aerological sounding at the Mineralnye Vody station. To assess the success of the hail forecast, the conjugacy table is compiled and the forecast quality criteria are calculated.
- Research results and their discussion.** The results of the calculations showed that the hail forecast with a lead time of 132 hours meets all the criteria for the quality of forecasts. The forecast success rates were good. Thus, the accuracy of the hail forecast was $\approx 70\%$.
- Conclusion.** Studies have shown that the proposed approach to forecasting hail from the data of the global atmospheric model does not lead to a noticeable decrease in the quality of forecasts when the lead time is increased to five days.
- Key words:** global model of the atmosphere, aerological sounding, lead time, meteorological parameters, discriminant analysis, forecast of hazardous phenomena.

Введение

Прогноз града с необходимой заблаговременностью и оправдываемостью остается актуальной задачей, связанной с увеличением случаев и расширением территорий их наблюдения. Происходящее обусловлено глобальным потеплением, усилившимся в последние десятилетия. Используемые на практике методы прогноза града относятся к сверхкраткосрочным 12–24 часа или к наукастингу.

Увеличение заблаговременности прогноза такого опасного явления, как град, играет огромную роль не только для служб по борьбе с градом, эффективность работы которых напрямую зависит от своевременного получения прогноза, особенно в начале сезона или же при длительных периодах хорошей погоды в сезон, но и для транспортной, сельско-хозяйственной, рекреационной и других отраслей экономики.

Рассматриваемый метод прогноза града изначально был разработан на основе концепции «идеального прогноза», то есть с использованием метеорологических параметров атмосферы, рассчитанных по данным фактических наблюдений (аэрологического зонда) и максимально приближенных ко времени развития градового процесса (3–24 часа). Но этого времени не всегда бывает достаточно для принятия мер по уменьшению ущерба, наносимого градобитием.

В последние годы стала доступной выходная продукция глобальных математических моделей атмосферы, включающая в себя и поля метеорологических элементов (стратификация полей температуры, влажности, направления и скорости ветра) с различной заблаговременностью. Используемая нами выходная продукция действующей модели глобальной системы прогнозирования NOAA (GFS NCEP) (аналог аэрологического зонда) в настоящее время обладает достаточно высокой достоверностью и позволяет получать информацию с заблаговременностью до 10 суток.

В предлагаемом подходе прогнозирование града с среднесрочной заблаговременностью 132 часа проводится с использованием в качестве входных данных выходной продукции глобаль-

ной модели атмосферы с такой же заблаговременностью. Оценка степени совпадения (валидация) прогнозных значений стратификации атмосферы (заблаговременностью 132 часа), полученных из глобальной модели атмосферы с фактическими данными аэрологического зондирования метеостанции «Минеральные Воды» центральной части Северного Кавказа, показала хорошее совпадение [1]. Это дало возможность заменить данные фактического аэрологического зондирования на прогнозные значения стратификации атмосферы. Для прогноза града применяются дискриминантные функции.

Полученные результаты показали хорошие значения критериев качества прогнозов, несмотря на заблаговременность до пяти суток, и могут быть полезны при организации противогорадовых работ военизированными службами по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы, а также органам, принимающим решения по уменьшению ущерба от стихийных опасных явлений.

Материалы и методы исследования

Глобальная система прогнозирования NOAA (GFS NCEP) в начале 90-х годов получила широкое распространение и известность [7–9]. С ростом вычислительных ресурсов и изменения компьютерной архитектуры увеличивалась и ее разрешающая способность. В июне 2019 года глобальная система прогнозирования в рамках проекта NGGPS (Next Generation Global Prediction System) была значительно обновлена. Был осуществлен переход на новый не спектральный блок решения уравнений динамики, а также введен ряд усовершенствований в описании физических процессов подсеточного масштаба. Динамическое ядро разбивает атмосферу на небольшие кубы, расположенные на сетке, и вычисляет изменения параметров внутри каждого куба. Это позволяет телескопировать масштаб расчетной сетки для обсчета мезомасштабных штормовых систем, приводящие к улучшению их прогноза. Дискретность модели по времени составляет 3 часа для за-

благовременности 0–180 часов и 12 часов для заблаговременности 180–384 часа.

Часть выходной продукции глобальной модели, необходимая для использования в методах прогноза конвективных явлений (аналог аэрологического зонда), включает в себя прогностические поля следующих метеопараметров:

- изобарические поверхности (гПа) и соответствующие им высоты (м);
- температура воздуха (°C);
- температура точки росы (°C);
- направление ветра (град);
- скорость ветра (м/с).

Эти параметры рассчитываются на различных уровнях от 1000 до 20 гПа. Выходные прогнозные данные о стратификации атмосферы за 04.06.2020 в цифровом виде представлены на рисунке 1.

Предлагаемый алгоритм прогноза града в качестве входных данных использует описанную выходную продукцию глобальной модели с заблаговременностью до 132 часа: температура воздуха и точки росы, направление и скорость ветра на стандартных уровнях (Земля, 800, 700, 650, 600, 500, 400, 300 и 200 гПа). Согласно алгоритму, предварительно рассчитываются около 45 параметров атмосферы, известных из существующих методов прогноза конвекции и связанных с ней опасных явлений погоды. Такое количество признаков предъявляет слишком жесткие (часто невыполнимые) требования к объему эмпирических данных, что делает чрезвычайно трудоемкой (порой нереализуемой) вычислительную процедуру прогноза. Поэтому возникла необходимость процедуры отбора наиболее информативных признаков. Эта задача решалась двумя способами: с помощью бисериального коэффициента корреляции и факторного анализа с учетом бисериального коэффициента корреляции [1]. Затем, при помощи отобранных параметров,

YR: 2020	MON: 06	DAY: 04	HOUR: 12		
AT POSITION: 44.1	135.2	LAT.: 44.20	LON.: 43.10		
PRESS HPA	HGT(MSL) M	TEMP C	DEW PT C	WND DIR DEG	WND SPD M/S

|E = Estimated Surface Height

943.	606.	21.3	15.3	47.1	1.2
925.	766.	18.6	13.1	36.1	1.3
900.	1000.	16.2	12.3	41.9	1.2
850.	1483.	11.9	11.0	47.6	0.5
800.	1989.	9.1	6.1	255.3	2.1
750.	2521.	6.5	1.9	262.6	3.9
700.	3085.	3.3	-2.5	249.2	7.2
650.	3681.	-0.7	-6.6	227.8	8.6
600.	4315.	-5.4	-11.2	219.1	9.6
550.	4992.	-10.4	-18.1	229.5	12.8
500.	5717.	-16.0	-23.2	237.6	15.4
450.	6502.	-21.6	-28.8	238.9	18.0
400.	7358.	-28.1	-34.7	237.4	19.5
350.	8301.	-35.5	-40.5	236.7	19.3
300.	9355.	-43.2	-47.7	235.2	19.3
250.	10560.	-50.5	-56.6	232.4	22.8
200.	12010.	-50.8	-70.2	229.9	29.0
150.	13888.	-50.1	-79.7	216.1	29.7
100.	16508.	-55.4	-82.3	210.8	17.6
50.	20828.	-58.9	-87.0	156.1	6.8
20.	26689.	-50.9	-999.0	89.1	11.3

Рис. 1. Прогнозные выходные данные о стратификации атмосферы по глобальной модели для метеостанции Минеральные Воды» (04.06.2020).
Fig. 1. The forecast output data on atmospheric stratification according to the global model for the «Mineralnye Vody» weather station (04.06.2020).

составляются дискриминантные функции для прогноза опасных явлений (града).

Дискриминантная функция, полученная на основе параметров, отобранных с помощью бисериального коэффициента корреляции, имеет вид:

$$L = 0,0557D_j - 0,0696 \sum_{\text{земля}}^{500} q - 0,0002H_p - 0,036TT - 0,0069\Delta S + 0,057\tau_{\text{деп}} - 20,3 \quad (1)$$

где D_j – индекс неустойчивости Джорджа;

H_p – высота слоя потенциальной неустойчивости;

TT – индекс интегральной суммы Миллера;

$\sum_{\text{земля}}^{500}$ – суммарная удельная влажность слое Земля – 5 км;

$\Delta\tau_{\text{dsp}}$ – суммарный дефицит точки росы в 5 км слое от уровня конденсации;

ΔS – энергетическая характеристика подоблачного слоя.

По дискриминантной функции (1) если $L \geq 0$ прогнозируется «град», при $L < 0$ – «не град».

Дискриминантная функция, полученная на основе параметров, отобранных с использованием факторного анализа и бисериального коэффициента корреляции, имеет вид:

$$L_2^* = -0,05V_{700} + 0,3205\Delta t_m + 0,0071\Delta t_1 + 0,00359 \sum_{\text{земля}}^{500} q - 0,03606 \sum_{\text{земля}}^{500} \tau + 0,0389D_j - 12,57 \quad (2)$$

где V_{700} — упорядоченные вертикальные движения воздуха на 700 гПа;

Δt_m — максимальная разность температур облака и окружающего воздуха;

Δt_1 — вертикальный градиент температуры в слое выше уровня конденсации на 2 км;

$\sum_{j=1}^{500} q_{D_j}$ — суммарная удельная влажность в слое Земля — 5 км; индекс Джорджа;

$0,03606 \sum_{\text{земля}}^{500} \tau$ — суммарный дефицит точки росы в слое Земля — 500 гПа.

По дискриминантной функции (2) «град» прогнозируется также при $L_2^* \geq 0$, а при $L_2^* < 0$ прогнозируется «не град».

Заметим, что параметры, вошедшие в дискриминантные функции (1) и (2), в основном отражают запас неустойчивости, влагосодержания и температурный режим в зоне роста града. Отличительной особенностью дискриминантной функции (2), является то, что она позволяет количественно учитывать крупномасштабные атмосферные движения (упорядочение вертикальные токи) на фоне которых развиваются конвективные явления.

Для оценки успешности предлагаемого метода прогноза града составляется таблица сопряженности с элементами:

n_{11} — число оправдавшихся прогнозов с формулировкой «град»;

n_{12} — число неоправдавшихся прогнозов с формулировкой «град»;

n_{21} — число неоправдавшихся прогнозов с формулировкой «не град»;

n_{22} — число оправдавшихся прогнозов с формулировкой «не град»;

$n_{10} = n_{11} + n_{12}$ — число всех оцениваемых прогнозов с формулировкой «град»;

$n_{20} = n_{21} + n_{22}$ — число всех оцениваемых прогнозов с формулировкой «не град»;

$n_{01} = n_{11} + n_{21}$ — число всех оцениваемых случаев «град»;

$n_{02} = n_{12} + n_{22}$ — число всех оцениваемых случаев «не град»;

$n_{00} = n_{10} + n_{20} = n_{01} + n_{02}$ — число всех оцениваемых случаев.

По таблице сопряженности рассчитываются основные параметры для оценки прогнозов градовой опасности:

$$P_{\text{ооп}} = (n_{11} + n_{22}) / 100,$$

$$P_{\text{пня}} = (n_{11} + n_{01}) / 100,$$

где $P_{\text{ооп}}$ — общая оправдываемость прогноза;

$P_{\text{пня}}$ — предупрежденность наличия явления.

Рассчитываются и дополнительные показатели для оценки прогнозов градовой опасности:

$$P_{\text{опня}} = \frac{n_{11}}{n_{10}} \cdot 100,$$

$$P_{\text{ооя}} = \frac{n_{22}}{n_{20}} \cdot 100,$$

$$P_{\text{ноя}} = \frac{n_{22}}{n_{02}} \cdot 100,$$

где $P_{\text{опня}}$ — оправдываемость прогноза наличия явления;

$P_{\text{ооя}}$ — оправдываемость отсутствия явления;

$P_{\text{поя}}$ — предупрежденность отсутствия явления.

Критерий качества прогнозов Пирси-Обухова рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{n_{11}}{n_{01}} - \frac{n_{12}}{n_{02}} = \frac{n_{22}}{n_{02}} - \frac{n_{21}}{n_{01}}$$

Критерий надежности по Н.А. Багрову имеет вид:

$$H = \frac{U - U_0}{1 - U_0},$$

где

$$U_0 = \left(\frac{n_{10}n_{01}}{n_{00}} + \frac{n_{20}n_{02}}{n_{00}} \right) / n_{00};$$

$$U = \frac{n_{11} + n_{22}}{n_{00}}.$$

Ошибка риска метода (явление не прогнозировалось, но наблюдалось) равна:

$$a = n_{21} / n_{01}.$$

Ошибка страховки метода (явление прогнозировалось, но не наблюдалось) равна:

$$P = n_{12} / n_{02}.$$

Критерий точности по А.М. Обухову принимает значение:

$$Q = 1 - a - P.$$

Результаты исследований и их обсуждение

Несмотря на то, что выходная продукция глобальной модели (стратификация полей температуры, влажности, направления и скорости ветра) обладает достаточно высокой достоверностью, была исследована возможность ее использования взамен данных фактического аэрологического зондирования. Для этого были сформированы два набора данных значений температуры воздуха и точки росы, и характеристик ветра вблизи поверхности земли и на различных изобарических поверхностях:

- прогнозные (из модели) за 132 часа до проведения зондирования;
- фактические (из данных аэрологического зондирования).

Данные были сформированы для метеостанции «Минеральные воды», расположенной в Центральной части Северного Кавказа. Связи между этими наборами данных были найдены по коэффициенту корреляции.

Расчеты показали, что коэффициенты корреляции для температуры воздуха и точки росы имеют высокие и очень высокие значения по шкале Чедокка, а для направления и скорости ветра улучшаются с высотой, принимая, соответственно, также высокие и заметные значения.

В целом, коэффициенты корреляции между фактическими и прогнозными метеорологическими данными с заблаговременностью 132 часа оказались на уровне или выше коэффициентов корреляции между фактическими и прогнозными метеорологическими данными с заблаговременностью до трех суток [2–4]. Этому послужило то, что исследования качества выходной продукции глобальной модели атмосферы GFS с заблаговременностью 132 часа совпало по времени с радикальным ее усовершенствованием (июнь 2019 г.).

