

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

---

# НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

---

Научный журнал  
Северо-Кавказского федерального  
университета

---

ISSN 2308–4758

---

**Выпуск № 3, 2022 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-р экон. наук, профессор (Московский государственный университет, г. Москва); Лиховид А.А., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); 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), Хани А.А.К., 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. геогр. н., доц. (Московский государственный университет, 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)
Редакционная коллегия:	Белозеров В.С., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Бекетов С.Б., д-р техн. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Беляев Н.Г., д-р биол. 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); 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); Щитова Н.А., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Соловьев И.А. (к. геогр. н., доцент (СКФУ, г. Ставрополь); Мишвелов Е.Г., д-р биол. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь), Бадов А.Д., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь); Харченко В.М., д-р геол.-минерал. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь)
Ученый секретарь:	к. геогр. 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	355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
Телефон	(8652) 33-07-32
Сайт	www.ncfu.ru
E-mail:	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, Professor (High Mountain Geophysical Institute, Naichik); Vorobieva O.D., Doctor of Economics Sciences, Professor (Moscow State University, Moscow); Likhovid A.A., Dr. of Geogr. Sciences, professor (NCFU, Stavropol); 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); Hani A.A.K., Cand. of 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. of Geogr. Sciences (Central European University, Vienna); Nefedova T.G., Dr. of Geogr. Sciences, led. scientific. RAS employee (IG RAS, Moscow); Panin A.N., Ph.D. of Geographical Sciences, Associate Professor (Moscow State University, 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); Kharchenko V.M., Doctor of Geol.-Mineral. Sciences, Professor (NCFU, Stavropol)
Editorial team:	Belozеров V.S., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (NCFU, Stavropol); Beketov S.B., Dr. of techn. sciences, Professor (NCFU, Stavropol); Belyaev N.G., Dr. of Biol. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Gasumov R.A., Dr. of techn. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Kerimov A.G., Dr. of Techn. Sciences, Associate Professor (NCFU, 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., Dr. of Phys.-Math. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Erin K.V., Dr. of Phys.-Math. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Zakinyan A.R., Dr. of Phys.-Math. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Zakinyan R.G., Dr. of Phys.-Math. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Kotti B.K., Dr. of Biol. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Lukyanov V.T., Dr. of Techn. 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., Dr. of Veterinary Medicine. sciences, professor (NCFU, Stavropol); Tolpaev V.A., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Fedorova N.G., Dr. of Techn. Sciences, Professor (NCFU, Stavropol); Shalnev V.A., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (NCFU, Stavropol); Shchitova N.A., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (NCFU, Stavropol); Soloviev I.A., Ph.D. of Geographical Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol); Mishvelov E.G., Doctor of Biological Sciences, Professor (NCFU, Stavropol); Badov A.D., Dr. of Geogr. Sciences, Professor (NCFU, Stavropol); Kharchenko V.M., Doctor of Geol.-Mineral. Sciences, Professor (NCFU, Stavropol)
Scientific Secretary:	Ph. D. of Geographical Sciences, Associate Professor 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 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
Address	355017, Stavropol, Pushkin street, 1
Phone	(8652) 33–07–32
Site	www.ncfu.ru
E-mail:	nit_ncfu@mail.ru
ISSN	2308–4758

# СОДЕРЖАНИЕ

«НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ», № 3, 2022

25.00.12 (1.6.11)	ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)	
	<b>Сунь Хаоюань</b>	
	Статус-кво и рекомендации по технологии добычи газовых гидратов в Южно-Китайском море . . . . .	7
	<b>Sun Haoyuan</b>	
	Status Quo and Recommendations on the Technology of Gas Hydrate Production in technology in South China Sea . . . . .	8
	<b>Черненко К.И., Еремина Н.В., Туманова Е.Ю.</b>	
	Линейные зоны повышенной продуктивности нефти в карбонатной залежи Пушкирского поля Зимне-Ставкинско-Правобережного месторождения . . . . .	29
	<b>Chernenko K.I., Yeriomina N.V., Tumanova Ye.Yu.</b>	
	Linear zones of increased oil productivity in the carbonate reservoir of the Pushkarskoe area of Zimne-Stavkinsko-Pravoberezhnoye field . . . . .	30
25.00.15 (2.8.2)	ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	
25.00.17 (2.8.4)	РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	
	<b>Сайфуллин А.А.</b>	
	Разработка аналитического инструмента для определения оптимальной траектории скважины . . . . .	47

	<b>Sayfullin A.A.</b> Analytical Tool Development for Der- emining the Optimal well Trajectory . . . . .	48
25.00.17 (2.8.4)	РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	
	<b>Добролюбова Р.К., Инякина Е.И., Краснов И.И.</b> Исследование влияние азота на пластовые потери конденсата при разработке Чаян- динского месторождения . . . . .	75
	<b>Dobrolyubova R.K., Inyakina E.I., Krasnov I.I.</b> Research Influence of Nitrogen on Formation Condensate Loss During the Development of the Chayandinskoye Field . . . . .	78
25.00.23 (1.6.12)	ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГ- РАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ	
	<b>Керимов А. М., Курашева О.А.</b> Тяжелые металлы в ледниках и реч- ных водах бассейна реки Черек Безенгийский при интенсивной деградации оледенения . . . . .	97
	<b>Kerimov A.M., Kurasheva O.A.</b> HeavyMetalsinGlaciersandRiverWater of the Basin of the Bezengi Cherek River During Intense Graciation Degradation . . . . .	98
25.00.24 (1.6.13)	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИ- ТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРА- ФИЯ	
	<b>Эшроков В.М., Черкасов А.А., Махмудов Р.К., Верозуб Н.В.</b> Пространственно-планировочная организация территории и устойчивые системы рас- селения Ставропольского края . . . . .	119

	<b>Eshrokov V.M., Cherkasov A.A., Makhmudov R.K., Verozub N.V.</b> Spatial-Planning Territory Organization and Sustainable Settlement Systems of the Stavropol Region . . . . .	120
25.00.30	МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРО- МЕТЕОРОЛОГИЯ (ФИЗИКО-МАТЕМАТИ- ЧЕСКИЕ НАУКИ)	
	<b>Зекореев Р.Х.</b> Исследование состояния электри- ческого поля атмосферы в районе карьера откры- тых горных разработок. . . . .	139
	<b>Zekoreev R.KH.</b> Investigation of the state of the electric field of the atmosphere in the area of open pit mining . . . . .	140
УДК: 910	ПУТЕВЫЕ ЗАМЕТКИ	
	<b>Чихичин В.В., Соловьев И.А., Зольникова Ю.Ф., Овсянников Е.И.</b> Ивановская городская агломерация: мини-портреты населенных пунктов по материалам экспедиции) . . . . .	159
	<b>Chikhichin V.V., Soloviev I.A., Zolnikova J.F., Ovsyannikov E.I.</b> Ivanovo City Agglomeration: Mini- Portraits of Settlements (based on the materials of the expedition) . . . . .	160

25.00.12 (1.6.11)  
УДК 665.62

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)

**Сунь Хаюань**

Российский университет дружбы народов

## **СТАТУС-КВО И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ЮЖНО-КИТАЙСКОМ МОРЕ**

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.3.1

Введение.

Морские газовые гидраты являются нетрадиционным ресурсом природного газа, который хранится в глубоководных отложениях в твердом состоянии. Он имеет широкое распространение и большие запасы, а также рассматривается как важный альтернативный источник энергии для нефти и природного газа в будущем. Соединенные Штаты, Япония, Китай и другие страны ввели соответствующие законы и нормативные акты в отношении этого источника энергии и провели достаточный ряд научных исследований. В настоящее время технологии добычи газовых гидратов на шельфе Китая в основном включают метод понижения давления и метод твердофазного псевдооживления. Эти методы имеют свои преимущества и недостатки, но их трудно удовлетворить потребностям коммерческой добычи.

Материалы и методы  
исследования.

Газовые гидраты, широко известные как «горючий лед», в основном распространены в отложениях морского дна и вечной мерзлоте на суше. После разложения они могут образовывать такие газы, как метан, который является чистым источником энергии с богатыми ресурсами и различные страны рассматривают его как важный альтернативный источник энергии в будущем. Однако традиционные ресурсы природного газа в Китае с трудом удовлетворяют спрос на экологически чистую энергию в результате экономического развития, и добыча газовых гидратов обещает стать эффективным способом решения этой проблемы. Таким образом, изучение газовых гидратов может не только способствовать скорейшей коммерческой эксплуатации ресурсов газовых гидратов в Южно-Китайском море, но также позволяет надеяться на снижение стоимости глубоководных традиционных ресурсов природного газа.

Результаты исследования  
и их обсуждение.

В статье приведено подробное описание каждого метода технологии добычи газовых гидратов в Китае с сравнительным анализом их преимуществ и недостатков применения на практике. Также в пример приводятся испытания газовых гидратов в Южно-Китайском море с оценкой их результатов.

Выводы.

В статье даны рекомендации касательно вопроса добычи газовых гидратов в Южно-Китайском море. Даны рекомендации о необходимости одновременного проведения исследований традиционных технологий и прорывных технологий добычи, а также совершенствования технологии интерпретации и оценки газовых гидратов в районе моря, с последующим снижением затрат с точки зрения всего жизненного цикла и, как следствие, изучением ключевого оборудования и технологий для глубоководных операций.

Ключевые слова:

газовый гидрат, преобразование энергии, полезные ископаемые, разработка, промышленная добыча.

Sun Haoyuan

Peoples' Friendship University of Russia

## **Status Quo and Recommendations on the Technology of Gas Hydrate Production in technology in South China Sea**

**Introduction.** Marine gas hydrates are an unconventional resource of natural gas that is stored in deep-sea sediments in a solid state. It has a wide distribution and large reserves, and is also considered as an important alternative energy source for oil and natural gas in the future. The United States, Japan, China and other countries have introduced relevant laws and regulations regarding this energy source and have conducted a sufficient number of scientific studies. Currently, gas hydrate extraction technologies on the Chinese shelf mainly include the pressure reduction method and the solid-phase fluidization method. These methods have their advantages and disadvantages, but they are difficult to meet the needs of commercial mining.

**Materials and methods of research.** Gas hydrates, commonly known as «combustible ice», are mainly found in the sediments of the seabed and permafrost on land. After decomposition, they can form gases such as methane, which is a clean energy source with rich resources and various countries consider it as an important alternative energy source in the future. However, traditional natural gas resources in China are struggling to meet the demand for clean energy as a result of economic development, and the extraction of gas hydrates promises to be an effective way to solve this problem. Thus, the study of gas hydrates can not only contribute to the early commercial exploitation of gas hydrate resources in the South China Sea, but also allows us to hope for a reduction in the cost of deep-sea traditional natural gas resources.

**The results of the study and their discussion.** The article provides a detailed description of each method of gas hydrate extraction technology in China with a comparative analysis of their advantages and disadvantages of application in practice. Tests of gas hydrates in the South China Sea with an assessment of their results are also given as an example.

**Conclusions.** The article provides recommendations on the issue of gas hydrate production in the South China Sea. Recommendations are given on the need for simultaneous research of traditional technologies and breakthrough production technologies, as well as improving the technology of interpretation and evaluation of gas hydrates in the sea area, with subsequent cost reduction in terms of the entire life cycle and, as a result, the study of key equipment and technologies for deep-sea operations.

**Key words:** gas hydrate, energy conversion, minerals, development, industrial production.



## **Введение**

В последние годы зеленая трансформация стала одним из важных направлений развития нефтегазовых компаний. Большинство крупных международных нефтяных компаний, таких как British Petroleum, сформулировали стратегии зеленого развития или провели соответствующие научно-технические исследования и разработки, а также подготовились к зеленой трансформации посредством их реализации, слияний и поглощений профессиональных компаний и т.д. В 2020 году, в связи со вспышкой эпидемии новой коронавирусной инфекции и воздействием низких цен на нефть, мировая нефтегазовая отрасль понесла беспрецедентный удар, и экономическая ситуация серьезно ухудшилась. Однако в результате крупные нефтяные компании не сократили свои инвестиции в область чистой энергетики. Напротив, они увеличили свои инвестиции и выразили твердую готовность к преобразованиям [4]. В будущем спрос на нефть будет продолжать снижаться, а спрос на природный газ, как важный альтернативный источник энергии, будет продолжать расти, что уже создало благоприятные условия для развития технологии добычи газовых гидратов. В статье анализируется исследовательская значимость газовых гидратов в морских районах Китая, их роль в преобразовании энергии и энергетической безопасности, а также стратегических потребностей глубоководья, описывается текущее состояние и ситуация с пробной добычей основных технологий добычи газовых гидратов в морских районах Китая и, наконец, приводится 4 рекомендации по технологиям добычи гидратов природного газа в морских районах Китая.

## **Материалы и методы исследования**

Газовые гидраты, широко известные как «горючий лед», в основном распространены в отложениях морского дна и вечной мерзлоте на суше. После разложения они могут образовывать такие газы, как метан, который является чистым источником энергии с богатыми ресурсами. Подсчитано, что газовые гидраты в мире в основном распространены на морских склонах суши и вечной мерзлоте Арктики. Объем ресурсов примерно вдвое превышает объем всех других ископаемых источников энергии (из которых

на морскую акваторию приходится более 90% ресурсов) и различные страны рассматривают его как важный альтернативный источник энергии в будущем [5]. Южно-Китайское море богато ресурсами газовых гидратов и разделено в общей сложности на 11 районов ресурсного ведения с предполагаемым объемом ресурсов  $88 \times 10^{12} \text{ м}^3$  [6].

В настоящее время экологическая защита окружающей среды стала общим консенсусом. Европейские страны, такие как Соединенное Королевство, Франция, Германия, Ирландия и Норвегия, установили подробные целевые показатели углеродной нейтральности, а некоторые даже прописали их в законе. Крупные европейские нефтяные компании, такие как British Petroleum и Total, разработали стратегии преобразования энергии и увеличили инвестиции в чистую энергетику [4]. Соединенные Штаты также поддерживают развитие зеленой охраны окружающей среды, и новый президент Байден вернется к Парижскому соглашению после вступления в должность [7]. В настоящее время такие нефтяные компании, как ExxonMobil и Chevron в Соединенных Штатах, разрабатывают технологии улавливания углерода и другие сопутствующие технологии.

В 2020 году Китай опубликовал план «достижения углеродной нейтральности к 2060 году», что является вызовом для энергетической структуры Китая, основанной на угле. Исходя из этой предпосылки, в будущем, до широкомасштабного применения Китаем возобновляемых источников энергии, природный газ будет играть роль непрерывного источника энергии. Однако традиционные ресурсы природного газа в Китае с трудом удовлетворяют спрос на экологически чистую энергию в результате экономического развития, и добыча газовых гидратов обещает стать эффективным способом решения этой проблемы.

Традиционной китайской нефти и газу трудно удовлетворить потребности быстро растущего экономического и экологически чистого развития. В целях обеспечения энергетической безопасности Китай принял множество мер, таких как диверсификация поставок нефти и газа и поиск наземных маршрутов их транспортировки, чтобы уменьшить свою зависимость от Малаккского пролива.

Скорейшая реализация коммерческой разработки газовых гидратов в районе моря является одним из эффективных способов решения энергетической дилеммы Китая. Газовые гидраты в Южно-Китайском море в основном распределены на его континентальном шельфе. Нет проблем с морскими перевозками на большие расстояния. Ресурсы природного газа могут быть предоставлены в обычном режиме для смягчения напряженности в области энергетической безопасности.

В 2016 году Китай сформулировал подробную глубоководную стратегию, предложив три требования: «глубоководный вход», «глубоководная разведка» и «глубоководная добыча полезных ископаемых» [8]. Отечественные нефтегазовые компании отреагировали положительно и сформулировали стратегию развития глубоководной нефтегазовой отрасли. В последние годы, в связи с непрерывным развитием технологий, стоимость глубоководной добычи нефти и газа значительно снизилась. Однако поскольку среда с низкой температурой и высоким давлением в трубопроводе создает условия для вторичного образования газовых гидратов, образующиеся газовые гидраты трудно извлекать, что создает проблемы для глубоководной добычи и транспортировки нефти и газа, и ограничивает дальнейшее снижение их стоимости. Таким образом, изучение газовых гидратов может не только способствовать скорейшей коммерческой эксплуатации ресурсов газовых гидратов в Южно-Китайском море, но также позволяет надеяться на снижение стоимости глубоководных традиционных ресурсов природного газа.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В настоящее время технологии добычи газовых гидратов в Китае включают метод добычи, метод дробления и извлечения на месте, метод замещения  $\text{CO}_2$ , метод нагрева и ингибиторы впрыска. Среди них метод добычи и метод дробления и извлечения на месте являются основными направлениями исследований, и пробные испытания на добычу достигли хороших результатов.

Метод понижения давления - это технология добычи газовых гидратов в морских районах, которая ускоряет разложение газовых

гидратов за счет снижения пластового давления для увеличения суточной добычи. В настоящее время технология была многократно протестирована и получила широкое признание на международном уровне [9]. Пробная добыча доказала, что эта технология может эффективно решать проблемы мирового уровня, такие как строительство скважин сложной конструкции в неглубоких и мягких пластах, увеличение добычи из одной скважины и возможность преобразования коллектора [10].

Она обладает большим потенциалом для индустриализации и очевидными преимуществами в технических запасах. Однако метод понижения давления все еще находится на некотором расстоянии от коммерческого применения и ему необходимо решить проблемы добычи из одной скважины, расширенного производственного цикла, динамической стабильности при добыче полезных ископаемых, укрепления пласта и восполнения энергии [11]. В настоящее время ведутся отечественные и зарубежные исследования по решению проблем низкой эффективности метода понижения давления и периодического снижения добычи газа за счет расширения зоны снижения давления и дренажа эксплуатационных скважин, улучшения проницаемости за счет преобразования пласта и тепловой компенсации разложения гидрата в пласте [12]. Расширение открытой площади пласта является эффективным способом увеличения дебита одной скважины. Поэтому эффект от использования метода понижения в горизонтальных скважинах значительно лучше, чем у вертикальных скважин. Однако из-за проблем рыхлых осадочных горных пород на поверхности земной коры и плохой геотехнической цементации в глубоководных и неглубоких пластах стабильность горизонтальных скважин трудно гарантировать [13]. Кроме того, длина горизонтальной скважины также связана со скоростью добычи газа.

В определенном диапазоне длин они имеют линейную зависимость роста, но как только длина горизонтальной скважины превысит предел, скорость добычи газа будет снижена [14]. В ответ на это Геологическая служба Китая предложила план разработки горизонтальных скважин для увеличения добычи, сформировав набор технологических систем бурения глубоководных неглубоких гори-

зонтальных скважин с мягким несоответствием, которые включают в себя крепление всасывания, сильный наклонный пласт, нижнюю обсадную колонну с электроприводом и другие технологии. Были проведены прикладные испытания в ходе пробных горных работ в Китае в 2020 году, которые показали идеальные результаты исследования и оправдали всевозможные ожидания.

Причины низкой проницаемости коллекторов газовых гидратов включают в себя геологические факторы или повреждение коллектора, вызванное при добыче полезных ископаемых. Низкая проницаемость уменьшит канал транспортировки свободных газовых гидратов, уменьшит эффект методов нагрева или снижения давления, и в конечном итоге приведет к снижению добычи из одной скважины. Использование технологии преобразования коллектора может значительно решить проблему плохой проницаемости коллекторов газовых гидратов. Самым распространенным является метод гидравлического разрыва пласта (ГРП), который включает в себя следующие разновидности: гидравлический разрыв пласта под высоким давлением, с подкислением, пенной жидкостью, гибридный и т.д. [15]. Данный метод считается достаточно эффективным для применения, за счет создаваемых сетей трещин, которые улучшают гидравлическую проводимость пласта с последующим увеличением зоны дренирования скважины, что приводит к увеличению эффективности конечной нефтеотдачи. Однако стоит помнить об экологической опасности данного метода, в результате применения которого возможно загрязнение грунтовых вод различными химическими веществами, что, несомненно, сказывается не самым благоприятным образом для окружающей среды. В 2017 году Китай внедрил операции по гидравлическому разрыву пласта при пробной добыче и засыпке гравием вне обсадной колонны в процессе завершения, что эффективно увеличило производительность одной скважины [16]. Кроме того, ключевыми направлениями текущих исследований являются следующие причины: как обеспечить стабильность скважины, уменьшить снижение добычи, вызванное засорением песка и засорением льда, и как использовать различные методы добычи с использованием метода сжатия в качестве основного [17].

Метод дробления и извлечения на месте включает метод псевдооживления в твердом состоянии и комбинированный механико-термический метод добычи. Метод твердофазного псевдооживления был впервые предложен Китаем [18]. Данная технология добычи полезных ископаемых выходит за рамки «нефтяного мышления». Породы, содержащие газовые гидраты, извлекаются путем бурения из пласта, а затем мусор поднимается на поверхность моря и вода повторно используется для изменения давления и температуры гидрата, а затем разлагает гидрат, полностью избегая проблем засорения песком, засорения льдом и обрушения скважин, с которыми сталкиваются традиционные методы добычи [19]. По сравнению с методом понижения давления, самой значимой особенностью этой технологии является то, что газовый гидрат разлагается в скважине, в то время как метод понижения разлагается в пласте.

В 2017 году китайская нефтегазовая компания China National Offshore Oil Corporation (CNOOC) использовала метод псевдооживления твердого вещества для проведения пробных горных работ в Южно-Китайском море и результаты применения доказали целесообразность и превосходство технологии. Однако у этой технологии есть такие проблемы, как высокие эксплуатационные расходы и низкая производительность одной скважины [1]. Она не позволила реализовать коммерческую добычу газовых гидратов в районе моря и ее необходимо развивать и совершенствовать.

В настоящее время Китай проводит исследования по комбинированной механико-термической технологии добычи полезных ископаемых. Разница между этой технологией и методом псевдооживления твердого вещества заключается в том, что обломки коллектора не поднимаются непосредственно на поверхность моря для разложения, а смешиваются с морской водой в скважине, и температура морской воды используется для разрушения баланса температуры и давления гидрата [2]. После разложения гидрата в скважине, обломки непосредственно засыпаются обратно в пласт, а разложившийся природный газ поднимается на поверхность моря для хранения [20]. Технология более безопасна и экономична, чем метод твердофазной псевдооживления, но она по-прежнему сталкива-

ется с некоторыми проблемами, включая теоретические вопросы, такие как анализ состояния многофазного потока гидратов и термодинамические характеристики разложения гидратов, инженерные проблемы, такие как дробление гидрата на морском дне, транспортное оборудование и технологии [21], а также вопросы безопасности, такие как стабильность морского дна в районе гидратного месторождения и восстановление окружающей среды морского дна [22]. В настоящее время Китай изучает возможность использования комбинированного механико-термического метода добычи с другими технологиями добычи, такими как метод бака [23]. Перечислим другие технологии.