Таким образом, прогнозные значения стратификации атмосферы могут использоваться для составления прогнозов опасных яв-

лений и элементов погоды (заменяя собой фактическое аэрологическое зондирование) с заблаговременностью до пяти суток.

Прогноз града составлялся методами дискриминантных функций (формулы (1) и (2)) по данным глобальной модели (аналог радиозонда) за май-август 2020 года по географическим координатам станции «Минеральные Воды». Для расчета успешности прогноза составлялась таблица 1. Разделение явлений на «град» или «не град» осуществлялось по данным наблюдений военизированных служб по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы, расположенных в радиусе репрезентативности фактических данных аэрологического зондирования на станции «Минеральные Воды» (табл. 1).

Результаты прогнозирования града с заблаговременностью 132 часа отображены в таблице 2.

Результаты прогнозов града по дискриминантным функциям с заблаговременностью 132 часа показали, что рассматриваемый метод соответствует всем критериям качества прогнозов. Показатели успешности прогноза оказались хорошими, но незначительно ниже показателей при прогнозе града этими же функциями при меньшей заблаговременности (12–24 часа) [5, 6]. Так, оправдываемость предлагаемого метода равна $\approx 70\%$, в отличие от аналогичного метода прогноза на 12–24 часа ($\approx 80\%$), а предупрежденности наличия явления «град» незначительно меньше, чем в случае с меньшей заблаговременностью.

Выводы

По результатам расчетов прогноза града с заблаговременностью до пяти суток и анализа их успешности можно сделать вывод, что испытываемый метод соответствует критериям качества прогнозов. При увеличении заблаговременности до пяти суток сохраняется прогнозный потенциал дискриминантных функций, что не приводит к заметному снижению критериев качества прогнозов.

ТАБЛИЦА 1.

ТАБЛИЦА СОПРЯЖЕННОСТИ
Table 1. Contingency table

Прогноз явления	Наблюдение явления		Сумма
	«град»	«не град»	
«град»	10	5	15
«не град»	6	18	24
сумма	16	23	39

Таблица 2.

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗА ГРАДА
С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 132 ЧАСА
Table 2. Quality criteria of hail forecast with a lead time of 132 hours

№	Наименование критериев качества прогноза	Критерии качества прогноза
1	Общая оправдываемость прогноза	72
2	Предупрежденность наличия явления	63
3	Оправдываемость прогноза наличия явления	67
4	Оправдываемость отсутствия явления	75
5	Предупрежденность отсутствия явления	78
6	Критерий качества прогнозов Пирси-Обухова	0,41
7	Критерий надежности по Н. А. Багрову	0,41
8	Ошибка риска метода	0,38
9	Ошибка страховки метода	0,22
10	Критерий точности по А. М. Обухову	0,41

Таким образом, использование выходных данных современных глобальных моделей для расчета параметров атмосферы с целью прогноза града (и других опасных явлений) с увеличенной заблаговременностью имеет хорошие перспективы развития.

Библиографический список

1. Кагермазов А. Х. Цифровая атмосфера. Современные методы и методология исследования опасных метеорологических процессов и явлений. Нальчик: Печатный двор. 2015. 215 с.
2. Kagermazov A. Kh., Sozaeva L. T. Validation of the output of the global atmospheric model on days with the development of dangerous convective phenomena according to aerological sounding with a two-day lead time // VIII All-Russian Conference on Atmospheric Electricity: Journal of Physics: Conference Series. 2020. №1604. doi:10.1088/1742-6596/1604/1/012011.
3. Кагермазов А. Х., Созаева Л. Т. Валидация выходных данных глобальной модели атмосферы, полученных с заблаговременностью до трех суток, по данным аэрологического зондирования // Материалы VI Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды» (г. Санкт-Петербург, 16-18 сентября 2020 г.). СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского. 2020. 131–136 с.
4. Кагермазов А. Х., Созаева Л. Т. Валидация выходных данных глобальной модели атмосферы по данным аэрологического зондирования с нарастающей заблаговременностью // Наука. Инновации. Технологии. 2020. №4. 137-148 с.
5. Kagermazov A. Kh. The forecast of hail based on the atmospheric global model (T254 NCEP) output data // Russian Meteorology and Hydrology. 2012. № 37. С. 165–169.

6. Кагермазов А.Х., Созаева Л.Т. Прогноз града с заблаговременностью до трех суток по выходным данным глобальной модели атмосферы. Труды ГГО. 2020. Вып. 598. 204–214 с.
7. Kalnay E., Kanamitsu M., and Baker W.E. Global numerical weather prediction at the National Meteorological Center // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1990. Vol.71. 1410–1428 p.
8. Kanamitsu M. Description of the NMC global data assimilation and forecast system // Weather and Forecasting. 1989. Vol. 4. 335–342 p.
9. Kanamitsu M., Alpert J.C., Campana K. A., Caplan P. M., Deaven D. G., Iredell M., Katz B., Pan H.-L., Sela J., and White G. H. Recent changes implemented into the global forecast system at NMC // Weather and Forecasting. 1991. Vol. 6. 425–435 p.

References

1. Kagermazov A. Kh. Digital atmosphere. Modern methods and methodology for the study of dangerous meteorological processes and phenomena. Nalchik. Printing yard. 2015. 215 p.
2. Kagermazov A. Kh., Sozaeva L. T. Validation of the output of the global atmospheric model on days with the development of dangerous convective phenomena according to aerological sounding with a two-day lead time // VIII All-Russian Conference on Atmospheric Electricity: Journal of Physics: Conference Series. 2020. №1604. doi:10.1088/1742-6596/1604/1/012011
3. Kagermazov A. Kh., Sozaeva L. T. Validation of global atmospheric model output data up to three days in advance based on aerological sounding data // Problems of military-applied geophysics and control of the state of the natural environment: Conference proceedings. St. Petersburg: MCAA.F. Mozhaisky. 2020. 131–136 p.
4. Kagermazov A. Kh., Sozaeva L.T. Validation the output data of the global model of the atmosphere on data of aerological sensing with increscent lead time // Science. Innovations. Technologies. 2020. №4. 137-148 p.

5. Kagermazov A. Kh. The forecast of hail based on the atmospheric global model (T254 NCEP) output data // Russian Meteorology and Hydrology. 2012. № 37. С. 165–169.
6. Kagermazov A. Kh., Sozaeva L.T. Hail forecast on the output data of the global atmospheric model with tree-day advance time. Trudy GGO. 2020. Vol. 598. 204–214 p.
7. Kalnay E., Kanamitsu M., and Baker W.E. Global numerical weather prediction at the National Meteorological Center // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1990. Vol.71. 1410–1428 p.
8. Kanamitsu M. Description of the NMC global data assimilation and forecast system // Weather and Forecasting. 1989. Vol. 4. 335–342 p.
9. Kanamitsu M., Alpert J.C., Campana K. A., Caplan P. M., Deaven D. G., Iredell M., Katz B., Pan H.-L., Sela J., and White G. H. Recent changes implemented into the global forecast system at NMC // Weather and Forecasting. 1991. Vol. 6. 425–435 p.

**Поступило в редакцию 22.04.2021,
принята к публикации 31.05.2021.**

Об авторах

- Кагермазов** Артур Хасанбиевич – заведующий лабораторией атмосферных конвективных явлений, кандидат физико-математических наук, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт». Адрес: РФ, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 2
Scopus ID 55185153100
E-mail: ka5408@mail.ru
Тел. +7 (928) 720 35 96
- Федченко** Людмила Михайловна – доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт». Адрес: РФ, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 2.
E-mail: fedchenkolm@mail.ru
Тел. +7 (928) 238 05 17
- Созаева** Лежинка Танашевна – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт». Адрес: РФ, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 2
Scopus ID 57204527832
E-mail: ljk_62@rambler.ru
+7 (928) 723 20 08
- Жабоева** Мариям Музигитовна – и.о. младший научный сотрудник лаборатории атмосферных конвективных явлений, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»
Адрес: РФ, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 2
E-mail: Jaboevam@mail.ru@mail.ru
Тел. +7 (928) 703 06 04

About authors

Kagermazov Artur Khasanbievich – candidate of physical and mathematical sciences, head of the laboratory of atmospheric convective phenomena of Federal state budgetary institution «High-Mountain Geophysical Institute». Address: Russia, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2.

Scopus ID 55185153100

E-mail: ka5408@mail.ru

Тел.: +7 (928) 720 35 96

Fedchenko Lyudmila Mikhailovna – Doctor of geographical sciences, professor, Chief researcher of Federal state budgetary institution «High-Mountain Geophysical Institute». Address: Russia, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2.

E-mail: fedchenkolm@mail.ru

Тел.: +7 (928) 238 05 17

Sozaeva Lezhinka Tanashevna – candidate of physical and mathematical sciences, docent, senior research associate the laboratory of atmospheric convective phenomena of Federal state budgetary institution «High-Mountain Geophysical Institute»
Address: Russia, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2.

Scopus ID 57204527832

E-mail: ljk_62@rambler.ru

Тел.: +7 (928) 723 20 08

Zhaboeva Maryam Muzigitovna – junior research associate the laboratory of atmospheric convective phenomena of Federal state budgetary institution «High-Mountain Geophysical Institute»
Address: Russia, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin Ave., 2.

E-mail: Jaboevam@mail.ru@mail.ru

Тел.: +7 (928) 703 06 04

25.00.30
УДК 551.515

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Кузьмин В.А.,

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»,
г. Нальчик, Россия

Черкесов А.А.

cherkesov2018@yandex.ru

ВАРИАЦИИ ЛОКАЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГРОЗОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

DOI 10.37493/2308-4758.2021.2.7

Введение.

В работе рассматриваются анализ экспериментальных данных изменений значений напряженности электрического поля приземной атмосферы под действием молний «облако-облако», «облако-земля» (положительные, отрицательные) на репрезентативной территории – территории, ограниченная радиусом 10 км от места установки датчика поля.

Материалы и методы исследования. Для проведения комплексных синхронных измерений частоты и местоположения молниевых разрядов различных типов (облачных, наземных положительных и наземных отрицательных) и временного хода напряженности электрического поля приземной атмосферы были использованы аппаратно-программные комплексы (АПК) ФГБУ «ВГИ», включающие грозорегистратор LS8000 и измерители напряженности электрического поля атмосферы EFM550 [13, 14]. Данные системы позволяют получать полную информацию об электрических явлениях в атмосфере, включая местоположение разрядов молнии, их классификацию на наземные положительные, наземные отрицательные, облачные, а также суточные вариации напряженности электрического поля атмосферы. Для совместного исследования был выбран участок территории с радиусом 10 км, с центром в точке установки датчика EFM550, в г. Нальчик (широта 43,4694, долгота 43,5861).

Результаты.

Для анализа временного хода напряженности поля приземной атмосферы выбраны дни, как с грозами, так и без гроз. Всего за анализируемый период зарегистрирован около 3928 разрядов. Из них «облачные» – 3610, «наземные положительные» – 64, «наземные отрицательные» – 254. Реакциями во временном ходе напряженности поля на молниевые разряды являются резкие скачки от нормального значения +130 В/м до значений от –10 кВ/м до +10 кВ/м после каждого разряда.

Выводы.

В результате проведенных исследований выявлено, что значительные скачки напряженности поля вызывают наземные разряды молний. Такое увеличение, как правило, может достигать до ± 10 кВ/м. Выполнены количественные оценки корреляционных взаимосвязей между количеством молний различных типов (облачных, наземных положительных и наземных отрицательных) и значениями напряженности электрического поля приземной атмосферы при грозах в виде линейных выражений.

Ключевые слова:

грозопеленгационная сеть, грозопеленгатор LS8000, измеритель напряженности электрического поля атмосферы, электрическое поле, молниевые разряды.

Kuzmin V.A.
Cherkesov A.A.

FSBI "High Mountain Geophysical Institute", Nalchik, Russia;
FSBI "High Mountain Geophysical Institute", Nalchik, Russia

Variations of the Local Electric of the Atmosphere Under the Influence of Thunderstorm Events

Abstract.

Space weather and thunderstorms are among the insufficiently studied atmospheric processes that make a nonstationary contribution to the formation of the global electrical circuit. Thunderstorms are one of the important components of the effect on the electric field of the surface atmosphere.

The aim of this work is to reveal the influence of lightning discharges on the dynamics of the time course of the electric field of the surface atmosphere. The paper presents the results of synchronous measurements of the electric field strength of the near-ground atmosphere at the station and the characteristics of thunderstorm activity.

Key words:

lightning direction finding network, lightning direction finder LS8000, measuring the intensity of the electric field of the atmosphere, electric field, lightning discharges.

Введение

Вариации локального электрического поля вблизи земной поверхности обусловлено наложением возмущений локального происхождения на глобальные (унитарные) вариации электрического поля. Унитарная вариация электрического поля, представляющая синхронные ее изменения в целом по Земле (минимум – 04^h–05^h UT) и максимумом – (19^h–20^h UT), вследствие изменений потенциала ионосферы, является одним из доказательств существования глобального генератора электрического поля атмосферы, связанного ($\approx 70\%$), прежде всего, с грозовой активностью экваториальной зоны земного шара и не зависит от географического месторасположения пункта наблюдения [1, 2, 3]. UT – всемирное координированное время.

Другая часть потенциала ионосферы, определяемая космическими факторами ($\approx 20\text{--}30\%$) – взаимодействием солнечного ветра с земной магнитосферой и приливного воздействия на ионосферу со стороны Солнца и Луны (магнитосферный генератор, ионосферное динамо), зависит от географических координат, так как занимают ограниченную область [1, 4, 5]. Наряду с грозовым и магнитосферно-ионосферным генераторами определенный вклад в вариации электрического поля могут вносить конвективный токовый генератор ($\approx 10\%$), действующий в пограничном слое атмосферы [3, 6, 7].