### 1. Метод нагрева.

Газовые гидраты могут сохранять стабильность только при определенной температуре и давлении окружающей среды. Метод понижения давления способствует их разложению за счет изменения окружающего давления гидрата, в то время как метод нагрева способствует их разложению за счет изменения температуры окружающей среды. Путем нагнетания высокотемпературного пара или жидкости в резервуар для газового гидрата или непосредственного нагрева резервуара с использованием электромагнитных и других технологий, достигается цель изменения температуры окружающей среды, а затем получают гидрат в свободном состоянии для добычи. Технология проста и эффективна, но она имеет высокую стоимость, высокое энергопотребление, медленную скорость разложения [24] и предъявляет определенные требования к пористости пласта. В настоящее время метод нагрева развился от первоначального метода гидротермальной инъекции до нагрева электромагнитными волнами, микроволнового нагрева, солнечного нагрева и других методов энергоснабжения, но пока он все еще находится в стадии исследований и разработок (табл. 1).

### 2. Метод замещения $\text{CO}_2$ .

При определенных условиях температуры и давления, в дополнение к метану, такие газы, как  $\text{CO}_2$ , могут вступать в реакцию с водой с образованием гидратов. Метод замещения  $\text{CO}_2$

Таблица 1. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ МЕТОДОВ НАГРЕВА ГИДРАТА ПРИРОДНОГО ГАЗА [25]  
Table 1. Advantages and disadvantages of natural gas hydrate heating methods [25]

Метод	Преимущества	Недостатки
Теплоноситель	Пригоден для вторичной переработки, низкая эффективность	Высокие теплотери
Электромагнитный нагрев	Быстрый, простой в управлении	Сложное оборудование, высокое энергопотребление
Микроволновое отопление	Простой в управлении, с волноводной передачей	Высокое энергопотребление, отсутствие высокоэнергетического магнетрона
Солнечное отопление	Чистый, эффективный, не загрязняет окружающую среду	Сильно зависит от погоды

основан на этом принципе. При впрыске газа  $\text{CO}_2$  в резервуар для газового гидрата метан в гидрате замещается с образованием свободного метана. Эта технология безопасна и экологична, а стоимость ниже, чем метод теплового впрыска, но проблема низкой скорости замены еще не преодолена. Такие технологии, как смешивание  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$  с  $\text{CO}_2$  изучаются в стране и за рубежом для повышения эффективности замещения, но стоимость производства замещающего газа высока.

### 3. Метод химического ингибитора.

Впрыскивание определенных жидких химических ингибиторов, таких как метанол, в резервуар для гидратов может



привести к тому, что исходные условия равновесия газового гидрата не смогут соответствовать термодинамическим условиям, необходимым для стабильности гидрата, тем самым вызывая разложение гидрата на поверхности контакта, обеспечивая благоприятные условия для последующей добычи [3].

Инвестиции в предварительные операции с использованием этого метода очень малы, но ввиду высокой стоимости химических реагентов долгосрочные затраты на добычу высоки, а закачка химических ингибиторов в пласт может вызвать проблемы с загрязнением окружающей среды. В настоящее время основными направлениями исследований являются снижение себестоимости производства ингибиторов, повышение эффективности разложения и снижение загрязнения окружающей среды.

На сегодняшний день технология добычи газовых гидратов в отечественных и зарубежных водах является незрелой, и, как правило, существуют такие проблемы, как низкая добыча из одной скважины, высокие затраты на добычу и низкая эффективность добычи, а также сложность поддерживать коммерческую добычу. Преимущества и недостатки различных методов добычи газовых гидратов показаны в таблице 2.

К концу 2020 года Китай провел два испытания газовых гидратов в морских водах. В 2017 году Китай провел первую пробную добычу газовых гидратов с глубиной залегания 1266 м и глубиной залегания 200 м. В пробной добыче использовался метод извлечения насыщенного пластом флюида для сбора свободного газа и водного газа. Время составило около 60 дней, а общая добыча газа составила около  $30 \times 10^4$  м<sup>3</sup>. С 10 по 18 мая среднесуточная добыча газа превысила  $1,6 \times 10^4$  м<sup>3</sup>, превысив целевой показатель «10 000 кубических метров в день в течение одной недели» и достигла ряда крупных прорывных достижений, таких как длительная непрерывная добыча газа, стабильный поток воздуха и экологическая безопасность [26], и в то же время полностью доказала целесообразность метода понижения давления.

В 2020 году Китай провел вторую пробную добычу с использованием ряда передовых технологий, включая метод горизонтальной скважины + метод понижения давления. Эта пробная добы-

ТАБЛИЦА 2. СРАВНЕНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ И НЕДОСТАТКОВ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА [25]  
Table 2. Comparison of advantages and disadvantages of natural gas hydrate development technologies [25]

Технология добычи полезных ископаемых	Преимущества	Недостатки
Метод понижения давления	Высокая чувствительность к температуре и давлению, низкая стоимость добычи.  Оборудование относительно простое	Он более эффективен, когда находится на границе равновесия между температурой и давлением.  Медленная скорость разложения
Метод псевдооживления в твердом состоянии	Добыча полезных ископаемых на месте	Низкая производительность, низкие полезные запасы и высокое энергопотребление
Метод нагрева	Процесс прост, скорость майнинга высокая, а управляемость хорошая	Плохая теплопроводность, большие потери на нагнетание тепла, низкий коэффициент использования энергии
Метод замещения CO <sub>2</sub>	Высокая эффективность добычи полезных ископаемых, безопасная окружающая среда и возможность хранения CO <sub>2</sub>	Процесс строительства сложен, технология незрелая, и требуется источник газа CO <sub>2</sub>
Метод химического ингибитора	Простой метод, удобен в использовании	Дорого, медленно действует и загрязняет окружающую среду

ча установила два мировых рекорда по общей добыче газа  $86,14 \times 10^4$  м<sup>3</sup> и среднесуточной добыче газа  $2,87 \times 10^4$  м<sup>3</sup>, достигнув значительного скачка от «разведочной пробной добычи» к «экспериментальной пробной добыче» [27].

Два успешных испытания доказали, что технология добычи газовых гидратов на шельфе Китая находится на передовом мировом уровне, но она еще не достигла коммерческого уровня добычи, и необходимо продолжить исследования по снижению затрат, повышению эффективности, безопасности и охране окружающей среды.

Канада, Соединенные Штаты, Япония и другие страны также провели пробную добычу газовых гидратов в морских водах. Среди них Соединенные Штаты имеют самую низкую стоимость и самые передовые технологии для пробной добычи, но в то же время не располагают достаточными условиями для коммерческой добычи.

### **Выводы**

Перейдем к рекомендациям. Необходимо:

1. Одновременно проводить исследования в области традиционных технологий добычи полезных ископаемых и прорывных технологий добычи полезных ископаемых. Метод понижения давления предложен на основе традиционного опыта добычи нефти и газа, который эффективно способствовал технологическому развитию добычи газовых гидратов в морских районах. Технология в настоящее время является относительно зрелой и, как ожидается, будет коммерчески применена в ближайшие несколько лет. Однако все еще существуют некоторые проблемы, которые трудно решить с помощью этой технологии, такие как плохое сцепление коллекторов газовых гидратов с обычными коллекторами нефти и газа, а операции по бурению горизонтальных скважин, используемые при обычной добыче нефти и газа, подвержены разрушению ствола скважины, что повлияет на производственные операции. Кроме того, явление «блокирование песка + блокирование льда», возникающее в процессе производства гидратов, также является одной из сложных проблем, которые необходимо решить. В настоя-

щее время данные решения изучаются с разных точек зрения в стране и за рубежом с целью завершения коммерческой добычи газовых гидратов в морских районах на основе традиционных технологий добычи нефти и газа. Метод твердофазного псевдоожигения, предложенный академиком Чжоу Шоувэем и другими, предлагает новые идеи для добычи гидратов природного газа в морских районах. Поэтому, с одной стороны, Китаю следует продолжать изучать ключевые вопросы на основе существующих результатов исследований, с другой стороны, ему следует изменить свое мышление и активно изучать прорывные технологии. Развитие технологий добычи полезных ископаемых различными способами способствует максимально быстрой коммерческой добыче гидратов.

2. Усовершенствовать технологию интерпретации и оценки гидратов и провести скрининг «десертной зоны». В коллекторах газовых гидратов существуют неоднородности, исходя из того, что современные технологии добычи полезных ископаемых еще не достигли значительных успехов. Если мы хотим соответствовать требованиям экономичной добычи полезных ископаемых, нам необходимо увеличить усилия по разведке и добыче полезных ископаемых, найти богатые ресурсами районы, увеличить добычу из одной скважины и, в конечном счете, достичь цели снижения затрат. Для определения «зоны десерта» требуются передовые технологии разведки, включая глубоководное бурение и каротаж, а также трехмерную сейсморазведку. Существует большой разрыв между технологией бурения и каротажа в Китае и зарубежными странами. Более зрелая технология бурения и каротажа PetroChina включает только гамма-излучение и удельное сопротивление,

а эффект применения других технологий невелик. CNOOC быстро развивалась благодаря бурению и лесозаготовкам, и некоторые их передовые технологии начали внедряться в промышленность. Китайская трехмерная высокоточная сейсмическая технология является относительно зрелой и в основном может удовлетворить потребности в точном обнаружении гидратов природного газа. Однако с точки зрения интерпретации и оценки гидратов, исследований явно недостаточно, а некоторые области даже пусты. Поэтому необходимо активизировать исследования по интерпретации и оценке газовых гидратов и дальнейшему совершенствованию системы интерпретации и оценки.

3. Снизить затраты с точки зрения всего жизненного цикла. Из-за низкой экономичности добычи газовых гидратов в морских районах, необходимо проводить исследования по снижению затрат на протяжении всего жизненного цикла разведки, разработки, хранения и транспортировки, а характеристики гидратов используются для минимизации общей стоимости добычи. Если взять в качестве примера буровые работы, то затраты на бурение составляют значительную долю от общих затрат на добычу полезных ископаемых. В настоящее время при бурении в стране и за рубежом используются крупномасштабные буровые суда, буровые установки двойного действия, стальные подъемники и подводные устройства предотвращения выброса для глубоководных работ на несколько километров. Они имеют высокий технический уровень и высокую стоимость, но низкую прикладную ценность. Газовые гидраты обычно распределены на морском дне континентального шельфа от 300 до 500 м. Использование буровых установок среднего размера + буровые

установки для непрерывного бурения композитных труб + композитные стояки, бурение без стояков + группы превенторов сухого выброса, подходящие для непрерывного бурения труб, и недорогие группы превенторов подводного выброса могут удовлетворить потребности [28].