При отсутствии грозовой и интенсивной кучевой облачности, осадков, метели, поземки и других атмосферных явлений, среднее

значение напряженности атмосферного электрического поля E_z вблизи поверхности Земли имеет порядок (120–150) В/м над океанами и (75–125) В/м над материками и зависит от широты точки наблюдения. Наибольшие значения E_z наблюдаются на широтах экваториальной зоны, а к полюсам и к экватору наблюдается убывание E_z [8, 9, 10]. С удалением от поверхности земли величина E_z быстро уменьшается, а на высотах (5–10) км не превышает единиц В/м [11, 12].

Электрическое поле приземной атмосферы весьма чувствительно к погодным явлениям и существенно меняется при развитии грозových облаков. Данная особенность может быть использована для диагностики и наукастинга (краткосрочный прогноз, до 2 ч) грозовой активности в облаках на основе данных вариаций электрического поля приземной атмосферы.

Целью настоящей работы является выявление влияния молниевых разрядов на динамику временного хода электрического поля приземной атмосферы.

Материалы и методы

Для проведения комплексных синхронных измерений частоты и местоположения молниевых разрядов различных типов (облачных, наземных положительных и наземных отрицательных) и временного хода напряженности электрического поля приземной атмосферы были использованы аппаратно-программные комплексы (АПК) ФГБУ «ВГИ», включающие грозорегистратор LS8000 и измерители напряженности электрического поля атмосферы EFM550 [13, 14].

Данные комплексы позволяют получать полную информацию об электрических явлениях в атмосфере, включая местоположение разрядов молнии, их классификацию на наземные положительные, наземные отрицательные, облачные, а также суточные вариации напряженности электрического поля атмосферы.

Грозопеленгационная сеть LS8000, установленная на Северном Кавказе в 2008 году, состоит из шести грозопеленгаторов и центрального пункта приема и обработки информации. Каждый грозопеленгатор имеет по два датчика – низкочастотный (LF – low frequency) и высокочастотный (VHF – very high frequency). Низкочастотный датчик фиксирует, в основном, молниевые разряды типа «облако–земля». Высокочастотный датчик фиксирует молниевые

разряды только типа «облако–облако». Зоны обзора для разных типов молниевых разрядов различные.

Для молниевых разрядов «облако–земля» радиус области обзора составляет 625 км от центров сети, а разрядов «облако–облако» – 325 км. Зона обзора системы перекрывает территории юга европейской части России и республик Закавказья. По данным, полученным с LF и VHF датчиков, центральные процессоры (CP8000), расположенные в центре приема и обработки информации, формируют до 25 параметров по каждому молниевому разряду [14].

В частности для молниевых разрядов «облако–земля»:

- дата и время разряда с точностью до 100 наносекунд;
- координаты разряда; сила и полярность тока в канале разряда;
- классификация разрядов на положительные и отрицательные;
- время роста сигнала до пикового значения;
- время спада сигнала от пикового значения до нуля и др.

Для молниевых разрядов «облако–облако»: дата и время разряда с точностью до 100 наносекунд и координаты разряда.

Система позволяет проводить автоматическую регистрацию указанной информации, ее архивирование, а также визуализацию информации в различных форматах:

- табличных данных;
- точек координат молний, наложенных на карты местности;
- в виде цветовой индикации на различных картосхемах и др.

Для измерения напряжённости электрического поля атмосферы при грозовых процессах был разработан аппаратно-программный комплекс, включающий в себя:

- измерители электрического поля атмосферы EFM550 фирмы Vaisala;
- грозорегистратор LS8000, также фирмы Vaisala;
- программное обеспечение для решения задач из-

мерения, передачи и визуализации значений напряжённости электрического поля атмосферы и параметров молниевых разрядов.

Аппаратно-программный комплекс EFM550 производит измерение значения напряжённости электрического поля атмосферы с частотой 2 Гц, т.е. каждые 0,5 секунды. Максимальные и минимальные значения напряжённости, которые может измерить EFM550, составляют $\pm 10\,000$ В/м [13, 15]. Измеренные значения сохраняются на жёстком диске компьютера. По этим данным можно изучать суточные и сезонные вариации напряжённости электрического поля атмосферы с помощью программного обеспечения аппаратно-программного комплекса EFM550.

Для совместного исследования был выбран участок территории с радиусом 10 км, с центром в точке установки датчика EFM550, в г. Нальчик (широта 43,4694, долгота 43,5861). Независимо от периода наблюдений в условиях «хорошей погоды» значение напряженности поля не превышает + 500 В/м, и оно всегда положительное.

На рисунке 1 показан временной ход напряженности электрического поля атмосферы в течение двух дней с грозами над выбранной территорией. На рисунке участки а-б (с 00 ч. 08.10.2019 по 18 ч. 08.10.2019), в-г (с 22 ч. 08.10.2019 по 10 ч. 09.10.2019), д-е (с 12 ч. 09.10.2019 и далее) периоды времени, когда над пунктом наблюдения отсутствовали погодные явления. Имело место слабая облачность. В указанные периоды времени напряженности электрического поля приземной атмосферы не превышали 200 В/м, что соответствовало значению поля «хорошей» погоды.

Участок б-в (с 18 ч. 08.10.2019 по 22 ч. 08.10.2019) соответствовал развитию грозовой облачности над точкой наблюдения. Об этом свидетельствовало регистрация разрядов грозорегистратором. При этом в этот период регистрировались исключительно облачные разряды, наземные разряды отсутствовали. Как видно из рисунка 1 амплитуда изменения напряженности поля приземной атмосферы при облачных разрядах составляла ± 6 кВ/м. Каждый облачный разряд вызывал скачек напряженности поля.

Участок г-д (с 10 ч. 09.10.2019 по 12 ч. 09.10.2019) соответствовал развитию грозовой облачности над точкой наблюдения с об-

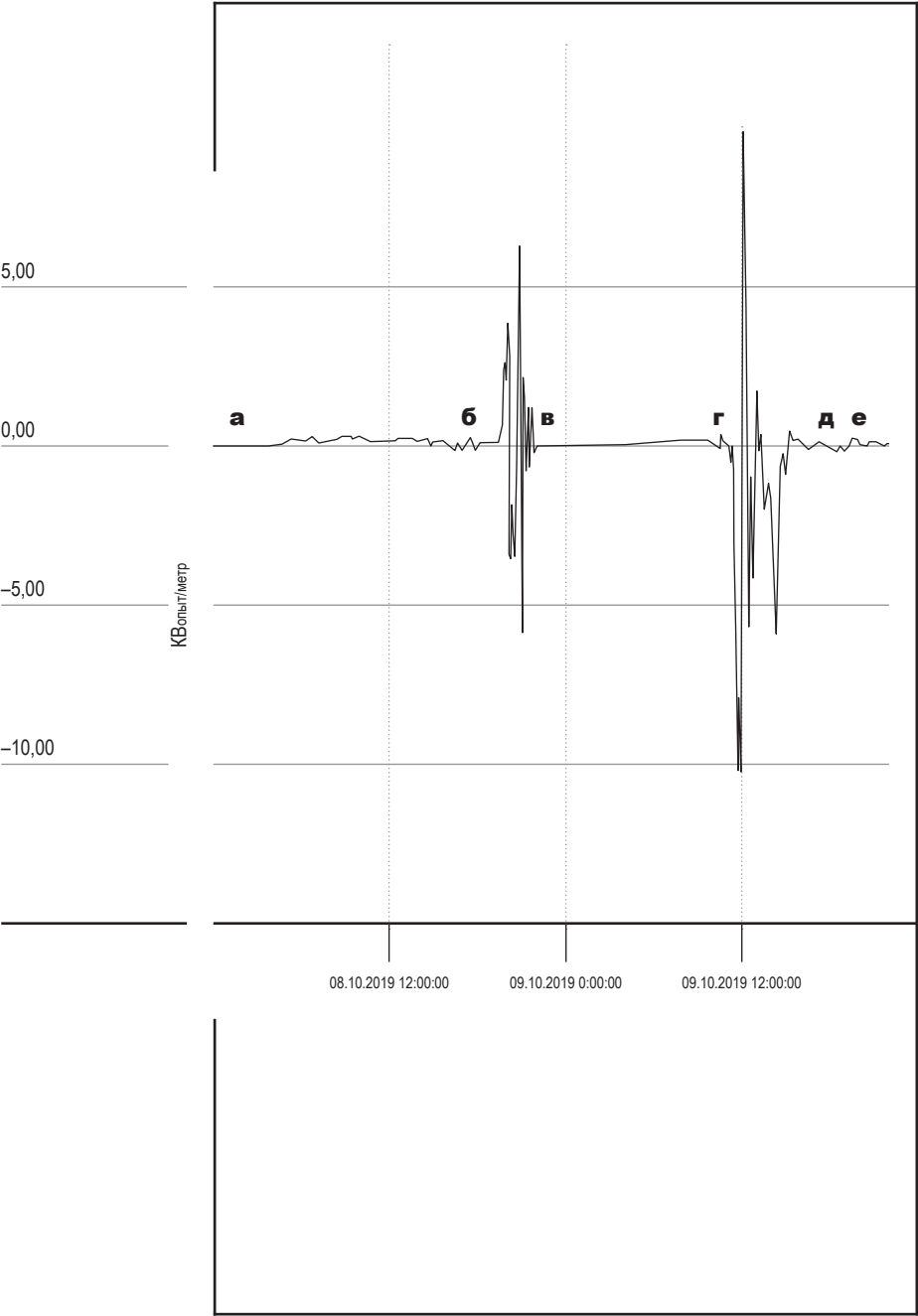


Рис. 1. Временной ход напряженности электрического поля приземной атмосферы при развитии грозовых процессов

Fig. 1. Time course of the electric field strength of the near-ground atmosphere during the development of thunderstorm processes

лачными и наземными разрядами молний. Как видно из рисунка 1 амплитуда изменения напряженности поля приземной атмосферы при наземных разрядах составляла около ± 10 кВ/м. При этом также каждый разряд вызывал скачек напряженности поля. Контроль типов разрядов молний (облачных, наземных) и их местоположение осуществлялся грозорегистратором.

Как показывает рисунок 1, имеют место резкие скачки напряженности электрического поля приземной атмосферы под воздействием разрядов молний.

Результаты и их обсуждение

Для анализа были выбраны дни, как с грозами, так и без гроз, в заданной области по данным грозопеленгационной сети.

В таблице 1 приведены данные за характерные 12 дней исследований, включающих 10 дней с грозой и 2 дня с «хорошей погодой» в зоне действия измерителя (территория ограничена окружностью радиусом 10 км вокруг точки установки EFM 550). Из 10 дней с грозой 4 дня были грозы только с облачными разрядами (без наземных молний), 6 дней были с грозами, когда отмечались и облачные и наземные молниевые разряды разных полярностей. Всего за рассматриваемые дни зарегистрированы около 3928 разрядов. Из них «VHF» – 3610, «LF+» – 64, «LF-» – 254. Реакциями во временном ходе напряженности поля на молниевые разряды являются резкие скачки от нормального значения $+130$ В/м до значений от -10 кВ/м до $+10$ кВ/м после каждого разряда. В таблице приведены средние значения за период наблюдения явления.

Как видно из таблицы 1, при разрядах облако-земля происходит рост приземного поля до значений, как правило, превышающих ± 4 кВ/м. С ростом частоты молний происходит увеличение напряженности электрического поля.

Облачные разряды фиксируются при напряженностях поля, превышающих $\pm 0,5$ кВ/м. Рост их количества также приводит к увеличению абсолютного значения величины поля.

Значительные скачки напряженности поля вызывают наземные разряды молний. Такое увеличение, как правило, может достигать до

Таблица 1. КОЛИЧЕСТВО МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРИ ГРОЗАХ И СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ИХ РАЗВИТИИ
Table 1. Number of lightning discharges of different types with thunderstorm and the average values of the electric field of the atmosphere during their development

№, п/п	Е, кВ/м	N, «облако–земля»		N, внутриоблачные «VHF»
		«LF-»	«LF+»	
1	-10...-8	74	24	624
2	-8...-6	32	12	508
3	-6...-4	22	2	322
4	-4...-2	0	0	230
5	-2...-0,5	0	0	28
6	-0,5...0	0	0	0
7	0...+0,5	0	0	0
8	+0,5...+2	0	0	58
9	+2...+4	0	0	260
10	+4...+6	8	4	352
11	+6...+8	36	16	542
12	+8...+10	82	18	686
Всего:		254	64	3610

± 10 кВ/м. При наземных разрядах молний отношение положительных к отрицательным изменений поля составляет 0,99. Результаты свидетельствуют, что наземные молнии в равных случаях приводят к увеличению поля как в положительную, так в отрицательную полярности.

Нами выполнены количественные оценки корреляционных взаимосвязей интенсивности молний различных типов (облачных N, наземных положительных N^+ и наземных отрицательных N^-) и значений напряженности поля приземной атмосферы (E – значения всего ряда напряженности, $|E|$ – абсолютное значение напряженности, E_1 – значения поля отрицательной напряженности, E_2 – значения поля положительной напряженности) при грозах.

Получены уравнения линейной регрессии, связывающие количество положительных, отрицательных молний «облако-земля» и облачных молний с *отрицательной* напряженностью (градиент потенциала у поверхности земли) в виде:

$$N^+ (E^-) = -9E^- - 15,64, \quad (1)$$

$$N^- (E^-) = -18E^- - 26,8, \quad (2)$$

$$N(E^-) = -140E^- - 58,6. \quad (3)$$

Из уравнений (1) – (3) следует, что увеличение отрицательной напряженности на 1 кВ/м обусловлено ростом количества положительных молний «о-з» на 9 (± 4 молнии), или если количество отрицательных молний «о-з» увеличивается на 18 (± 6 молний), или количество облачных молний возрастает на 140 (± 24 молнии).

Коэффициент детерминации R^2 имеет максимальное значение для третьего случая (облачные молнии), регрессионная модель объясняет 97,3 % данных. Критерий Дарбина – Уотсона $DW = 2,269$ показывает отсутствие автокорреляции между остатками. Регрессионная модель описывает количество облачных молний наиболее точно.

Аналогичные исследования проведены и для *положительной* напряженности и для количества молний различных типов.

Получены следующие уравнения регрессии для количества различных типов молний и *положительной* напряженности (градиента потенциала у поверхности земли) в виде:

$$N^+ (E^+) = 6E^+ - 11, \quad (4)$$

$$N^- (E^+) = 25E^+ - 37,5, \quad (5)$$

$$N (E^+) = 134E^+ + 1,4. \quad (6)$$

Из уравнений (4) – (6) следует, что увеличение положительной напряженности на 1 кВ/м обусловлено ростом количества положительных молний на 6 (± 4 молний) или если количество отрицательных молний увеличивается на 25 (± 8 молний), или количество облачных молний увеличивается на 134 (± 12 молний).

Из регрессионных уравнений (1) – (6), полученных для двух рядов напряженности (положительной и отрицательной), можно заметить, что изменения количества молний всех типов связаны только с абсолютной величиной напряженности поля, и не зависят от знака напряженности. Поэтому возможно объединение положительных и отрицательных величин напряженности по абсолютной величине ($|E|$) и получение корреляционной зависимости общего количества молний и абсолютной величины напряженности (рис. 2).

Получены выражения, связывающие напряженность $|E|$ с количеством положительных молний «облако-земля» N^+ ; с количеством отрицательных молний «облако-земля» N^- и с количеством облачных молний N .

$$N^+ = 15|E| - 27,5 \quad (7)$$

$$N^- = 43|E| - 27,5 \quad (8)$$

$$N = 274|E| - 57,3 \quad (9)$$

Из уравнений регрессии (7) – (9) следует, что увеличение абсолютной величины напряженности (градиента потенциала у поверхности земли) на 1 кВ/м обусловлено ростом количест-

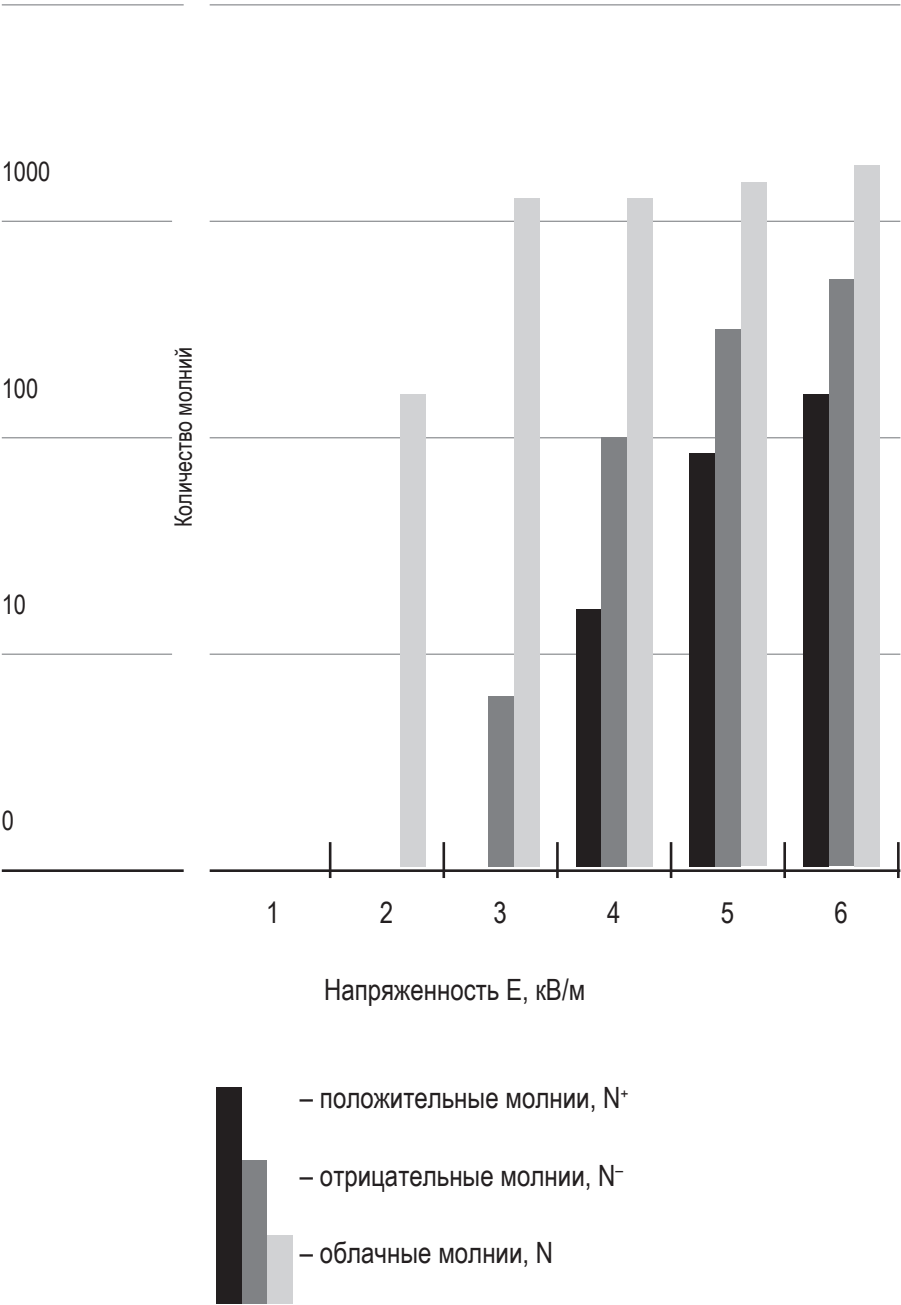


Рис. 2.

Связь между количеством молний различных типов и абсолютной величиной напряженности электрического поля.

Fig. 2. The relationship between the number of different types of lightning and the absolute value of the electric field strength.

ва облачных молний от 250 до 298 (274 ± 2), или количество отрицательных молний от 29 до 57 (43 ± 2), или положительных молний от 7 до 23 (15 ± 2) при 95 %-ном доверительном интервале.

Полученные выражения представляют важную информацию для параметризации конвективных облаков и их можно использовать для численных расчетов при моделировании процессов облако-и осадкообразования с учетом электрических факторов.

Выводы

1. При развитии облака наблюдается скачок напряженности поля, вызванный внутриоблачными разрядами молний. При этом знак наведенного облачными разрядами поля может быть как положительным, так и отрицательным. Отношение положительных к отрицательным изменениям поля составляет 1,23. Результаты свидетельствуют, что при отсутствии наземных молний облачные разряды в большинстве случаев приводят к увеличению положительного поля. Такое увеличение, как правило, не превышает в среднем ± 4 кВ/м.
2. Значительные скачки напряженности поля вызывают наземные разряды молний. Такое увеличение, как правило, может достигать до ± 10 кВ/м.
3. Выполнены количественные оценки корреляционных взаимосвязей между интенсивностью молний различных типов (облачных, наземных положительных и наземных отрицательных) и значениями напряженности электрического поля приземной атмосферы при грозах в виде линейных выражений. Рассчитанные значения коэффициентов корреляции указанных параметров составили 0,8; 0,9 и 0,8 соответственно.

Библиографический список

1. Атмосфера. Справочник (справочные данные, модели). Л.: Гидрометеиздат, 1991. 508 с.
2. Hays P.B., Roble R.G. A Quasi-Static Model of Global Atmospheric Electricity. I. The Lower Atmosphere // J. Geophys. Res. 1979. V.84. No A7. pp. 3205-3305.
3. Roble R.G., Hays P.B. Quasi-Static Model of Global Atmospheric Electricity. II Electrical Coupling Between the Upper and Lower Atmosphere // J. Geophys. Res. 1979. V. 84. No A12. pp. 7247-7256.
4. Анисимов С.В., Мареев Е.А., Шихова Н.М., Дмитриев Э.М. Механизмы формирования спектра пульсаций электрического поля приземной атмосферы // Изв. вузов. Радиофизика. 2001. Т. XLIV, №7. С. 562-575.
5. Грунская Л.В., Морозов В.Н., Ефимов В.А., Гаврилов И.Н., Тарасов А.В. Лунно-солнечные приливы в электрическом поле атмосферы Земли. // Известия вузов. Физика. 2003. №12. С. 71-77.
6. Морозов В.Н., Селезнева А.Н. К обобщению модели глобальной атмосферно-электрической цепи с учетом влияния пограничного слоя атмосферы // Труды ГГО, 1988. Вып. 514. С. 60-74.
7. Редин А.А., Куповых Г.В., Болдырев А.С. Электродинамическая модель конвективно-турбулентного приземного слоя атмосферы // Известия вузов. Радиофизика. 2013. № 11-12, т. 56. С. 820-828.
8. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 752 с.
9. Лободин Т. В. Результаты атмосферно-электрических измерений над океанами и в Антарктиде // Метеорологические исследования. Метеорология. 1963. № 5. С. 89–99.
10. Имянитов И.М., Пономарева Ю.Ф., Чубарина Е.В. Сравнительные атмосферно-электрические измерения в свободной атмосфере над Арктикой // Труды ГГО. 1980. Вып. 401. С. 83–90.
11. Кочев А. А., Смирных Л. К., Тютин А. А. Прямые одновременные измерения концентрации ионов, электрической проводимости и вертикальной составляющей напряженности электрического поля атмосферы на высотах 0–85 км // Космические исследования. 1976. Т. 2.

12. Тверской П. Н. Тверской И. М. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1949. 252 с.
13. Измеритель электрического поля EFM550 / Руководство пользователя <http://www.vaisala.com>. 2004.
14. Аджиев А.Х., Тапасханов В.О., Стасенко В.Н., Система грозоопенгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология. 2013. № 1. С. 5-11.
15. Аджиев А.Х., Куповых Г.В. Вариации атмосферного электрического поля на высокогорных пунктах наблюдений // ДАН. Геофизика. 2015. Т. 462. № 2. С 213-216.

References

1. Atmosphere. Reference (reference data, models). L.: Gidrometeoizdat, 1991. 508 p. (in Russ).
2. Hays P.B., Roble R.G. A Quasi-Static Model of Global Atmospheric Electricity. I. The Lower Atmosphere // J. Geophys. Res. 1979.V.84. No A7. P. 3205-3305.
3. Roble R.G., Hays P.B. Quasi-Static Model of Global Atmospheric Electricity. II Electrical Coupling Between the Upper and Lower Atmosphere // J. Geophys. Res. 1979.V.84. No A12. P. 7247-7256.
4. Anisimov S.V., Mareev E.A., Shikhova N.M., Dmitriev E.M. Mechanisms of formation of the spectrum of pulsations of the electric field of the near-ground atmosphere // Izv. universities. Radiophysics. 2001 T. XLIV, no. 7. p. 562-575. (in Russ).
5. Grunskaya LV, Morozov VN, Efimov VA, Gavrilov IN, Tarasov AV. Lunar-solar tides in the electric field of the Earth's atmosphere // Izvestiya Vuzov. Physics. 2003. № 12, p. 71-77. (in Russ).
6. Morozov V.N., Selezneva A.N. To generalization of the model of the global atmospheric-electric circuit taking into account the influence of the atmospheric boundary layer // Proceedings of the GGO, 1988. issue 514. p. 60-74. (in Russ).
7. Redin A.A., Kupovykh G.V., Boldyrev A.S. Electrodynamic model of the convective-turbulent surface layer of the atmosphere // Izvestiya vuzov. Radiophysics. 2013. No. 11-12, t. 56. S. 820-828. (in Russ).
8. Matveev LT Course of general meteorology. Physics of the atmosphere. L.: Gidrometeoizdat, 1984. (in Russ).

9. Lobodin TV Results of atmospheric-electrical measurements over oceans and in Antarctica // Meteorological research. Meteorology. 1963. No. 5. pp. 89–99. (in Russ).
10. Imyanitov IM, Ponomareva Yu. F., Chubarina EV Comparative atmospheric-electrical measurements in a free atmosphere over the Arctic // Proceedings of the GGO. 1980. Issue. 401, pp. 83–90. (in Russ).
11. Kochev AA, Smirnykh LK, Tyutin AA Direct simultaneous measurements of ion concentration, electrical conductivity and vertical component of the atmospheric electric field strength at altitudes of 0–85 km. 1976. T. 2. (in Russ).
12. Tverskoy PN Tverskoy IM Atmospheric electricity. L.: Gidrometeoizdat, 1949. (in Russ).
13. Electric field meter EFM550 / User manual <http://www.vaisala.com>. 2004.
14. Adzhiev A.Kh., Tapaskhanov VO, Stasenko VN, Thunderstorm direction finding system in the North Caucasus // Meteorology and Hydrology. 2013. No. 1. pp. 5–11. (in Russ).
15. Adzhiev A.Kh., Kupovykh G.V. Variations of the atmospheric electric field at high-altitude observation points // Dokl. Geophysics. 2015. Vol. 462. No. 2. pp 213–216. (in Russ).

**Поступило в редакцию 21.04.2021,
принята к публикации 08.05.2021**

Об авторах

Кузьмин Владимир Аркадьевич. Аспирант при ФГБУ «Высокогорный геофизический институт».
Адрес: 360002, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 2.
Телефон: +7(928) 914-33-22.
E-mail: vl.kuzmin1992@gmail.com

Черкесов Аслан Артурович. Аспирант при ФГБУ «Высокогорный геофизический институт».
Адрес: 360002, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 2.
Телефон: +7(988) 932-32-27.
E-mail: cherkesov2018@yandex.ru

About authors

Kuzmin Vladimir Arkadevich. Graduate student. «High Mountain Geophysical Institute». Address: 360002, KBR, Nalchik, Lenin Ave. 2.
Phone: +7 (928) 914-33-22.
E-mail: vl.kuzmin1992@gmail.com

Cherkesov Aslan Arturovich. Graduate student. «High Mountain Geophysical Institute». Address: 360002, KBR, Nalchik, Lenin Ave. 2.
Phone: +7 (988) 932-32-27.
E-mail: cherkesov2018@yandex.ru

25.00.30
УДК 551.557.59

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Хучунаев Б.М.,

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»,
Россия, г. Нальчик, e-mail: buzgigit@mail.ru

Байсиев Х.-М.Х.,

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, г. Нальчик,
e-mail: baysievhh@gmail.com

Геккиева С.О.,

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, г. Нальчик,
e-mail: sgekkieva@list.ru

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЛЬДООБРАЗУЮЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ АД-1

DOI 10.37493/2308-4758.2021.2.8

Введение.