4. Исследование ключевого оборудования и технологий для глубоководных операций. Существует большой разрыв между ключевым оборудованием и технологиями глубоководных операций Китая и зарубежных стран. Например, 86% оборудования полупогружной глубоководной буровой платформы «Blue Whale II» зависит от импорта, а время сохранения теплоизоляции и технологии отбора проб под давлением слишком короткое, и такие материалы, как высокопрочная сталь, не отвечают потребностям морских операций. Существует явный разрыв между характеристиками антикоррозионных красок и зарубежными странами. Мы должны сосредоточиться на исследованиях в области технологии подъема шеи для обеспечения долгосрочного стабильного развития отрасли.

#### **Библиографический список**

1. Дуань И., Шнип О.А. Газовые гидраты в Южно-Китайском море. Теоретические основы и технологии поисков и разведки нефти и газа. М.: Изд-во: Научно-исследовательский проектный институт нефти и газа, 2013, №4, с. 41–43.
2. Шиц Е.Ю., Корякина В.В. Газогидраты: краткий информационный обзор современных зарубежных исследований // Газовая промышленность. №12. 2020. С. 1–13.
3. Шнюков Е.Ф., Гожик П.Ф., Краюшкин В.А., Клочко В.П. В трех шагах от субмаринной добычи газогидратов // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2020. №2. Т. 16. С. 32–51.

4. Hou L., Sun N.D., Zhang H. Z. World's major oil companies' basic predictions on the industry development prospects in the post-COVID-19 epidemic era // *World Petroleum Industry*, 2020. Vol. 27. No. 5. P. 36–41.
5. Lee J. Y., Ryu B. J., Yun T. S. et al. Review on the gas hydrate development and production as a new energy resource // *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2011. Vol. 15. No. 4. P. 689–696. <https://doi.org/10.1007/s12205-011-0009-3>.
6. Wu X. S., Huang W. B., Liu W. C., et al. World-wide progress of resource potential assessment, exploration and production test of natural gas hydrate // *Marine Geology Frontiers*, 2017. Vol. 33 No. 7. P. 63–78.
7. President Biden orders U.S. to rejoin Paris Agreement on climate change. URL: [http://www.xinhuanet.com/english/2021-01/21/c\\_139685346.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2021-01/21/c_139685346.htm) (Дата обращения: 22.06.2022).
8. From «deep sea entry» to «deep sea exploration and development». URL: [www.sohu.com/a/199422623\\_120702](http://www.sohu.com/a/199422623_120702) (Дата обращения: 22.06.2022).
9. Yu T., Guan G. Q., Abdula A. Production performance and numerical investigation of the 2017 offshore methane hydrate production test in the Nankai Trough of Japan // *Applied Energy*, 2019. No. 251. P. 113338. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113338>.
10. Liang Y. P., Tan Y. T., Luo Y. J. et al. Progress and challenges on gas production from natural gas hydrate bearing sediment // *Journal of Cleaner Production*, 2020. No. 261. P. 121061. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121061>.
11. Li S. D., Li X., Wang S. J. et al. A novel method for natural gas hydrate production: depressurization and backfilling with in-situ supplemental heat // *Journal of Engineering Geology*, 2020. Vol. 28. No. 2. P. 282–293. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c01143>.
12. Chen Q., Hu G. W., Li Y. L. et al. A prospect review of new technology for development of marine gas hydrate resources // *Marine Geology Frontiers*, 2020. Vol. 36. No. 9. P. 44–55. <https://doi.org/10.16028/j.1009-2722.2020.081>.
13. Li N., Wang X. H., Lyu Y. N. et al. Challenges and key technologies in development of natural gas hydrates // *Petroleum Science Bulletin*, 2016. Vol. 1. No. 1. P. 171–174. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.860591>.
14. Lu Q. P. Study on multiphase flow in wellbore of deepwater gas hydrate coiled tubing horizontal well // *China Petroleum and*

- Chemical Standard and Quality, 2019. Vol. 39. No. 5. P. 70–71, 74. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/632/2/022049>.
15. Pan D. B., Chen C., Yang L. et al. Physical simulation experiment system for jet erosion of natural gas hydrate // *Drilling Engineering*, 2018. Vol. 45. No. 10. P. 27–31. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-7428.2018.10.006>.
  16. Li J. F., Ye J. L., Qin X. W. et al. The first offshore natural gas hydrate production test in South China Sea // *China Geology*, 2018. No. 1. P. 5–16. <https://doi.org/10.31035/cg2018003>.
  17. Wang Z. G., Zhang Y. Q., Liang J., et al. Theoretical study on the application of SAGD technology in exploitation of natural gas hydrate in land permafrost region // *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2017. Vol. 44. No. 5. P. 14–18. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-7428.2017.05.003>.
  18. Zhou S. W., Chen W., Li Q. P. et al. Research on the solid fluidization well testing and production for shallow non-diagenetic natural gas hydrate in deep water area // *China Offshore Oil and Gas*, 2017. Vol. 29. No. 4. P. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s11708-020-0684-1>.
  19. Li Y. L., Liu C. L., Liu L. L. et al. Mechanical properties of methane hydrate-bearing unconsolidated sediments // *Journal of China University of Petroleum. Edition of Natural Science*, 2017. Vol. 41. No. 3. P. 105–113.
  20. Zhang X. H., Lu X. B. A new exploitation method for gas hydrate in shallow stratum: mechanical-thermal method // *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2016. Vol. 48. No. 5. P. 1238–1246.
  21. Wei N. Charts of cuttings carrying capacity in different hole enlargement modes for drilling horizontal wells in marine gas hydrate reservoirs // *Oil Drilling & Production Technology*, 2019. Vol. 41. No. 4. P. 435–440. <https://doi.org/10.3390/en13051129>.
  22. Wu N. Y., Huang L., Hu G. W. et al. Geological controlling factors and scientific challenges for offshore gas hydrate exploitation // *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2017. Vol. 37. No. 5. P. 1–11. <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2017.05.001>.
  23. Fu Q., Wang G. R., Zhou S. W. et al. Development of marine natural gas hydrate mining technology and equipment // *Strategic Study of CAE*, 2020. Vol. 22. No. 6. P. 32–39. <https://doi.org/10.15302/J-SSCAE-2020.06.005>.



24. Li F. G., Yuan Q., Li T. D. et al. A review: Enhanced recovery of natural gas hydrate reservoirs // Chinese Journal of Chemical Engineering, 2018. Vol. 27. No. 9. P. 2062–2073. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.11.007>.
25. Liang Y. P., Tan Y. T., Luo Y. J. et al. Progress and challenges on gas production from natural gas hydrate-bearing sediment // Journal of Cleaner Production, 2020. Vol. 261. P. 121061. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121061>.
26. The first successful trial production of natural gas hydrate (combustible ice) in China. URL: [http://www.gmgs.cgs.gov.cn/tbzl/shwsc/201801/t20180103\\_448661.html](http://www.gmgs.cgs.gov.cn/tbzl/shwsc/201801/t20180103_448661.html) (Дата обращения: 22.06.2022).
27. Chen H. L., Wan X. M., Chen J. et al. Record of the second round of trial production of natural gas hydrate in China. URL: [https://www.cgs.gov.cn/gzdt/zsdw/202004/t20200403\\_629610.html](https://www.cgs.gov.cn/gzdt/zsdw/202004/t20200403_629610.html) (Дата обращения: 22.06.2022).
28. Yang J. H., Hou L., Guo X. X. et al. Prospect for lowcost development of marine gas hydrate // World Petroleum Industry, 2020. Vol. 27. No. 4. P. 22–26. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202020801002>.

### References

1. Duan Y., Shnip O.A. Gas hydrates in the South China Sea. Theoretical foundations and technologies of oil and gas prospecting and exploration. M.: Publishing house: Scientific Research Design Institute of Oil and Gas, 2013. No. 4, p. 41–43. (In Russ.)
2. Shits E.Yu., Koryakina V.V. Gas hydrates: a brief information review of modern foreign studies // Gas Industry, No. 12, 2020, p.1–13. (In Russ.)
3. Shnyukov E.F., Gozhik P.F., Krayushkin V.A., Klochko V.P. Three steps from the submarine production of gas hydrates // Geology and minerals of the world ocean, 2020, No. 2, volume 16, p. 32–51. (In Russ.)
4. Hou L., Sun N.D., Zhang H. Z. World's major oil companies' basic predictions on the industry development prospects in the post-COVID-19 epidemic era // World Petroleum Industry, 2020. Vol. 27. No. 5. P. 36–41.
5. Lee J. Y., Ryu B. J., Yun T. S. et al. Review on the gas hydrate development and production as a new energy resource //

- KSCE Journal of Civil Engineering, 2011. Vol. 15. No. 4. P. 689–696. <https://doi.org/10.1007/s12205-011-0009-3>.
6. Wu X. S., Huang W. B., Liu W. C., et al. World-wide progress of resource potential assessment, exploration and production test of natural gas hydrate. *Marine Geology Frontiers*, 2017. Vol. 33 No. 7. P. 63–78.
  7. President Biden orders U.S. to rejoin Paris Agreement on climate change. URL: [http://www.xinhuanet.com/english/2021-01/21/c\\_139685346.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2021-01/21/c_139685346.htm). (Accessed 22.06.2022).
  8. From «deep sea entry» to «deep sea exploration and development». URL: [https://www.sohu.com/a/199422623\\_120702](https://www.sohu.com/a/199422623_120702). (Accessed 22.06.2022).
  9. Yu T., Guan G. Q., Abdula A. Production performance and numerical investigation of the 2017 offshore methane hydrate production test in the Nankai Trough of Japan // *Applied Energy*, 2019. No. 251. P. 113338. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113338>.
  10. Liang Y. P., Tan Y. T., Luo Y. J. et al. Progress and challenges on gas production from natural gas hydrate-bearing sediment // *Journal of Cleaner Production*, 2020. No. 261. P. 121061. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121061>.
  11. Li S. D., Li X., Wang S. J. et al. A novel method for natural gas hydrate production: depressurization and backfilling with in-situ supplemental heat // *Journal of Engineering Geology*, 2020. Vol. 28. No. 2. P. 282–293. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c01143>.
  12. Chen Q., Hu G. W., Li Y. L. et al. A prospect review of new technology for development of marine gas hydrate resources // *Marine Geology Frontiers*, 2020. Vol. 36. No. 9. P. 44–55. <https://doi.org/10.16028/j.1009-2722.2020.081>.
  13. Li N., Wang X. H., Lyu Y. N. et al. Challenges and key technologies in development of natural gas hydrates // *Petroleum Science Bulletin*, 2016. Vol. 1. No. 1. P. 171–174. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.860591>.
  14. Lu Q. P. Study on multiphase flow in wellbore of deepwater gas hydrate coiled tubing horizontal well // *China Petroleum and Chemical Standard and Quality*, 2019. Vol. 39. No. 5. P. 70–71, 74. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/632/2/022049>.
  15. Pan D. B., Chen C., Yang L. et al. Physical simulation experiment system for jet erosion of natural gas hydrate // *Drilling Engineering*, 2018. Vol. 45. No. 10. P. 27–31. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-7428.2018.10.006>.

16. Li J. F., Ye J. L., Qin X. W. et al. The first offshore natural gas hydrate production test in South China Sea // *China Geology*, 2018. No. 1. P. 5–16. <https://doi.org/10.31035/cg2018003>.
17. Wang Z. G., Zhang Y. Q., Liang J., et al. Theoretical study on the application of SAGD technology in exploitation of natural gas hydrate in land permafrost region // *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2017. Vol. 44. No. 5. P. 14–18. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-7428.2017.05.003>.
18. Zhou S. W., Chen W., Li Q. P. et al. Research on the solid fluidization well testing and production for shallow non-diagenetic natural gas hydrate in deep water area // *China Offshore Oil and Gas*, 2017. Vol. 29. No. 4. P. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s11708-020-0684-1>.
19. Li Y. L., Liu C. L., Liu L. L. et al. Mechanical properties of methane hydrate-bearing unconsolidated sediments // *Journal of China University of Petroleum. Edition of Natural Science*, 2017. Vol. 41. No. 3. P. 105–113. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096519219300060> (Accessed 22.06.2022).
20. Zhang X. H., Lu X. B. A new exploitation method for gas hydrate in shallow stratum: mechanical-thermal method // *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2016. Vol. 48. No. 5. P. 1238–1246.
21. Wei N. Charts of cuttings carrying capacity in different hole enlargement modes for drilling horizontal wells in marine gas hydrate reservoirs // *Oil Drilling & Production Technology*, 2019. Vol. 41. No. 4. P. 435–440. <https://doi.org/10.3390/en13051129>.
22. Wu N. Y., Huang L., Hu G. W. et al. Geological controlling factors and scientific challenges for offshore gas hydrate exploitation // *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2017. Vol. 37. No. 5. P. 1–11. <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2017.05.001>.
23. Fu Q., Wang G. R., Zhou S. W. et al. Development of marine natural gas hydrate mining technology and equipment // *Strategic Study of CAE*, 2020. Vol. 22. No. 6. P. 32–39. <https://doi.org/10.15302/J-SSCAE-2020.06.005>.
24. Li F. G., Yuan Q., Li T. D. et al. A review: Enhanced recovery of natural gas hydrate reservoirs // *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2018. Vol. 27. No. 9. P. 2062–2073. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.11.007>.

25. Liang Y. P., Tan Y. T., Luo Y. J. et al. Progress and challenges on gas production from natural gas hydratebearing sediment // Journal of Cleaner Production, 2020. Vol. 261. P. 121061. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121061>.
26. The first successful trial production of natural gas hydrate (combustible ice) in China. URL: [http://www.gmgs.cgs.gov.cn/tbz/ shwsc /201801/t20180103\\_448661.html](http://www.gmgs.cgs.gov.cn/tbz/ shwsc /201801/t20180103_448661.html) (Accessed 22.06.2022).
27. Chen H. L., Wan X. M., Chen J. et al. Record of the second round of trial production of natural gas hydrate in China. URL: [https://www.cgs.gov.cn/gzdt/zsdw/202004/t20200403\\_629610.html](https://www.cgs.gov.cn/gzdt/zsdw/202004/t20200403_629610.html) (Accessed 22.06.2022).
28. Yang J. H., Hou L., Guo X. X. et al. Prospect for lowcost development of marine gas hydrate // World Petroleum Industry, 2020. Vol. 27. No. 4. P. 22–26. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202020801002>.

**Поступило в редакцию 15.07.2022,  
принята к публикации 15.09.2022.**

#### **Сведения об авторе**

**Сунь Хаоюань**, аспирант Российского университета дружбы народов.  
E-mail: [sunhaoyuan@mail.ru](mailto:sunhaoyuan@mail.ru)

#### **About the authors**

**Sun Haoyuan**, postgraduate student of the Peoples' Friendship University of Russia.  
E-mail: [sunhaoyuan@mail.ru](mailto:sunhaoyuan@mail.ru)

25.00.12 (1.6.11)

25.00.17 (2.8.4)

УДК 553.982

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Черненко К.И.,  
Еремина Н.В.,  
Туманова Е.Ю.**ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,  
Институт наук о земле, кафедра геологии нефти и газа,  
г. Ставрополь, Россия**ЛИНЕЙНЫЕ ЗОНЫ ПОВЫШЕННОЙ  
ПРОДУКТИВНОСТИ НЕФТИ В КАРБОНАТНОЙ  
ЗАЛЕЖИ ПУШКАРСКОГО ПОЛЯ ЗИМНЕ-  
СТАВКИНСКО-ПРАВОБЕРЕЖНОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.3.2

Введение.

Объектом исследования является карбонатная залежь нефтекумской свиты Зимне-Ставкинско-Правобережного месторождения (Пушкарское поле), приуроченная к нижнетриасовым отложениям Восточного Ставрополя. Цель исследования – повышение эффективности освоения месторождения нефти на основе выявления зон повышенной продуктивности скважин. Для достижения поставленной цели предполагается решение следующих задач: оценка влияния тектонических и геодинамических факторов; выделение зон повышенной продуктивности скважин, связанных с системой трещин, сопутствующих зонам разгрузки тектонических напряжений.

Материалы и методы исследований.

Материалами послужили геолого-промысловые данные о залежах нефти (в том числе о продуктивности скважин), геофизические исследования более 200 глубоких скважин, данные сейсморазведки, космоснимки различных масштабов, сейсмогеологические профили, структурные карты, карты изопакит эффективных нефтенасыщенных толщин, карты текущих и накопленных отборов и другие материалы научных и производственных организаций. Применялись следующие методы исследования: анализ, систематизация и обобщение геологических, геофизических и промысловых данных, системно-аэрокосмический метод, включающий классическую технологию дешифрирования и интерпретации космических снимков. Применялась разработанная авторами методика выявления зон повышенной продуктивности скважин в карбонатных залежах с учетом данных дешифрирования космических снимков.

**Результаты исследований**

**и их обсуждение.** Приводится анализ зон повышенной продуктивности скважин. Установлено, что данные зоны имеют преимущественно линейный характер, причем линейность накопленной добычи нефти не зависит от времени ввода скважин в эксплуатацию. Структурный фактор, эффективная нефтенасыщенная толщина, высота над контактом, открытая пористость, нефтенасыщенность, удельные запасы нефти пласта не являются определяющими факторами линейности. На основе анализа геотектонической активности изучаемого региона рассмотрено влияние геодинамического фактора на продуктивность скважин и выявлено, что зоны повышенной трещиноватости, обуславливающие увеличение продуктивности скважин, являются результатом разгрузки тектонических напряжений. Установленная закономерность приуроченности направлений линейных зон повышенной трещиноватости наблюдается не только для карбонатных нефтекумских отложений, но и для терригенных отложений верхней части разреза месторождения.

**Выводы.** Разработана методика выделения по направлениям линеаментов дневной поверхности зон повышенной трещиноватости и повышенной продуктивности скважин карбонатных залежей нефтекумской свиты, обусловленной разгрузкой тектонических напряжений. Результаты исследования могут быть использованы для выдачи рекомендаций по выделению перспективных объектов доразведки для уплотняющего бурения и проведения геолого-технологических мероприятий для повышения извлекаемости остаточных запасов.

**Ключевые слова:** направление разрывных нарушений, зоны повышенной продуктивности, линеаменты, коллекторы трещинного типа, накопленная добыча, космические снимки.

**Chernenko K.I.,** Institute of Earth Sciences,  
**Yeriomina N.V.,** NCFU,  
**Tumanova Ye.Yu.** Stavropol, Russia

**Linear zones of increased oil productivity in the carbonate reservoir of the Pushkarskoye area of Zimne-Stavkinsko-Pravoberezhnoye field**

**Introduction.** The object of research is the carbonate deposit of the Neftekumsk suite of the Zimne-Stavkinsko-Pravoberezhnoye field (Pushkarskoye area), confined to the Lower Triassic deposits of the Eastern Stavropol. The purpose of the research is to increase the efficiency of oil field development based on the identification of zones of increased well productivity. To achieve this goal, the

following tasks are supposed to be solved: assessment of the influence of tectonic and geodynamic factors; identification of zones of increased productivity of wells associated with a system of fractures accompanying zones of tectonic stresses discharge.

#### Materials and methods

of research.

The materials included geological and field data on oil deposits (including well productivity), geophysical surveys of more than 200 deep wells, seismic data, satellite images of various scales, seismic-geological profiles, structural maps, isopach maps of effective oil saturated thicknesses, maps of current and cumulative recoveries and other materials of scientific and industrial enterprises. The following research methods were used: analysis, systematization and generalization of geological, geophysical and field data, the system-aerospace method, including the classical technology of interpretation of space images. The methodology developed by the authors for identifying zones of increased productivity of wells in carbonate deposits was used, taking into account satellite imagery interpretation data.

Results and discussion.

The analysis of zones of increased productivity of wells is given. It is established that these zones are predominantly linear in nature, and the linearity of the cumulative oil production does not depend on the time of putting the wells into operation. Structural factor, effective oil pay thickness, height above the contact, open porosity, oil saturation, specific oil reserves of the formation are not the determining factors of linearity. Based on the analysis of the geotectonic activity of the studied region, the influence of the geodynamic factor on well productivity was considered and it was revealed that zones of increased fracturing, which cause an increase in well productivity, are the result of tectonic stresses discharge. The established pattern of confinement of the directions of linear zones of increased fracturing is observed not only for carbonate Neftekumsk deposits, but also for terrigenous deposits in the upper part of the field cross-section.

Conclusion.

This methodology has been developed for identifying zones of increased fracturing and increased productivity of wells in the carbonate deposits of the Neftekumsk suite, due to the discharge of tectonic stresses, according to the directions of the lineaments of the day surface. The results of the research can be used to issue recommendations for identifying promising additional exploration objects for infill drilling and carrying out geological and technological measures to increase the recoverability of residual reserves.

Key words:

direction of faults, zones of increased productivity, lineaments, fractured reservoirs, cumulative production, satellite images.

## **Введение**

Разработка месторождений, приуроченных к нефтесурсной свите, ведется более 40 лет. Были детально изучены многие вопросы стратиграфии, литологии, тектоники, промышленной геологии. Это позволило накопить обширный материал как о геологическом строении региона, так и о параметрах разработки месторождений. Наиболее крупные объекты выработаны на более чем 50%. Довольно остро стоит вопрос о повышении эффективности выработки остаточных извлекаемых запасов карбонатных сложнопостроенных залежей. В условиях дороговизны традиционных методов доразведки и геолого-технических мероприятий (ГТМ) на месторождениях нефти и газа для старых нефтегазодобывающих территорий необходимо применение относительно малозатратных способов повышения эффективности доразведочных и геолого-промысловых работ. На юге России при планировании системы разработки нефтяных и газовых месторождений часто недооценивалось влияние трещиноватости на коллекторские свойства горных пород [1, 2]. Вместе с тем установлено влияние тектонического фактора на добычу углеводородов для карбонатных и терригенных коллекторов мезозойского возраста [3].

## **Материалы и методы исследований**

В качестве информационных источников использованы результаты изучения данных бурения и испытаний скважин, геолого-промысловые данные о залежах нефти (в том числе о продуктивности скважин), космоснимки видимого спектра различных масштабов и другие материалы научных и производственных организаций, а также многочисленные публикации по исследуемой проблеме.