В настоящее время йодистое серебро AgI является одним из наиболее широко используемых реагентов при воздействии на переохлажденные облака с целью предотвращения градобитий и вызывания осадков. Это обусловлено, прежде всего, тем, что кристаллическая структура AgI аналогична структуре естественного льда, что обеспечивает эффективное его взаимодействие с облачной средой и формирование необходимых центров кристаллизации в переохлажденной её части. Вместе с тем, эффективность данного реагента при взаимодействии с переохлажденной облачной средой при температуре минус 6 С и выше падает. Поэтому исследования, связанные с созданием новых реагентов, и повышение эффективности существующих льдообразующих реагентов, все еще остаются актуальными.

Материалы и методы исследования.

Перспективным направлением в этой области является использование различных химических добавок, приводящих к получению частиц с кристаллической решеткой, более близкой к кристаллической решетке льда. В качестве такой добавки предложено использовать тонко измельченный порошок цинка, так как кристаллы цинка имеют гексагональную упаковку атомов, которая очень схожа со структурой льда. Лабораторные эксперименты по определению выхода ядер кристаллизации пиротехнического состава АД-1 были проведены по методике, представленной в работе [1].

Результаты исследования и их обсуждение.

В статье представлены результаты лабораторных исследований по дальнейшему увеличению эффективности пиротехнических составов, используемых в противогородовых изделиях (ПГИ) типа «Алазань-6» и «Алазань-9». Получены средние значения выхода ядер кристаллизации льдообразующей составляющей АД-1 с добавкой цинка (6 %), которые на порядок выше по сравнению с удельным выходом пиротехнического состава АД-1.

Выводы.

Анализ экспериментального материала, представленного в статье, позволяет сделать вывод, что средние значения выхода ядер кристаллизации льдообразующей составляющей АД-1 с добавкой цинка (6 %) увеличиваются на порядок, по сравнению с удельным выходом пиротехнического состава АД-1 в диапазоне температур от нуля и ниже. Использование АД-1 с добавками цинка вместо пиротехнического состава АД-1, позволит существенно сократить расход реагента при активных воздействиях на облака.

Ключевые слова:

активные воздействия, пиротехнический состав, реагент, льдообразующие частицы, цинк.

- Khuchunaev B.,** Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute», Russia, Nalchik, e-mail: buzgigit@mail.ru;
- Baysiev Kh.-M.Kh.,** Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute», Russia, Nalchik, e-mail: baysievhh@gmail.com;
- Gekkieva S.** Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute», Russia, Nalchik, e-mail: sgekkieva@list.ru

Laboratory studies of increasing the ice-forming efficiency of pyrotechnic compositions based on AD-1

Introduction. Currently, silver iodide AgI is one of the most widely used reagents when exposed to supercooled clouds in order to prevent hail and precipitation. This is primarily due to the fact that the crystal structure of AgI is similar to the structure of natural ice, which ensures its effective interaction with the cloudy environment and the formation of the necessary crystallization centers in its supercooled part. At the same time, the effectiveness of this reagent when interacting with a supercooled cloudy environment at temperatures from minus 6 °C and above decreases. Therefore, studies related to the creation of new reagents and increasing the efficiency of existing ice-forming reagents are still relevant.

Materials and methods of the research. A promising direction in this area is the use of various chemical additives leading to the production of particles with a crystal lattice closer to the crystal lattice of ice. It was proposed to use finely ground zinc powder as such an additive, since zinc crystals have a hexagonal packing of atoms, which is very similar to the structure of ice. Laboratory experiments to determine the yield of crystallization nuclei of the pyrotechnic composition AD-1 were carried out according to the technique presented in [1].

The results of the study and their discussion. The article presents the results of laboratory studies to further increase the effectiveness of pyrotechnic compositions used in anti-hail products such as “Alazan-6” and “Alazan-9”. The average values of the yield of crystallization nuclei of the ice-forming component of AD-1 with the addition of zinc (6 %) were obtained, which are an order of magnitude higher than the specific yield of the pyrotechnic composition of AD-1.

Conclusions. Analysis of the experimental material presented in the article allows us to conclude that the average values of the yield of crystallization nuclei of the ice-forming component of AD-1 with the addition of zinc (6 %) increase by an order of magnitude, compared with the specific yield of the pyrotechnic composition of AD-1 in the temperature range from zero to below. The use of AD-1 with zinc additives instead of the AD-1 pyrotechnic composition will significantly reduce the consumption of the reagent when actively influencing the clouds.

Key words: active influences, pyrotechnic composition, reagent, ice-forming particles, zinc.

Введение

Для генерации льдообразующих аэрозолей при активных воздействиях на облака используются пиротехнические составы, содержащие активный реагент (AgI , PbI_2 , CuS) и йодирующие компоненты (KI , NH_4I , NH_4JO_3 , $\text{C}_7\text{O}_2\text{H}_5\text{J}$), способствующие повышению льдообразующей эффективности составов.

Многие считают, что высокая льдообразующая активность AgI обусловлена тем, что структура его кристаллической решетки подобна кристаллической решетке льда [2, 3]. Действительно, в условиях земной атмосферы лед имеет гексагональную кристаллическую структуру, в которой каждая молекула H_2O окружена четырьмя ближайшими к ней молекулами, находящимися на одинаковых расстояниях от нее, равных 2,76 ангстрем и размещенных в вершинах правильного тетраэдра, как и у AgI .

Выбор цинка в качестве добавки к основному составу АД-1 обусловлен тем, что льдоподобная структура цинка как и у AgI , способствует адсорбции на ее поверхности молекул H_2O , образованию нескольких слоев молекул на ее поверхности и формированию поверхностной пленки воды с последующим ее замерзанием при достижении критической толщины. В такой пленке образуются микрообъемы с ориентированными молекулами H_2O , приобретающие по мере переохлаждения льдоподобное строение. Необходимо отметить, что оксид цинка (цинк сразу окисляется на воздухе, покрываясь тонким оксидным слоем) при температуре 913 °C начинает кипеть и превращаться в пар, что способствует формированию нанотрубок оксида цинка при горении топливного заряда противогоревых ракет. При достаточном размере эти микрообъемы могут стать зародышами ледяных кристаллов [3–5]. Важно, что температура кипения цинка лежит в диапазоне температуры возгонки льдообразующего аэрозоля (генерация льдообразующего аэрозоля при ракетном засеивании облаков осуществляется при температуре от 700 до 1400 °C) [6].

Материалы и методы исследования

В данной работе представлены результаты лабораторных исследований, целью которых являлось повышение эффективности пиротехнического состава АД-1. Этот отечественный пиротехнический состав используется при создании топливных зарядов маршевых ракетных двигателей, начиненных реагентом для оснащения противораковых ракет. Несмотря на то, что были оптимизированы соотношения всех компонентов состава, выход активных льдообразующих частиц с одного грамма состава остается недостаточно высоким, что снижает эффективность его применения в области отрицательных температур, лежащих вблизи нулевой изотермы.

Целью экспериментальных исследований является повышение выхода льдообразующих частиц на один грамм состава АД-1 в диапазоне температур от нуля и ниже. Для достижения поставленной цели в качестве добавок к существующему пиротехническому составу АД-1 использовали тонко измельченный порошок цинка, размерами частиц 0,01–0,05 мм. Выбор данного диапазона размеров частиц был обусловлен тем, что мелкие частицы более интенсивно смешиваются с другими компонентами состава при формировании топливных зарядов противораковых ракет.

При проведении лабораторных исследований тонко измельченный порошок цинка вводили в исходный пиротехнический состав АД-1 в соотношении к общей ее массе – соответственно 3 %, 6 % и 9 %. В облачной камере температура поддерживалась на заданном уровне в интервале от 0° до –17 °С. Оценку эффективности реагента проводили путём определения числа ледяных кристаллов, образующихся при введении известного количества пиротехнического состава в виде аэрозоля в переохлажденный водный туман большой облачной камеры. В работе [1, 7] подробно представлена методика проведения лабораторных экспериментов по определению выхода ядер кристаллизации пиротехнического состава АД-1 с разными добавками при температурах от –5 до 15 °С.

Количество кристаллов в камере определяли, исходя из количества кристаллов, осажденных на подложке.

Таблица 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЛЬДООБРАЗУЮЩЕЙ
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ АД-1 ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Table 1. Ice-forming component test results AD-1 at different temperatures

Температура, °С	Реагент АД1, г	Удельный выход, г ⁻¹
-6,8	0,01	6,5E11
-7,0	0,01	5,3E12
-7,2	0,01	5,3E12
-7,3	0,01	2,1E12
-7,5	0,01	3,2E12
-8,2	0,01	3,3E12
-8,7	0,01	1,3E12
-9,4	0,01	1,6E12
-9,7	0,01	6,4E12
-9,8	0,01	2,3E12
-10,2	0,01	1,2E12
-10,6	0,01	1,2E12
-11,9	0,01	5,7E12
-13,4	0,01	4,4E12

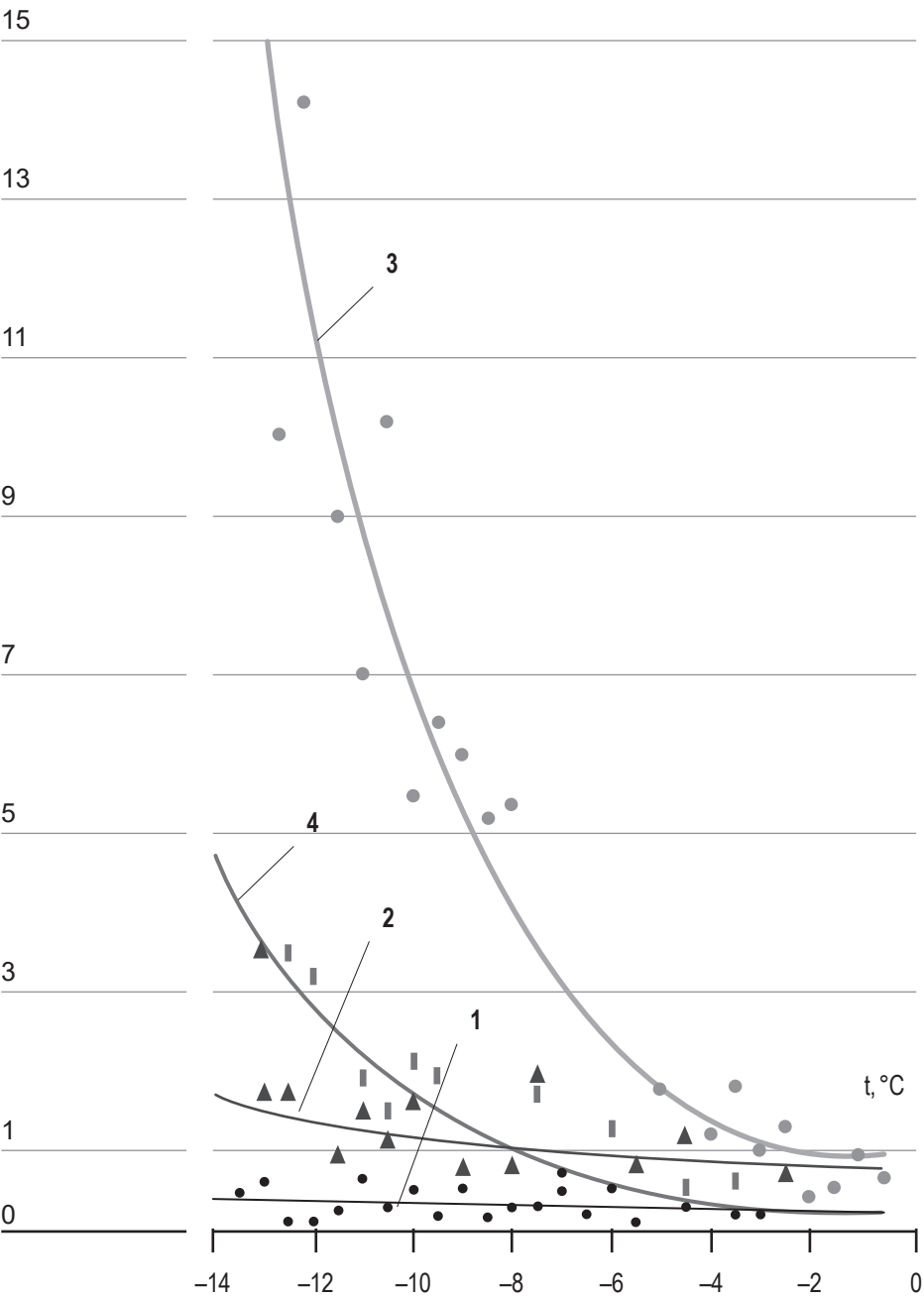


Рис. 1. Выход активных частиц (n) для различных содержаний тонкодисперсного порошка цинка в исходном составе АД-1.
Fig. 1. Yield of active particles (n) for different contents finely dispersed zinc powder in the initial composition of AD-1.

Таблица 2.

СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЫХОДА ЯДЕР КРИСТАЛЛИЗАЦИИ
ЛЬДООБРАЗУЮЩЕЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ АД-1
С ДОБАВКОЙ ЦИНКА (6 %) ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Table 2. Average values of the yield of nuclei of crystallization of the ice-
forming component of AD-1 with the addition of zinc (6 %) at different
temperatures

Температура, °С	Реагент АД1+Zn(6%)	Удельный выход, г ⁻¹
-1,0	0,00052	6,6E12
-1,2	0,00052	9,0E12
-1,6	0,00052	4,7E12
-2,0	0,00052	4,0E12
-2,2	0,00052	1,2E13
-3,4	0,00052	1,0E13
-4,2	0,00052	1,2E13
-5,0	0,00052	1,8E13
-7,5	0.01	6,9E13
-9,6	0,01	5,2E13
-10,0	0,01	6,0E13
-10,2	0,01	6,3E13
-10,4	0,01	1,4E14
-10,6	0,01	5,4E13
-11,2	0.01	9,0E13

$$n_{\text{кр}} = \frac{S_{\text{б.к.}}}{S_{\text{кадра}}} \times n_{\text{подл.}}, \quad (1)$$

где $n_{\text{кр}}$ — среднее количество кристаллов на единицу площади;

$S_{\text{б.к.}}$ — площадь большой облачной камеры;

$S_{\text{кадра.}}$ — площадь кадра на микроскопе;

$n_{\text{подл.}}$ — количество кристаллов на подложке.