Исследование карбонатных природных резервуаров нефтяных месторождений старых добывающих регионов с целью выявления объектов, перспективных для доразведки и проведения геолого-технологических мероприятий обычно ведется на основе традиционных подходов с использованием комплексных полевых геологических и геофизических работ [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Так, исследователями под руководством Peter Hennings (Питер Хеннингс) применяются специальные методы ГИС, в частнос-



ти, микроимиджеры (MicroImager [FMI]), которые позволяют получать параметры трещиноватости. Данная группа исследователей занимается выявлением взаимоотношений между полями напряжений, зонами разломов, трещиноватостью и продуктивностью природных трещиноватых резервуаров, приуроченных к кристаллическому и метаморфическому фундаменту, и залегающими выше терригенными и карбонатными породам. В качестве примера их исследований можно привести публикацию, посвящённую прогнозированию продуктивности газового месторождения Субан (Индонезия) [10]. Продуктивность коллектора определяется локальным напряжением, воздействующим на существующие разломы и сопряженные с ними зоны трещиноватости, что приводит к увеличению их проницаемости и миграции газов. По результатам исследования были пробурены две скважины, каждая из которых показала трех- и семикратное улучшение фильтрационного потенциала.

Классический подход является трудоёмким и связан с расходом большого количества времени и затрат. К тому же, он в большей части применяется на исследуемых объектах, но не всегда позволяет изучить геолого-промысловое строение месторождений в такой степени, чтобы хотя бы большинство эксплуатационных скважин показывали высокую продуктивность. 3D сейсмороботы, применение микроимиджеров и другие технологии классического подхода очень дороги и не рентабельны для старых нефтегазодобывающих регионов.

В истоках подхода, использованного в настоящей статье, лежат исследования М.В. Нелепова с единомышленниками [1, 2, 3, 11, 12, 13], а также примеры использования дешифрования данных дистанционного зондирования Земли и комплексной интерпретации геофизических и геохимических данных при моделировании сложнопостроенных залежей нефти и газа [14, 15]. Такой подход может рассматриваться как оптимальный, поскольку основной задачей данного научного исследования является использование доступных по затратам и времени ресурсов для выявления зон повышенной трещиноватости и, соответственно, повышенной продуктивности коллекторов.

Использованы следующие методы научных исследований: анализ, систематизация и обобщение геологических и промысло-

вых данных (в т.ч. данных гидропрослушивания скважин), системно-аэрокосмический метод, включающий классическую технологию дешифрирования и интерпретации космических снимков. Применялась методика выявления зон повышенной продуктивности скважин в залежах с учетом данных дешифрирования космических снимков.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Пробная эксплуатация залежи нефти начата в 1975 г. разведочной скважиной. Начальный дебит по нефти составил более 5 у.е. при обводненности продукции 1,3 %. Промышленное разбуривание залежи было начато в 1982 г. Всего в эксплуатации перебивало 37 скважин, в том числе 33 скважины в добыче.

Накопленная добыча нефти на одну эксплуатационную скважину составляет в среднем 31 у.е. Средняя начальная обводненность по скважинам составила 24 %, изменяясь от 0,6 % до 96 %.

Максимальный уровень добычи нефти был достигнут в 1985 г., в последующие годы, несмотря на увеличение фонда добывающих скважин, годовые отборы нефти стали резко снижаться. Это было связано с падением дебитов нефти по скважинам, так как скважины эксплуатировались фонтанным способом. При переводе скважин на механизированный способ эксплуатации дебиты нефти стали расти до 2000 г., однако к 2010 г. дебиты уменьшились в 2-3 раза. Фонд добывающих скважин на этот период – 3–4 шт.

Закачка воды в пласт с целью поддержания пластового давления производилась с перерывами до 2008 г., для этого использовались 6 скважин, которые вводились в нагнетание из бурения или переводились из добывающего фонда. Накопленная компенсация отборов жидкости закачкой составляет 180 %.

Начальное пластовое давление в залежи составляло 37,5 МПа, по состоянию на 2010 г. пластовое давление уменьшилось до 30,5 МПа. Режим залежи – упруго-водонапорный.

Особенностью разработки данной залежи нефти является равномерное распределение добывающих скважин по площади и крайне неравномерные накопленные отборы нефти. Скважины, расположенные на максимальных нефтенасыщенных толщинах, имеют на-

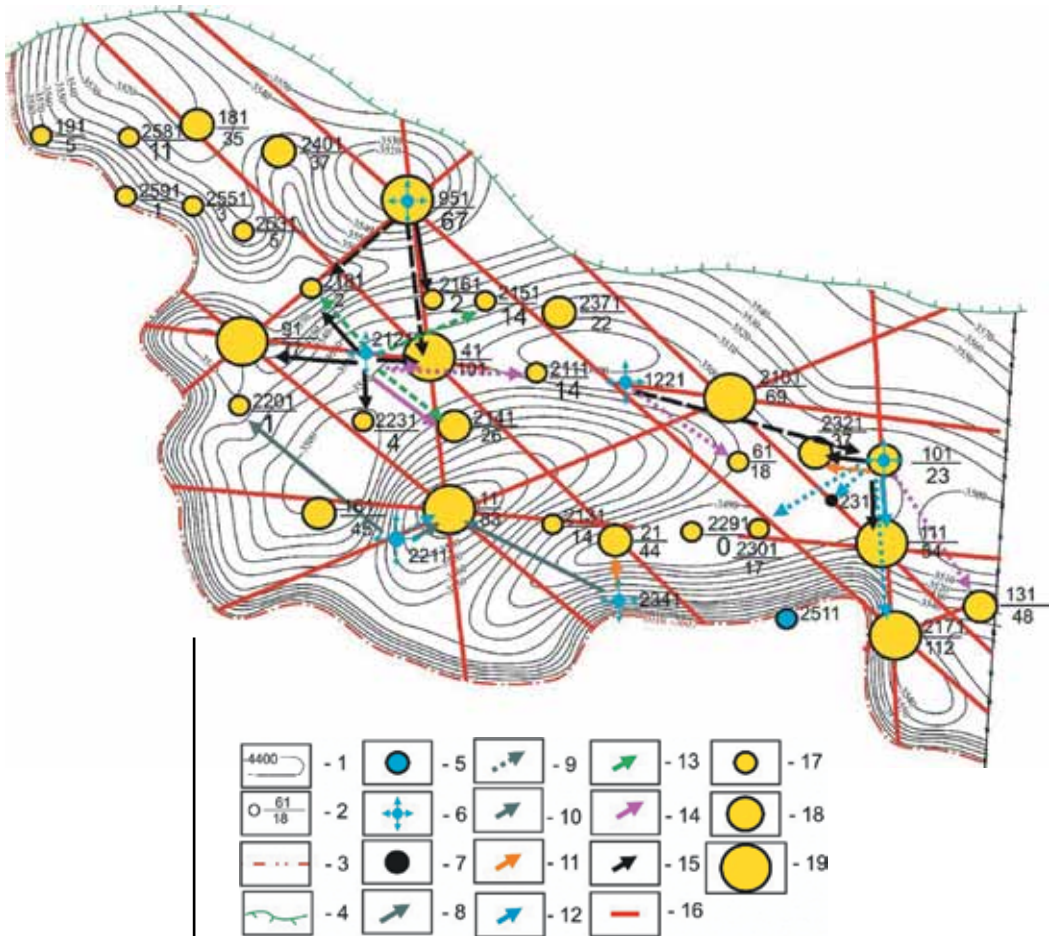
копленные отборы от 1 до 112 у.е. Всего 5 скважин отобрали 45 % всей накопленной добычи нефти, еще 8 скважин отобрали 35 % и остальные 20 скважин – оставшиеся 20 %. Все это свидетельствует о сложности геологического строения залежи, что в значительной степени осложняет ее разработку. Стандартная карта разработки дает слабое представление о распределении добычи нефти по площади. С целью большей наглядности построена схема расположения зон повышенной продуктивности (ЗПП) нефтекумских отложений изучаемой залежи (рис. 1). Накопленная добыча нефти в скважинах разделена на 3 класса: скважины с низкой добычей – менее 20 у.е., средней добычей 20–50 у.е. и высокой добычей свыше 50 у.е.

Установленные линейные зоны повышенной продуктивности имеют субмеридиональную, диагональную и субширотную направленность. Скважины с наибольшими накопленными отборами нефти находятся в узлах пересечений линейных зон (91, 951, 41, 11, 2101, 111, 2171 – здесь и далее условные номера). Вблизи установленных зон повышенной продуктивности расположены скв. 181, 2401, 161, 2141, 2371, 21, 2321, 131, которые имеют средние значения накопленной добычи нефти. Скважины, с низкими величинами накопленных дебитов нефти преимущественно находятся вдали от зон с повышенной продуктивностью. Результаты гидропрослушивания [16] показывают, что скважины с установленной гидродинамической связью, главным образом, приурочены к выделенным ЗПП.

Наблюдаемая линейность накопленной добычи нефти не зависит от времени ввода скважин в эксплуатацию, структурного фактора, эффективной нефтенасыщенной толщины, высоты над контактом, открытой пористости, нефтенасыщенности, удельных запасов пласта.

Анализ тектонических особенностей территории [17], дешифрирование космических снимков, интерпретация выявленных элементов позволяют установить, что зоны повышенной продуктивности определяются геодинамическим фактором [1, 2, 3, 11, 12, 13].

В тектоническом отношении рассматриваемый регион испытывает действие двух разнонаправленных напряжений: одного – со стороны, испытывающей воздымание в районе Главного



Кавказского хребта Альпийско-Кавказской складчатой системы, и другого – в перпендикулярном направлении – со стороны вовлеченного в поднятие Ставропольского свода. Разгрузка напряжений земной коры происходит через глубинные разломы, образующие систему блоков фундамента. Эти разломы выявлены комплексом геофизических исследований и бурением разведочных скважин. По данным аэрокосмических исследований блоки, выделенные по глубинным разломам, разбиваются на еще более мелкие, имеющие подчиненное значение и унаследованный характер в направ-

**Рис. 1.** Схема зон повышенной продуктивности с данными по гидропрослушиванию.

Условные обозначения: 1 – Изогипсы поверхности отложений биогенного карбоната накопления нефтекумской свиты нижнего триаса, м; 2 – Номер скважины/Накопленный отбор, у.е.; 3 – Линия внешнего водонефтяного контакта; 4 – Границы замещения коллекторов; 5 – Нагнетательная скважина; 6 – Возмущающая-нагнетательная скважина; 7 – Реагирующая скважина; 8 – Гидродинамическая связь есть; 9 – Гидродинамическая связь отсутствует;

Годы исследований: 10 – 1989; 11 – 1988; 12 – 1987; 13 – 1986; 14 – 1985; 15 – 1984; 16 – Зоны повышенной продуктивности; Величина накопленной добычи нефти: 17 – <20 у.е.; 18 – 20–50 у.е.; 19 – >50 у.е.

**Fig. 1.** Scheme of zones of increased productivity with interference testing data. Legends:

1 – Isohypsies of surface of deposits biogenic carbonate accumulations of the Lower Triassic Neftekums suite, m; 2 – Well number/Cumulative recovery, c.u.; 3 – Line of outer oil-water contact; 4 – Boundary of reservoirs emplacement; 5 – Injection well; 6 – Active injection well; 7 – Listening well; 8 – There IS hydrodynamic connectivity; 9 – There is NO hydrodynamic connectivity; Years of research: 10 – 1989; 11 – 1988; 12 – 1987; 13 – 1986; 14 – 1985; 15 – 1984; 16 – Zones of increased productivity; Value of cumulative oil production: 17 – <20 c.u.; 18 – 20-50 c.u.; 19 – >50 c.u.

лениях вторичных разрывных нарушений [18]. Непосредственно внутри месторождений выделяются еще более мелкие линии разрывных нарушений субмеридианального и субширотного направлений, совпадающие с зонами, приуроченными к максимальным накопленным отборам нефти. Их направления близки к направлению глубинных разломов. Впервые эти линейные зоны были обнаружены в аптском ярусе [3, 13] Величаевско-Колодезного месторождения, находящегося западнее исследуемого объекта. Авторами установлено, что наблюдаемая линейность прослеживается на

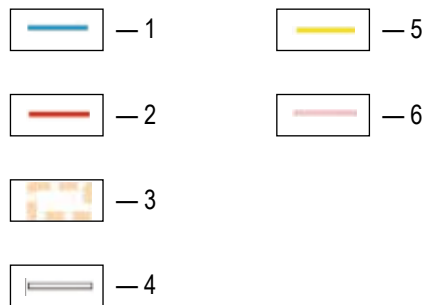


Рис. 2.

**Схема расположения линияментов района исследования. Условные обозначения: 1 – Границы горного отвода; 2 – Разрывные нарушения; 3 – Объект исследования; Линиаменты различного уровня достоверности: 4 – высокого, 5 – среднего, 6 – низкого.**

Fig. 2. Scheme of location of lineaments of the studied area.  
Legends: 1– Property line; 2 – Faults; 3 – Object of research; Liniaments of different levels of confidence: 4 – liniaments of high level of confidence; 5 – liniaments of average level of confidence; 6 – liniaments of low level of confidence

большинстве залежей нефтекумской свиты, расположенных восточнее описываемой территории.

Направленность линеаментов выявляется при дешифрировании космических снимков месторождения, к которому относится залежь Пушкарского поля (рис. 2).

Интерпретируя поле линеаментов Восточного Предкавказья (региональный план), можно выделить две их основные системы: субширотно-диагональную («кавказскую») и ортогонально-субмеридиональную («антикавказскую»). Линеаменты субширотно-диагональной системы отображают геодинамическую обстановку Кавказа, характеризующуюся активным поперечным сжатием. Выделяется ранговая иерархия тектонических полей напряжений и соответственно линеаментов. Рассматривая поле линеаментов Восточного Предкавказья с тектонодинамических позиций, можно предположить, что линеаменты субширотно-диагонального простирания отражают направления осей главных нормальных напряжений наибольшего растяжения, а ортогонально-субмеридионального – наибольшего сжатия. Разрывные нарушения, дешифрируемые на космоснимках регионального плана, преимущественно представлены линеаментами первой группы. Геолого-геофизическими методами лучше фиксируются нарушения, связанные со сжатием, а на космоснимках наиболее отчетливо выражены разрывы, отвечающие растяжению и зонам повышенной проницаемости пород осадочного чехла (зоны мезотрещиноватости) [19].

Основные закономерности поля линеаментов, выявленные на региональном плане, прослеживаются и на локальном уровне – территории Зимне-Ставкинско-Правобережного месторождения. Проведя анализ по исследуемой залежи, было замечено, что направления зон с повышенной добычей нефти близки к направлениям линеаментов и соответственно к разрывным нарушениям по палеозойскому фундаменту. Так на западной части территории проходит разрывное нарушение, имеющее меридиональное направление и простирающееся через Зимне-Ставкинское и Поварковское поля. Параллельно данному разрывному нарушению на космоснимке локального масштаба выделен линеамент меньшей протяжённости, незначительно выходящий за границу Пушкарского поля (исследуемая залежь), на-

клон которого отличается всего на несколько градусов. В восточной части исследуемого поля зафиксирован линеамент также меридиональной направленности, менее подтверждаемый по признакам дешифрирования. Также на поле выделено три линеамента диагональной и два линеамента субширотной направленности, длина которых различна. Линеаменты имеют различные уровни достоверности и некоторые из них выделяются менее уверенно по ряду причин.

Так, анализ планового соотношения глубинных разломов, разрывных нарушений и линеаментов показал [19], что далеко не всем известным или предполагаемым разрывным нарушениям на дневной поверхности соответствуют линейные элементы рельефа. Это может быть обусловлено тем, что:

- в рельефе отражаются только те нарушения, которые проявляли активность в новейшее время;
- местоположение значительного числа разломов, зафиксированных гео-лого-геофизическими методами, и само их наличие однозначно не установлено;
- линеаментам могут соответствовать бескорневые разрывные нарушения в верхних комплексах осадочных пород или нарушения типа трещин без смещения пластов по вертикали (зоны мезотрещиноватости), которые стандартными геолого-геофизическими методами практически не фиксируются;
- линеаменты могут соответствовать еще не выявленным разрывным нарушениям;
- дизъюнктивные дислокации могут иметь наклонную плоскость сбрасывателя, что приводит к плановому несоответствию разломов и линеаментов.

Перечисленные факторы указывают на то, что взаимосвязь линеаментов и разрывных нарушений не ограничивается их плановым соответствием. Поле линеаментов является результатом воздействия на дневную поверхность новейших и современных тектонодинамических полей напряжений. Трассы линеаментов совпадают с направлением осей главных нормальных напряжений.

Примечательно, что направления описанных линеаментов совпадают с направлениями, приуроченными к зонам повышенной



продуктивности. С точки зрения авторов это обусловлено формированием системы трещин, проявляющихся внутри месторождений и являющихся результатом разгрузки тектонических напряжений. Эта система трещин имеет унаследованный характер направлений глубинных разломов, образующих систему блоков фундамента и более мелких вторичных разрывных нарушений.

Учитывая генезис этих зон, становится понятна тесная корреляция зон с повышенной накопленной добычей нефти по скважинам с линеаментами дневной поверхности, прослеживанием по всему разрезу в большей или меньшей степени, проявляясь в зависимости от количества скважин, участвовавших в разработке пластов.

### **Выводы**

1. Проведенное исследование позволяет сделать вывод о влиянии глобальных тектонических процессов на локальные участки внутри исследуемого месторождения нефти, в результате которых образуются зоны повышенной трещиноватости, причем как в карбонатных, так и в терригенных коллекторах.
2. Наблюдаемую приуроченность высокодебитных скважин к линейным зонам, имеющим тектонический генезис, следует учитывать при доразведке невыработанных остаточных извлекаемых запасов нефти и планировании геолого-технических мероприятий.
3. Подобный подход целесообразно применять и на других месторождениях Восточного Ставрополя, что позволит оптимизировать систему их разработки. Для уточнения положения зон повышенной продуктивности целесообразно проводить детальный комплекс исследований, включающий палео- и современный тектонический и геодинамический анализы, сейсморазведку и другие исследования.

## **Благодарности**

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90028.**

## **Библиографический список**

1. Моллаев З.Х., Нелепов М.В. Поиски залежей УВ Восточного Ставрополя на основе концепции блокового строения осадочного чехла // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2004. № 7. С. 21–22.
2. Neleпов M., Gridin R., Lutsenko O., Sterlenko Z., Tumanova Ye., Yeriomina N., Chernenko K., Gridin V. Fracture modeling of carbonate reservoirs of Low Triassic Neftekumsk formation of hydrocarbon field in Petrel software // EMMFT-2020: E3S Web of Conferences, 2021. 244. 03020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124403020>.
3. Нелепов М.В. Линейные структуры в накопленной добыче нефти Величаевско-Колодезного месторождения Ставропольского края // Нефтяное хозяйство, 2015. № 9. С. 96–97.
4. Лебединец Н.П. Изучение и разработка нефтяных месторождений с трещиноватыми коллекторами. М.: Наука, 1997. 396 с.
5. Багринцева К.И. Карбонатные породы – коллекторы нефти и газа. М.: Недра, 1977. 231 с.
6. Методические рекомендации по выделению и оценке сложных карбонатных коллекторов в нижнетриасовых и палеозойских отложениях Ставропольского края, Южного Мангышлака методами промысловой геофизики (РД 39-4-544-81). Грозный: СКТБ ПГ, 1981. 120 с.
7. Нечай А.М. Изучение трещинных коллекторов методами промысловой геофизики // Разведочная геофизика, 1969. № 36. С. 111–126.
8. Копылов Н.Т., Туртуков Г.Я., Савельева Л.М. Методика разведки залежей нефти в отложениях переходного комплекса Восточного Предкавказья // Перспективы нефтегазоносности переходного комплекса молодых платформ. 1985. С. 123–137.
9. Стасенков В.В., Летавин А.И., Копылов Н.Т., Савельева Л.М., Шарафутдинов Ф.Г., Мирзоев Д.А. Перспективы поисков литолого-стратиграфических залежей нефти и газа в пермо-триасовых залежах Восточного Предкавказья // Геология нефти и газа. 1983. № 5. С. 23–27.
10. Henning P., Allwardt P., Paul P., Zahm Ch., Reid R., Alley

- H., Kirschner R., Lee B., Hough E. Relationship between fractures, fault zones, stress, and reservoir productivity in the Suban gas field, Sumatra, Indonesia // AAPG Bulletin. 2012. 96. P. 753-772. DOI:10.1306/08161109084.
11. Нелепов М.В., Томашев Д.В., Папоротная А.А. Оценка влияния трещиноватости коллекторов на эффективность проведения геолого-технических мероприятий в продуктивных отложениях Восточного Ставрополя // Нефтепромысловое Дело. 2019. №7(607). С. 28–33. DOI: 10.30713/0207-2351-2019-7(607)-28-32.
  12. Нелепов С.В., Ильченко П.В., Нелепов М.В. Анализ степени влияния геологических факторов на величину накопленной добычи углеводородов // Газовая промышленность. 2015. № 3. С. 19–22.
  13. Черненко К.И., Нелепов М.В., Ерёмина Н.В. Построение цифровой геологической модели нефтяной залежи в условиях дефицита информации о параметрах трещиноватости с применением данных дешифрирования // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2021. №8 (116). С. 36–40.
  14. Горбачев С.В., Сырямкин В.И. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа многомерной информации. Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет. 2014. С. 276–337.
  15. Харченко В.М., Лапта Д.В., Неркарарян А.Е. Комплексные дистанционные и геофизические методы поисков залежей углеводородов (территория Центрального Предкавказья) // Наука. Инновации. Технологии. 2019. №4. С. 33–48.
  16. Томашев Д.В. Строение природного резервуара нефти в нижнетриасовых отложениях (нефтекумская свита) Восточного Ставрополя по данным гидродинамических исследований // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета, 2012. №3 (32). С. 96–100.
  17. Летавин А.И., Орел С.М., Чернышев и др. Тектоника и нефтегазоносность Северного Кавказа. М.: Наука, 1987. 94 с.
  18. Корчуганова Н.И., Корсаков А.К. Дистанционные методы геологического картирования: учебник. М.: КДУ, 2009. 288 с.
  19. Голованов М.П., Дроздов В.В. Опыт линейного анализа в Предкавказье // Космическая информация при поисках, разведке и эксплуатации газовых месторождений: результаты и перспективы использования. М.: Труды ВНИИГАЗА, 1987. С. 61–68.