Далее, удельный выход «А» определяли расчетным путем по формуле:

$$A = \frac{n_{\text{кр}}}{m_{\text{реаг}}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{кр}}$ — количество кристаллов в большой облачной камере;

$m_{\text{реаг}}$ — масса реагента.

Результаты исследования и их обсуждение

В таблицах 1–2 представлены результаты экспериментальных исследований.

По данным, представленным в таблицах 1–2 видно, что средние значения выхода ядер кристаллизации льдообразующей составляющей АД-1 с добавкой цинка (6 %) увеличивается на порядок по сравнению с удельным выходом пиротехнического состава АД-1.

На рисунке 1 представлена зависимость выхода льдообразующих активных частиц (n) для различных содержаний тонкодисперсного порошка цинка в исходном составе АД-1. Кривая 1 характеризует выход льдообразующих частиц с одного грамма исходного состава АД-1 без содержания в нем цинка, кривая 2 — с содержанием в нем цинка 3 %, кривая 3 с содержанием в нем цинка 6 % и кривая 4 с содержанием цинка 9 %.

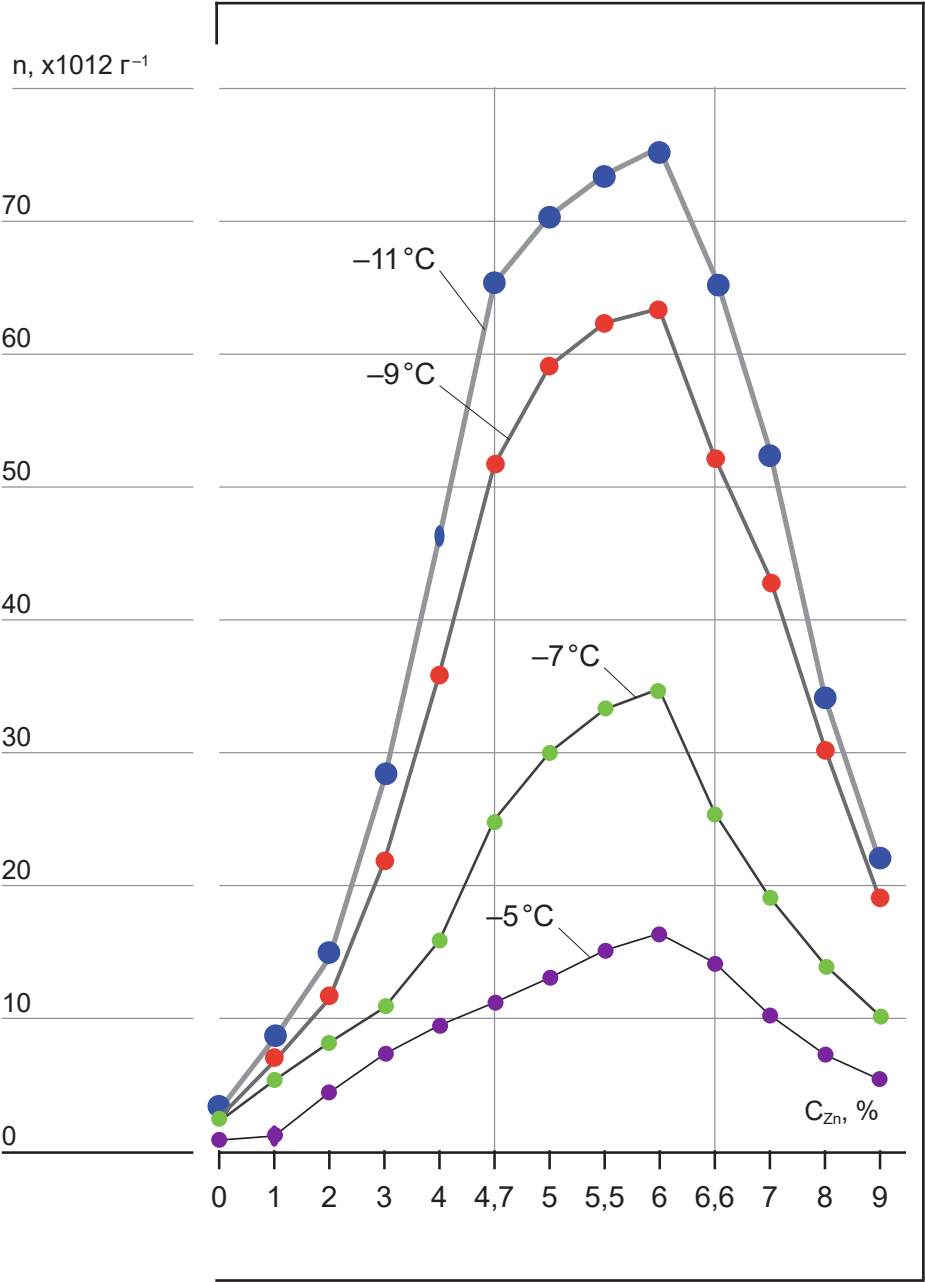


Рис. 2. Зависимость удельного выхода льдообразующих частиц от концентрации цинка в пирсосоставе АД-1 для разного уровня температур.

Fig. 2. Dependence of the specific yield of ice-forming particles on zinc concentration in pyrocomposition AD-1 for different temperature levels.

Удельный выход частиц реагента в зависимости от концентрации порошкообразного цинка представлен на рисунке 2. Из представленного графика видно, что наиболее максимальный выход льдообразующих частиц обеспечивается в интервале концентраций цинка 4,7–6,6 масс %. Данная область на рисунке 2 ограничена вертикальными линиями.

Из приведенных выше материалов следует, что наличие в составе исходного льдообразующего топлива мелкодисперсного порошка цинка в соотношении к общей массе состава 6 %, резко повышает выход льдообразующих частиц во всем диапазоне принятых температур, начиная от нуля до минус 14 °С. Такое повышение выхода активных льдообразующих частиц объясняется тем, что при высокой температуре сгорания пиротехнического состава формируются нанотрубки оксида цинка различных модификаций и размеров, которые активно взаимодействуют с переохлажденной облачной средой в принятом интервале температур.

Облачный слой между уровнями изотерм -6 и -10 °С является благоприятным для роста, агрегации и размножения кристаллов, и соответствует порогу кристаллизующей эффективности применяемых реагентов [8]. На графике (рис. 2) видно, что именно в этом диапазоне температур новый реагент АД-1 плюс цинк (6 %) резко повышает выход льдообразующих частиц.

Эффективность проведения работ по активным воздействиям зависит от многих факторов, в том числе и от правильного выбора оптимального расхода реагента [8, 9].

Для определения расхода предложенного пиротехнического состава и разработки рекомендаций для АВ воспользуемся данными, приведёнными в работе [8], где эффективность состава АД-1 при температуре -7 °С составляет 10^{12} частиц/г. Массу пиротехнического состава АД-1 с добавками цинка, которая необходима для обеспечения такого же выхода льдообразующих ядер, можно определить по формуле:

$$M = M_1 \frac{N_1}{N_2} = 0,1 M_1, \quad (3)$$

где M – масса пиротехнического состава АД-1 с добавками цинка;

- M_1 – масса пиротехнического состава АД-1;
 N_1 – удельный выход льдообразующих частиц с состава АД-1;
 N_2 – удельный выход льдообразующих частиц с состава АД-1 с добавками цинка.

Из формулы (3) видно, что для создания одной и той же концентрации кристаллов в облаке необходимо количество пиротехнического состава АД-1 с добавками цинка на порядок меньше, чем состава АД-1. Это позволит сократить расход противоградовых изделий (ПГИ) при активных воздействиях.

К примеру, рассмотрим объект воздействия IV категории: сверхмощная градовая конвективная ячейка, из которой по радиолокационным данным, выпадает град катастрофической интенсивности. На засев одного объекта воздействия данной категории в среднем расходуется 76 шт. ПГИ типа (Алазань-6, Алазань-9) [6].

Нормирование расхода ПГИ для засева объекта воздействия осуществляется с расчетом, чтобы концентрация ЛОЯ в объеме засева через 3 минуты была не менее 10^7 м^{-3} , а по возможности достигала 10^8 м^{-3} , что, согласно, данным теоретического моделирования [10–13], обеспечивает резкое повышение эффективности засева. Для обеспечения этой концентрации при засеве объекта воздействия (ОВ) IV категории и близких к ним по параметрам ОВ повторные засева осуществляются учащенной во времени и в пространстве дозировкой ПГИ типа «Алазань-6». В случае применения ПГИ, на основе нового реагента А-1 плюс цинк, у которого выход ЛОЯ на порядок выше, чем выход ЛОЯ у ПГИ типа «Алазань-6», появится возможность сокращения ПГИ в несколько раз.

Выводы

Таким образом, наличие в составе исходного льдообразующего реагента мелкодисперсного порошка цинка в соотношении к общей массе состава 6 %, резко повышает выход льдообразующих частиц во всем диапазоне принятых температур, начиная от 0°C до -14°C . Такое повышение выхода активных льдообразую-

щих частиц в диапазоне исследуемых температур, объясняется тем, что при высокой температуре сгорания пиротехнического состава формируются нанотрубки оксида цинка различных модификаций и размеров, которые активно взаимодействуют с переохлажденной облачной средой в принятом интервале температур. Так, например, при температуре -12°C (кривая 3 на графике) выход льдообразующих частиц возрастает почти на порядок, а в интервале температур от -2°C и до -4°C – почти в два раза, что обеспечивает возможность воздействовать и на более теплую переохлажденную часть облачной среды.

Повышение льдообразующей эффективности применяемых ПГИ приведет к повышению эффективности засева градовых облаков и снижению расхода ПГИ, который в значительной степени зависит от типа и льдообразующей эффективности ПГИ.

На основе исходного льдообразующего реагента АД-1 разработана методика получения нового эффективного пиротехнического состава для оснащения метеорологических ракет, предназначенных для активных воздействий на грозоградовые облака с целью искусственного увеличения жидких осадков и борьбы с градом [2, 7, 11]. Данный состав может быть также использован при создании перспективных наземных генераторов для активных воздействий на переохлажденные туманы с целью обеспечения благоприятных метеорологических условий, для функционирования космодромов, аэропортов и дорожно-транспортных коммуникаций.

Библиографический список

1. Хучунаев Б.М., Байсиев Х.-М.Х., Геккиева С.О., Будаев А.Х. Экспериментальные исследования льдообразующей эффективности пиротехнического состава АД-1 с добавками цинка // Труды ГГО. Вып. 597, 2020. С. 51-60.
2. Wegener A. Thermodynamic der Atmosphäre. Leipzig, 1911. P. 311.
3. Vonnegut B. Experiments with silver-iodide smokes in the natural atmosphere. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1950, Vol. 31.

4. Никандров В.Я. Искусственные воздействия на облака и туманы. Л.: Гидрометеиздат, 1959. С. 271.
5. Закиян Р.Г. Кинетика роста льда на поверхностях предметов различных форм, помещенных в поток переохлажденного аэрозоля // Материалы V научно-технической конференции СК ГТУ, 2001. С. 20.
6. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. Нальчик, 2014. С. 219-237.
7. Khuchunaev B.M., Baysiev Kh.-M.Kh., Gekkiewa S.O., Budaev A.Kh. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering PAPER OPEN ACCESS Researches of ice-forming efficiency of products of sublimation of pyrotechnic compositions consisting of silver iodide AgI particles and zinc oxide. 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.1083 012097.
8. Ивлев Л.С., Довгалюк Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем. СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. С. 76.
9. Вопросы физики облаков. Сборник избранных статей ГГО. Астерион, СПб., 2008. С. 98-106.
10. Емельянов В.Н., Несмеянов П.А., Эрландц Н.Ю., Шакиров И.Н. Результаты разработки новых пиротехнических составов льдообразующего аэрозоля для средств активного воздействия на облака // Труды юбилейной конф., посвящ. 40-летию начала производств. работ по защите от града. Нальчик: Печатный двор, 2011. С. 259-260.
11. Хучунаев Б.М., Геккиева С.О., Будаев А.Х. Аппаратура, методика и предварительные результаты измерения удельного заряда на частицах реагента, образующихся при возгонке пиротехнических составов // Труды ГГО. Вып. 599, 2020. С. 128.
12. Хучунаев Б.М., Панаэтов В.П., Хучунаев А.Б. Исследование образования нанотрубок оксида цинка // Материалы Международного симпозиума, посвященного 20-летию создания ФГБУ науки Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 2013. С. 61-63.
13. Хучунаев Б.М., Панаэтов В.П., Хучунаев А.Б. Аппаратура и методика лабораторного моделирования начальной стадии роста града // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. № 4 (158), 2010. С. 64-67.

References

1. Khuchunaev B.M., Baisiev H.-M.Kh., Gekkieva S.O., Budaev A.Kh. Experimental studies of the ice-forming efficiency of the AD -1 pyrotechnic composition with zinc additions. Collection "Proceedings of the MGO". Issue 597. 2020. 51-60 p.
2. Wegener A. Thermodynamic der Atmosphere. Leipzig, 1911. 311 p.
3. Vonnegut B. Experiments with silver-iodide smokes in the natural atmosphere. Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 31. 1950. 65 p.
4. Nikandrov V.Ya. Artificial influences on clouds and fogs. L.: Gidrometeoizdat, 1959, 271 p.
5. Zakinyan R.G. Kinetics of ice growth on the surfaces of objects of various shapes placed in a stream of supercooled aerosol // Proceedings of the V scientific and technical conference SK GTU, 2001. 20 p.
6. Abshaev A.M., Abshaev M.T., Barekova M.V., Malkarova A.M. Guidelines for organizing and carrying out anti-hail works. Nalchik, 2014. P. 219-237.
7. Khuchunaev B.M., Baysiev Kh.-M. Kh, Gekkieva S.O., Budaev A.Kh. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering PAPER OPEN ACCESS Researches of ice-forming efficiency of products of sublimation of pyrotechnic compositions consisting of silver iodide AgI particles and zinc oxide. 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.1083 012097
8. Ivlev L.S., Dovgalyuk Yu.A. Physics of atmospheric aerosol systems. Saint Petersburg: NIIH SPbGU, 1999. 76 p.
9. Questions of the physics of clouds. Collection of selected articles of the MGO. Asterion, St. Petersburg, 2008. P. 98-106.
10. Emelyanov V.N., Nesmeyanov P.A., Erlands N.Yu., Shakirov I.N. Results of the development of new pyrotechnic compositions of ice-forming aerosol for means of active influence on clouds // Proceedings of the jubilee conference, dedicated to the 40th anniversary of the beginning of production works on protection from hail. Nalchik: Printing House, 2011. P. 259-260.
11. Huchunaev B.M., Gekkieva S.O., Budaev A.Kh. Apparatus, methodology and preliminary results of measuring the specific

charge on reagent particles formed during the sublimation of pyrotechnic compositions. Collection «Proceedings of the MGO». Issue 599, 2020. P. 128.

12. Khuchunaev B.M., Panaetov V.P., Khuchunaev A.B. Investigation of the formation of zinc oxide nanotubes // Materials of the International Symposium dedicated to the 20th anniversary of the establishment of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2013. P. 61-63.
13. Khuchunaev B.M., Panaetov V.P., Khuchunaev A.B. Equipment and methods of laboratory modeling of the initial stage of the growth of the city // News of higher educational institutions. North Caucasian region. № 4 (158), 2010. P. 64-67.

**Поступило в редакцию 26.04.2021,
принята к публикации 08.05.2021**

Об авторах

Хучунаев Бузжигит Муссаевич, доктор физ.-мат. наук, зав. лабораторией МФО ФГБУ «Высокогорный геофизический институт». Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 2,
e-mail: buzgigit@mail.ru

Байсиев Хаджи-Мурат Хасанович, канд. техн. наук, зав. лабор. СВ ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»,
Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 2,
e-mail: baysievhh@gmail.com

Геккиева Сафият Омаровна, канд. ф.-м.н., СНС ЛМФО ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»,
Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, 2,
тел. 8(928) 69-36-444, e-mail: sgekkieva@list.ru

About authors

- Buzzhigit** Khuchunaev, Doctor of Physical and Mathematical Sciences
Department of cloud physics, Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute»,
Russia, KBR, 360000, Nalchik, Lenin Ave., 2,
e-mail: buzzhigit@mail.ru
- Baysiev** Kh.-M. Kh, Candidate of Technical sciences, Head of the Laboratory of means of influence Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute», Russia, KBR, 360000, Nalchik, Lenin Ave., 2,
e-mail: baysievhh@gmail.com
- Safiyat** Gekkieva, candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Microphysics of Clouds of the Federal State Budgetary Institution "High-Mountain Geophysical Institute",
Russia, KBR, 360000, Nalchik, Lenin Ave., 2,
Phone: 8(928) 69-36-444, sgekkieva@list.ru

25.00.36
УДК 574.24

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Бондарь Е.В.,
Харина Е.И.,
Гандрабунова Н.И.,
Антонова А.В.,
Ставицкая А.А.,

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия;
euphorbia@mail.ru;
Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия;
Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия;
Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – КЛЕВЕР» И ИХ ВЛИЯНИЕ НА МИКРОБНЫЙ ЦЕНОЗ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

DOI 10.37493/2308-4758.2021.2.9

Введение.

В статье затронуты вопросы экологической безопасности окружающей среды. Проведен анализ содержания тяжелых металлов в системе «почва-клевер» в условиях городской среды. Результаты анализа позволили выявить уровни аккумуляции тяжёлых металлов в подземной части клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) (произрастающего в условиях городской среды с высокой степенью техногенной нагрузки), а также установить их влияние на микробный ценоз почвы.

Материалы и методы исследований.

Методика отбора проб осуществлялась согласно Методическим указаниям по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Исследование включало оценку интенсивности биологического поглощения элементов и показатель биохимической активности. Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием прикладных программных пакетов «Statistica for Windows», версия 6.0, и программного продукта «Microsoft Excel 2016». Микробиологический анализ проводился согласно нормативным документам. Подсчет выросших колоний осуществлялся с помощью счетчика колоний Scan 300 Interscience. Для анализа результатов применяли методы математической статистики.

Результаты исследований и их обсуждение.

Согласно полученным данным наиболее распространёнными загрязнителями в условиях городской среды являются такие металлы как Ni, Cd, Pb, Cu, Mn. Однако данные значения этих тяжелых металлов в корневой части клевера не превышают значения ПДК и ОДК в почве. Микробиологический анализ показал, что повышенные концентрации никеля и железа угнетают рост *Rhizobium trifolii*, а различные концентрации кадмия и марганца стимулируют рост бактериальной культуры. Полученные значения тяжелых металлов в корневой части клевера не превышают фонового содержания в почвах города, а значит, корневая система блокирует поступление тяжёлых металлов в растение. Установлен различный характер влияния тяжелых металлов на азотфиксирующие микроорганизмы. Повышенные концентрации таких тяжелых металлов как кадмий и марганец, оказывают стимулирующее действие на рост *Rhizobium trifolii*. При действии никеля и железа на данный микроорганизм отмечено угнетающее действие. Высокие концентрации этих металлов резко подавляют рост азотфиксирующих бактерий, что в дальнейшем может отразиться на плодородии почвы. Тяжёлые металлы, клевер луговой, азотфиксирующие бактерии, почвенный микробиоценоз, культивирование микроорганизмов.

Выводы.

Ключевые слова:

Bondar E.V. North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia;
Kharina E.I. North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia;
Gandraburova N.I. North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia;
Antonova A.V. North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia;
Stavitskaya A.A. North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

Features of the Accumulation of Heavy Metals in the “Soil-Clover” System And Their Influence on the Microbial Price of Soil in the Conditions of the Urban Environment

Introduction. The article touches upon the issues of ecological safety of the environment. The analysis of the content of heavy metals in the soil-clover system in an urban environment has been carried out. The results of the analysis made it possible to identify the levels of accumulation of heavy metals in the underground part of the red clover (*Trifolium pratense* L.) (growing in an urban environment with a high degree of technogenic load), as well as to establish their influence on the microbial cenosis of the soil.

Materials and methods of the research. Methods of sampling carried out in accordance with the Methodical instructions for the determination of heavy metals in the soils of farmland and crop production. The study included evaluation of absorption intensities biological indicator elements and biogeochemical activity. Statistical analysis of the results was carried out with the use of application software package «Statistica for Windows», version 6.0, and the software «Microsoft Excel 2016». Microbiological analysis was carried out in accordance with regulatory documents. Counting of grown colonies was carried out using a Scan 300 Interscience colony counter. Methods of mathematical statistics were used to analyze the results.

The results of the study and their discussion. According to the data obtained, the most common pollutants in the urban environment are metals such as Ni, Cd, Pb, Cu, Mn. However, the data values of these heavy metals in the root portion of clover does not exceed the value of MACs and MPCs in the soil. Microbiological analysis showed that increased concentrations of nickel and iron inhibit the growth of *Rhizobium trifolii*, and different concentrations of cadmium and manganese stimulate the growth of bacterial culture.

Conclusions. The resulting values for heavy metals in the root of the clover did not exceed the background content in the soils of the city, which means that the root system blocks the flow of heavy metals in the plant. The different nature of the influence of heavy metals on nitrogen-fixing microorganisms has been established. Increased concentrations of heavy metals such as cadmium and manganese stimulate the growth of *Rhizobium trifolii*. Under the action of nickel and iron on this microorganism, a depressing effect is noted. High concentrations of these metals dramatically inhibit the growth of nitrogen-fixing bacteria, which may further affect soil fertility.

Key words: heavy metals, red clover, nitrogen-fixing bacteria, soil microbiocenosis, cultivation of microorganisms.

Введение

На сегодняшний день во всем мире одной из актуальных проблем является изучение антропогенного воздействия на почву. Почва – экологическая среда в которой формируется особый тип биоценоза, в основе которого лежит корневая система растений и почвенный микробиоценоз. Почва является индикатором общей техногенной обстановки. Загрязнения поступают в почву с атмос-

ферными осадками, поверхностными отходами, почвенными породами и подземными водами. Сегодня среди основных загрязнителей на второе место по степени опасности вышли тяжелые металлы, уступая пестицидам. Почва является основной средой, в которую попадают тяжелые металлы.

Высокий техногенный пресс испытывают городские почвы, составной частью которого является загрязнение тяжелыми металлами. Повышенное внимание к этой проблеме связано еще с тем, что быстрое самоочищение почв в условиях высокой антропогенной нагрузке крайне затруднено, а в ряде случаев невозможно. В современных условиях все больше внимания уделяется экологическим способам очищения почв таким как, биоремедиация, что является одним из экономически эффективных методов рекультивации почв. Blaylock, Salt, Dushenkov [6] сообщили об экономии от 50% до 65% при использовании биоремедиации для обработки 1 акра загрязненной Pb почвы по сравнению со случаем, когда для той же цели использовался обычный метод.

Биоремедиация тяжелых металлов может быть достигнута с помощью микроорганизмов, растений или их комбинации. Она подходит, когда загрязняющие вещества покрывают большую площадь и когда тяжелые металлы находятся в пределах корневой зоны растения [5].

Особое значение в этом контексте приобретают знания уровней и степени накопления тяжёлых металлов в живых организмах [1, 3, 4].

Цель исследования – выявить уровни аккумуляции тяжёлых металлов в подземной части клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) (произрастающего в условиях городской среды с высокой степенью техногенной нагрузки), а также установить их влияние на микробный ценоз почвы.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в течении 2020 года. Сбор образцов почвы и сырья осуществлялся на территории трех районов города Ставрополь (Ленинского, Промышленного и Октябрьского).

Всего было отобрано 32 растительных (отбиралась подземная часть растений) и столько же почвенных проб. Для изучения взаимосвязи в системе «почва – растение» в непосредственной близости от корневых систем растений отбирали почву.

Объектами исследований послужили: клевер луговой (*Trifolium pratense*) произрастающий как монокультура на газонах города, почвы и почвенный микробоценоз. Выбор клевера как объекта исследования обусловлен тем, что он близок требованиям, предъявляемым к биологическому индикатору: имеет высокую сорбционную способность и накапливает биологический азот с помощью клубеньковых бактерий, расположенных на корнях в верхней части ризосферы.

Биологическое состояние загрязненных почв оценивается по жизнеспособности почвенных микроорганизмов, которые играют большую роль и в миграции тяжелых металлов в почве.

Сбор почвы и сырья осуществлялся в октябре 2020 года на территории города Ставрополь. Места отбора проб (площадки) относятся к газонам, на которых произрастает только клевер луговой (*Trifolium pratense*). Территории имеют разную степень техногенной нагрузки (табл. 1, рис. 1).

Для оценки интенсивности биологического поглощения элементов рассчитали коэффициент биологического поглощения (КБП) по формуле 1:

$$\text{КБП} = C/C_{\text{ф}}, \quad (1)$$

где C – содержание элемента в растительном образце (мг/кг),
 $C_{\text{ф}}$ – его фоновое содержание в почве (мг/кг).

Чтобы определить общую способность клевера к накоплению выбранных микроэлементов использовали показатель биогеохимической активности (БХА):

$$\text{БХА} = \sum \text{КБП}, \quad (2)$$

Исследования проводились на базе НУЛ «Экоаналитическая лаборатория» кафедры «Экологии и природопользова-

Таблица 1. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТ ОТБОРА ПРОБ И СЫРЬЯ
Table 1. Characteristics of sampling sites and raw materials

№ площадки	Район отбора проб	Координаты	Степень техногенной нагрузки
1	ул. Завокзальная, район ж/д вокзала (многоэтажная застройка)	45.059174, 41.998937	средняя
2	ул. Заводская, район концентрации производственных предприятий (промышленная зона)	45.058227, 42.006701	средняя
3	река Мамайка (район дачных участков)	45.031786, 42.066134	низкая
4	ул. Октябрьская (многоэтажная застройка с автомобильной развязкой)	45.077557, 41.939931	высокая

ния» института наук о Земле и базовой кафедры «Микробиологии» института живых систем Северо-Кавказского федерального университета.

Пробоподготовка и определение тяжёлых металлов (Cu, Pb, Cd, Ni, Mn в почве) и в клевере проводились в соответствии с «Методическими указаниями по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства» [2] и с помощью атомно-абсорбционного спектрометра с атомизацией в пламени iCE 3300 (ThermoScientific, США). Результатом измерений является величина атомного поглощения элемента, полученная в абсорбционном режиме с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

Выделение и идентификацию почвенных микроорганизмов проводили по общепринятым методикам. Для установления влияния обнаруженных тяжелых металлов на рост и культуральные свойства азотфиксирующих бактерий была выделена культура *Rhizobium trifolii* с корневища Клевера лугового (*Trifolium pratense* L.), собранного с экспериментальной площадки.

Для ее выделения отбирали растения с хорошо развитой корневой системой и наличием активных клубеньков. Активность клубеньков при отборе образцов определяли визуально - образование в клубеньках леоглобина придает им красновато-розовую окраску на срезе. Неактивные клубеньки, напротив, имеют коричневую или зеленоватую окраску.

Из отобранных образцов выполнили посев на питательную среду (бобовый агар), инкубировали в термостате при температуре +28°C в течение пяти суток. При идентификации установлено, что выделенная культура относится к *Rhizobium trifolii*. Далее проводили выделение чистой культуры и непосредственно эксперимент.

Для проведения исследования использовали метод посева в питательную среду. Суспензию микроорганизмов для посева готовили используя СО мутности Мак-Фарланда (McF). Для посева использовали среды с добавлением разных концентраций тяжелых металлов. Культивирование экспериментальных образцов осуществляли в аэробном термостате при температуре +28 °С. Результаты эксперимента учитывали через каждые 12 часов, в течение пяти суток. Достоверные результаты получены через 48 ч инкубирования и представлены в таблице 5. Подсчет выросших колоний осуществлялся с помощью счетчика колоний Scan 300 Interscience. Эксперимент проводили в десятикратной повторности.

Статистическая обработка полученных результатов исследований проводилась с использованием прикладных программных пакетов «Statistica for Windows», версия 6.0, и программного продукта «Microsoft Excel 2016».

Результаты исследований их обсуждение

Исследования корневой части клевера лугового (*Trifolium pratense*) с четырёх пробных площадок (рис. 1) показали наличие Ni, Cd, Pb, Cu, Mn, т.к. эти металлы являются наиболее распространёнными загрязнителями в условиях городской среды. Полученные результаты отражены в таблице 2.

Полученные значения тяжелых металлов в корневой части клевера не превышают значения ПДК и ОДК в почве.

Таблица 2.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В КОРНЕВОЙ ЧАСТИ
КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО (*Trifolium pratense* L.) И ПОЧВЕ

Table 2. The content of heavy metals in the root portion of red clover
(*Trifolium pratense* L.) and in soil

№ площадки	Pb	Cu	Cd	Ni	Mn
	1 класс опасности	2 класс опасности	2 класс опасности	2 класс опасности	3 класс опасности
КОРНЕВАЯ ЧАСТЬ					
1	0,2± 0,003	0,67± 0,03	0,355± 0,7	11,56± 0,41	21,03± 0,002
2		0,335± 0,02	0,55± 0,06	5,87± 0,02	5,93± 0,005
3		0,74± 0,03	0,31± 0,07	18,045± 0,3	14,13± 0,06
4		0,51± 0,03	0,385± 0,02	11,875± 0,44	16,825± 0,005
ПОЧВА					
1	8,68± 0,31	0,24± 0,01	1,39± 0,1	40,28± 1,2	35,13± 0,02
2	13,7± 0,72	0,59± 0,03	0,71± 0,1	210,8± 1,5	73,69± 0,7
3	8,06± 0,29	0,26± 0,009	0,59± 0,1	516± 3,2	90,64± 0,6
4	0,99± 0,03		0,65± 0,1	43,23± 1,2	10,6± 0,02
ПДК	6,0	3,0			
ОДК			2,0	80	1500

Примечание: классы опасности представлены по ГОСТ 17.4.1.02–83. Значения ПДК (ГН 2.1.7.2041. – 06) и ОДК для почв с pH KCl > 5,5 (ГН 2.1.7.2511 – 09).

Таблица 3. ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ И БХА В КОРНЕВОЙ ЧАСТИ КЛЕВЕРА ЛУГОВОГО (*Trifolium pratense* L.)
Table 3. The values of the coefficients of biological absorption and BAC in the root portion of red clover (*Trifolium pratense* L.)

№ площадки	Pb	Cu	Cd	Ni	Mn	БХА
1	0,02	2,79	0,26	0,29	0,60	3,96
2		0,57	0,78	0,03	0,08	1,45
3		2,85	0,53	0,04	0,16	3,56
4						0

По свинцу в почве значения превышают ПДК на трех участках: на первом – в 1,45 ПДК, на втором – в 2,28 ПДК, на третьем – в 1,34 ПДК.

Превышение ОДК по никелю зафиксировано на второй площадке в 2,64 ОДК, на третьей площадке – в 6,45 ОДК.

Самым распространённым методом оценки интенсивности биологического поглощения элементов является их отношение в золе растений к содержанию в питающей среде – материнских породах, почвах, водах. Для этого был рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП) по формуле (1) и показатель биогеохимическая активность (БХА) по формуле (2) (табл. 3).

Представленные в таблице 3 тяжелые металлы распределяются по рядам биологического накопления клевером следующим образом: медь – элемент сильного биологического накопления (10 п), свинец, кадмий, никель, марганец – элементы слабого и очень слабого захвата (< 0,0 п).

Для изучения влияния разных концентраций тяжелых металлов на культуры азотфиксирующих бактерий были выбраны 3 различные концентрации выявленных металлов: обнаруженные в эксперименте фактическиеконцентрации в подземной части растения, предельно допустимые концентрации и превышающие ПДК в 2 раза (табл. 4). Подбор таких концентраций связан с повышенной

Таблица 4. КОНЦЕНТРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ, ВЗЯТЫЕ
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА
Table 4. Concentrations of heavy metals for the experiment

Номер образца	Степень концентрации Тяжёлые металлы	Показатели концентрации, мг/кг			
		Ni	Cd	Fe	Mn
1	Результаты полученные в ходе эксперимента	0,39	0,67	5,16	0,29
2	ПДК в почве	4	2	200	1500
3	Превышение ПДК в 2 раза	8	4	400	3000

Таблица 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ
МЕТАЛЛОВ НА RHIZOBIUM TRIFOLII
Table 5. Results of the effect of various concentrations of metals
on Rhizobium trifolii

Тяжелый металл Степень концентрации	Количество колоний $X \pm m_x(n)$			
	Никель (Ni)	Кадмий (Cd)	Железо (Fe)	Марганец (Mn)
1. Фактическое содержание в подземной части Trifolium-pratense L.	302,2±10	412,1±24	273,7±18	332,9±15
2. ПДК в почве	211,4±9	854,3±30	70,9±11	512,2±24
3. Превышение ПДК в 2 раза	180,2±8	938,3±36	24,8±4	608,6±28
4. Контроль	323,2±9	323,2±9	323,2±9	323,2±9

Примечание: X – среднее значение количества колоний;
 m_x – относительная погрешность измерения.

антропогенной нагрузкой на почвы, что вызывает увеличение количества тяжелых металлов в почве.

Анализ результатов исследования показал, что никель и железо оказывают на *Rhizobium trifolii* угнетающее действие без изменения культуральных признаков. Так количество колоний на питательной среде, содержащей никель в предельно допустимой концентрации в 1,5 раза меньше, чем на контрольных чашках, а в дозе превышающей ПДК в 1,8 раз меньше контроля. Количество колоний на питательной среде, содержащей железо в предельно допустимой концентрации в 4,5 раза меньше контроля, в дозе превышающей ПДК меньше в 13 раз.

При действии различных концентраций кадмия и марганца отмечено усиление роста бактериальной культуры, также без изменения культуральных признаков (стимулирующее действие). На питательной среде, содержащей Cd в предельно допустимой концентрации колоний *Rhizobium trifolii* больше в 2,7 раз, а на содержащей Mn в 1,6 раз, чем в контроле. Количество колоний в чашках, содержащих Cd и Mn в дозах превышающих ПДК больше, чем в контроле в 3 и 2 раза соответственно.

Выводы

Полученные значения тяжелых металлов в корневой части клевера не превышают значения ПДК и ОДК в почве.

В то время как в почве отмечены превышение значений по свинцу на трех площадках наибольший показатель зафиксирован на 2 площадке, где превышение составило 2,28 ПДК.

Превышение значение ОДК в почве по никелю зафиксировано на второй площадке и третьей площадках соответственно 2,64 ОДК и 6,45 ОДК. Данные элементы в урбанизированной среде преимущественно являются элементами аэротехногенного загрязнения.

Корневая система блокирует поступление тяжёлых металлов в растение, о чем свидетельствует тот факт, что содержание тяжёлых металлов в почве превышает их содержание в подземной части растений, следовательно, клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) можно использовать как «фильтр» для загрязнённых почв.

Активнее всего клевер луговой (*Trifolium pratense*) накапливает медь на площадке №1 и №3, именно медь более других элементов загрязняет изучаемую территорию.

Никель и свинец на большинстве площадок менее интенсивно накапливаются, но их значения в почве превышают ПДК и ОДК, следовательно, даже при высоком поступлении этих тяжёлых металлов в почву, их концентрация не выносится в корневую систему. Таким образом, клевер луговой (*Trifolium pratense*) корректнее использовать как биоиндикатор на определение в техногенной среде меди, кадмия и магния.

Анализ результатов микробиологического исследования позволяет утверждать, что, повышенные концентрации таких тяжелых металлов как кадмий и марганец, оказывают стимулирующее действие на рост *Rhizobium trifolii*. При действии никеля и железа на данный микроорганизм отмечено угнетающее действие. Высокие концентрации этих металлов резко подавляют рост азотфиксирующих бактерий, что в дальнейшем может отразиться на плодородии почвы.

Библиографический список

1. Крыжко А.В. Горелова В.В. Ширма А.В. Влияние штаммов *B. thuringiensis* 854 и 888 на микробиоту и целлюлозолитические процессы в черноземе южном // Естественные и технические науки. 2020. № 2 (140). С. 63–69.
2. Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Москва. 1992 / ЦИАНО. М., 1992. 63 с.
3. Ознобихина А.О., Першаков А.Ю. Модельное биотестирование влияния солей тяжёлых металлов на жизнеспособность клубеньковых бактерий *Rhizobium meliloti* // Самарский научный вестник. 2019. Т. 8. № 3 (27). С. 69–72.
4. Пешков С.А., Сизенцов А.Н., Никитян А.Н., Кобзев Г.И. Исследование биоаккумуляции тяжелых металлов бактериями рода *Bacillus* с использованием рентгенофлуоресцентного анализа и атомно-силовой микроскопии // Современные проблемы науки и образования. 2015. №4.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=21079> (дата обращения: 16.04.2021).

5. C. Garbisu and I. Alkorta, «Basic concepts on heavy metal soil bioremediation» The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection. vol.3 no. 1 pp. 58–66, 2003. View at: Google Scholar.
6. M.J. Blaylock, D.E. Salt, S. Dushenkov et al., «Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents» Environmental Science and Technology, vol. 31, no. 3, pp. 860–865, 1997. View at: Publisher Site | Google Scholar.

References

1. Kryzhko A.V., Gorelova. V.V., Shirma A.V. Effect of *B. thuringiensis* strains 854 and 888 on the microbiota and cellulolytic processes in southern black earth. // Natural and technical sciences. 2020. No. 2 (140). S. 63–69.
2. Methodical instructions: for the determination of heavy metals in agricultural soils and crop production. Moscow. 1992 / CIANO. M., 1992. 63 p.
3. Oznobikhina A.O., Pershakov A.Yu. Model biotesting of the influence of heavy metal salts on the viability of nodule bacteria *Rhizobium meliloti*. // Samara Scientific Bulletin. 2019. Vol. 8. No. 3 (27). S. 69-72.
4. Peshkov S.A., Sizentsov A.N., Nikiyan A.N., Kobzev G.I. Investigation of the bioaccumulation of heavy metals by bacteria of the genus *Bacillus* using X-ray fluorescence analysis and atomic force microscopy // Modern problems of science and education. 2015. No. 4.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=21079> (date accessed: 04/16/2021).
5. C. Garbisu and I. Alkorta, «Basic concepts on heavy metal soil bioremediation» The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection. Vol. 3 no. 1 pp. 58 – 66, 2003. View at: Google Scholar.
6. M.J. Blaylock, D.E. Salt, S. Dushenkov et al., «Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents» Environmental Science and Technology, vol. 31, no. 3, pp. 860–865, 1997. View at: Publisher Site | Google Scholar.

Поступило в редакцию 15.05.2021,

Принята к публикации 02.06.2021.

Об авторах

- Бондарь** Елена Васильевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии и природопользования Института наук о Земле, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия. E-mail: stalker-vin@yandex.ru. Тел. +7 928-911-20-81.
- Харина** Елена Ивановна, кандидат биологических наук, доцент, доцент базовой кафедры микробиологии Института живых систем, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия. E-mail: euphorbia@mail.ru. Тел. +7 962 413-41-85.
- Гандрабуrowa** Надежда Ивановна, кандидат биологических наук, доцент, доцент базовой кафедры микробиологии Института живых систем, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия. E-mail: nadivgan@mail.ru. Тел. +7 905 465-69-28.
- Антонова** Анастасия Васильевна, студент 4 курса направления «Экология и природопользование» Института наук о Земле, Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, г. Ставрополь, Россия. E-mail: tradlbabl@yandex.ru. Тел. +7 918 -86-64-370.
- Ставицкая** Анна Артемовна, студент 4 курса направления «Биология Института живых систем, Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, г. Ставрополь, Россия. E-mail: anna.stavickaya.ncfu@gmail.com. Тел. +7 962 448-42-25.

About authors

- Bondar** Elena Vasilievna, candidate of Biological Sciences, Docent, Docent of the Department of Ecology and Enviromental Sciences, Institute of Geosciences, North Caucasus Federal University, 355017, Stavropol, Russia. E-mail: stalker-vin@yandex.ru. Тел. +7 928-911-20-81.
- Kharina** Elena Ivanovna, candidate of biology, docent, Docent of the Basic Department of Microbiology, Institute of Life Scienc-

es, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia.
E-mail: euphorbia@mail.ru. Phone number +7 962 413-41-85.

Gandraburova Nadezhda Ivanovna, candidate of biology, docent, Associate Professor of the Basic Department of Microbiology, Institute of Life Sciences, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia. E-mail: nadvgan@mail.ru. Phone number +7 905 465-69-28.

Antonova Anastasia Vasilievna, 4th year student of specialization «Ecology and Environmental Sciences», Institute of Geosciences, of the North Caucasus Federal University, 355017, Stavropol, Russia. E-mail: tradlbabl@yandex.ru. Phone number +7 918-86-64-370.

Stavitskaya Anna Artemovna, 4th year student of specialization «Biology» Institute of Living Systems, of the North Caucasus Federal University, 355017, Stavropol, Russia. E-mail: anna.stavicka-ya.ncfu@gmail.com. Phone number +7 962 448-42-25.



НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета



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

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

Подписано в печать 07.06.2021 г. Выход в свет 12.06.2021 г.
Формат 70 × 108 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага
офсетная. Усл. печ. л. 13,65. Тираж 1 000 экз. Цена 534 руб.

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