## References

1. Mollaev Z.Kh., Nelepov M.V. Search for hydrocarbon deposits in the Eastern Stavropol based on the concept of the block structure of the sedimentary cover // *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*. M.: JSC «VNIIO-ENG», 2004. No. 7. P. 21–22.
2. Nelepov M., Gridin R., Lutsenko O., Sterlenko Z., Tumanova Ye., Yeriomina N., Chernenko K., Gridin V. Fracture modeling of carbonate reservoirs of Low Triassic Neftekumsk formation of hydrocarbon field in Petrel software // *EMMFT-2020: E3S Web of Conferences*, 2021. 244. 03020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124403020>.
3. Nelepov M.V. Linear structures in the saved-up oil production of the Velichayevsko-Kolodeznoye field of Stavropol region // *Neftyanoe khozyaystvo*, 2015. №. 9 (1104). P. 96–97.
4. Lebedinets N.P. Study and development of oil fields with fractured reservoirs. M.: Science, 1997. 396 p.
5. Bagrintseva K.I. Carbonate rocks – oil-and-gas reservoirs. M.: Nedra, 1977. 231 p.
6. Guidelines for the identification and evaluation of complex carbonate reservoirs in the Lower Triassic and Paleozoic deposits of the Stavropol Territory, South Mangyshlak using the methods of field geophysics (RD 39-4-544-81). Grozny: SKTB PG, 1981. 120 p.
7. Nechay A.M. Study of fractured reservoirs using field geophysics methods // *Exploration geophysics*. 1969. No. 36. P. 111–126.
8. Kopylov N.T., Turtukov G.Ya., Savelyeva L.M. Methodology for exploration of oil deposits in the sediments of the transitional complex of the Eastern Fore-Caucasus // *Prospects for the oil-and-gas content of the transitional complex of young platforms*. 1985. P. 123–137.
9. Stasenkov V.V., Letavin A.I., Kopylov N.T., Savelyeva L.M., Sharafutdinov F.G., Mirzoev D.A. Prospects for the search for lithological-stratigraphic deposits of oil and gas in the Permian-Triassic deposits of the Eastern Fore-Caucasus // *Geology of oil and gas*, 1983. No. 5. P. 23–27.
10. Henning P., Allwardt P., Paul P., Zahm Ch., Reid R., Alley H., Kirschner R., Lee B., Hough E. Relationship between fractures, fault zones, stress, and reservoir productivity in the Suban gas field, Sumatra, Indonesia // *AAPG Bulletin*, 2012. 96. P. 753-772. DOI:10.1306/08161109084.

11. Nelepov M.V., Tomashev D.V., Paporotnaya A.A. Impact of the natural fractures studies on the oil fields production efficiency program for Eastern Stavropol region // *Neftepromislovoe Delo*, 2019. No. 7(607). P. 28–33. DOI: 10.30713/0207-2351-2019-7(607)-28-32.
12. Nelepov S.V., Ilchenko P.V., Nelepov M.V. Analysis of the degree of influence of geological factors on the amount of accumulated hydrocarbon production // *Gas industry*, 2015. №. 3. P. 19–22.
13. Chernenko K.I., Nelepov M.V., Eremina N.V. Construction of a digital geological model of an oil deposit in the conditions of a lack of information about the parameters of fracturing using interpretation data // *Magazine Neftegaz.RU*, 2021. №. 8 (116). P. 36–40.
14. Gorbachev S.V., Syryamkin V.I. Neuro-fuzzy methods in intelligent systems of processing and analysis of multidimensional information. Tomsk: Tomsk State University. 2014. P. 276–337.
15. Kharchenko V.M., Lapta D.V., Nerkararyan A.E. Integrated Remote and Geophysical Methods for Searching Deposits of Hydrocarbons (Territory of the Central Caucasus) // *Science. Innovation. Technologies*, 2019. No. 4. P. 33–48.
16. Tomashev D.V. The structure of the natural oil reservoir in the Lower Triassic deposits (Neftekumsk suite) of the Eastern Stavropol region according to hydrodynamic studies // *Bulletin of the North-Caucasus State Technical University*, 2012. №. 3 (32). P. 96–100.
17. Letavin A.I., Orel S.M., Chernyshev et al. Tectonics and oil-and-gas potential of the North Caucasus. Moscow: Science, 1987. 94 p.
18. Korchuganova N.I., Korsakov A.K. Distant methods of geological mapping: textbook. Moscow: KDU, 2009. 288 p.
19. Golovanov M.P., Drozdov V.V. Experience of lineament analysis in Ciscaucasia // *Space information when searching, exploration and operation of gas fields: results and prospects of using*. Moscow: Proceedings of VNIIGAZ, 1987. P. 61–68.

**Поступило в редакцию 05.08.2022,  
принята к публикации 10.09.2022.**

**Об авторах**

- Черненко** Катерина Игоревна, старший преподаватель кафедры геологии нефти и газа Института Наук о земле ФГАОУ ВО СКФУ. Scopus ID: 57216909166. Researcher ID: AEA-6877-2022. ORCID: 0000-0003-1884-2313.  
Телефон: +7 (918) 880-20-80.  
E-mail: kchernenko@ncfu.ru kabiso@rambler.ru
- Еремина** Наталья Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии нефти и газа Института наук о земле ФГАОУ ВО СКФУ.  
Scopus ID: 57216908112. Researcher ID: FFL-9679-2022.  
ORCID: 0000-0001-5869-2749. Телефон: +7(905)462-93-76.  
E-mail: nveremina@ncfu.ru yeriominasai@mail.ru.
- Туманова** Елена Юрьевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, зав. кафедрой геологии нефти и газа Института наук о земле ФГАОУ ВО СКФУ.  
Scopus ID: 57216909521. Researcher ID: GOV-4268-2022.  
ORCID: 0000-0002-1525-1625.  
Телефон: +7(962)-740-31-55. E-mail: etumanova@ncfu.ru.

**About the authors**

- Chernenko** Katerina Igorevna, Senior lecturer of Chair of Geology of Oil and Gas, Institute of Earth Sciences, NCFU. Scopus ID: 57216909166.  
Researcher ID: AEA-6877-2022.  
ORCID 0000-0003-1884-2313.  
Phone: +7 (918) 880-20-80.  
E-mail: kchernenko@ncfu.ru kabiso@rambler.ru
- Yeriomina** Natalia Vladimirovna, Candidate of Geologic-Mineralogical Sciences, associate professor of Chair of geology of oil and gas, Institute of Earth Sciences, NCFU.  
Scopus ID: 57216908112. Researcher ID: FFL-9679-2022.  
ORCID: 0000-0001-5869-2749.  
Phone: +7 (905) 462-93-76.  
E-mail: nveremina@ncfu.ru yeriominasai@mail.ru.
- Tumanova** Yelena Yurievna, Candidate of Geologic-Mineralogical Sciences, associate professor, Head of Chair of Geology of Oil and Gas, Institute of Earth Sciences, NCFU. Scopus ID: 57216909521. Researcher ID: GOV-4268-2022. ORCID: 0000-0002-1525-1625. Phone: +7 (962) 740-31-55.  
E-mail: etumanova@ncfu.ru.

25.00.15 (2.8.2)

**ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН  
РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ  
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**25.00.17 (2.8.4)  
УДК 622.276.344**РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ****Сайфуллин А.А.**

ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень, Россия

**РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОГО  
ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ СКВАЖИНЫ**

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.3.3

Введение.

Все больше разрабатываемых на сегодняшний день месторождений относятся к категории ТРИЗ, величина коэффициента извлечения нефти которых напрямую зависит от качества проводки горизонтальной скважины по геологическому разрезу. В статье описывается подход, позволяющий планировать наиболее эффективные траектории скважин с точки зрения накопленной добычи нефти на рассматриваемый период. Также приводится преимущества разработанного подхода над существующими инструментами и отмечаются точки роста.

Материалы и методы  
исследования.

В статье приводится анализ влияния конкретных геологических параметров на накопленную добычу, используя выводы, полученные на данном этапе, построена целевая функция, позволяющая ранжировать траектории на качественном уровне с точки зрения перспективности. Данная логика отражена в разработанном прототипе программного обеспечения, который можно использовать совместно с наиболее распространенными гидродинамическими симуляторами.

Результаты исследований  
и их обсуждение.

В качестве доказательной базы проведен ретроспективный анализ с перепроверкой фактических скважин в гидродинамической модели и учетом изменения геологической основы. В каждом из расчетов получен эффект дополнительной добычи нефти, при неизменных уровнях добычи жидкости. Таким образом, можно сделать вывод об увеличении коэффициента охвата и вовлечении в разработку ранее не связанных объемов нефти.

Выводы.

Анализ полученных результатов показал о возможности применения данной методики на проектный фонд скважин, а также возможность тиражирования на другие объекты разработки.

Ключевые слова:

Аналитический инструмент, определение положения ствола скважины, многовариантные расчеты, разработка месторождений, гидродинамические расчеты.

**Sayfullin A.A.** Tyumen Oil Research Center, Tyumen, Russia

## **Analytical Tool Development for Deremining the Optimal well Trajectory**

- Introduction.** More and more oil fields being developed today belong to the hard to recover category, the value of the oil recovery coefficient of which directly depends on the quality of the horizontal well placement along the geological section. This article describes an approach that allows planning the most effective well trajectories in terms of cumulated oil production for the period under consideration. The advantages of the developed approach over existing tools are also given.
- Materials and methods of research.** The article provides an analysis of the geological parameters influence on the cumulated production, using the conclusions obtained at this stage, an objective function is constructed that allows ranking trajectories at a qualitative level in terms of prospects. This logic is reflected in the developed software prototype, which can be used in conjunction with the most common hydrodynamic simulators.
- Research results and their discussion.** As an evidence base, a retrospective analysis was carried out with actual wells replacement and taking into account changes in the geological basis. In each of the calculations, the effect of additional oil production was obtained, with unchanged liquid production levels. Thus, it can be concluded that the coverage coefficient is increasing and previously unrelated volumes of oil are involved in the development.
- Conclusions.** The analysis of the results showed the possibility of applying this technique to the all wells, as well as the possibility of replication to other development facilities.
- Key words:** Analytical tool, determination of the wellbore position, multivariate calculations, oil field development, simulation model.

### **Введение**

Современная тенденция добычи нефти направлена на вовлечение в разработку активов, которые характеризуются как трудно извлекаемые. Высокая расчлененность коллекторов, связанная с обстановкой осадконакопления, близость контактов, малая мощность нефтеносности, латеральная невыдержанность – данные факторы существенно усложняют добычу углеводородов. При планировании и мониторинге разработки встает вопрос о достижении планового коэффициента извлечения нефти путем увеличения коэффициента охвата [1, 9, 10]. Данный процесс требует высокой ква-



лификации специалиста по сопровождению бурения, использования современного программного обеспечения и больших трудозатрат. Однако, даже при соблюдении всех вышеперечисленных условий, принятые проектные решения не всегда являются оптимальными с точки зрения разработки, ввиду высокой вероятности технических ошибок, а также невозможности перебора всех вариантов при многовариантных расчетах (на сегодняшний день основной инструмент подкрепляющий принятие решений) [2, 3].

Автором статьи разработан инструмент, позволяющий с высокой точностью и скоростью определять оптимальную проводку горизонтальной скважины по геологической сетке, при этом учитывать буримость предложенной траектории и обеспечивать максимизацию накопленной добычи нефти за рентабельный период. В основе инструмента лежит алгоритм, использующий выведенные статистические зависимости, теорию графов и представлен в виде прототипа программного обеспечения, которое протестировано при совместном использовании с гидродинамическим симулятором.

Методика опробована на нескольких месторождениях Российской Федерации, как в Западной и Восточной Сибири, так и на Дальнем Востоке. Первоначально проведен ретроспективный анализ с доказательной базой алгоритма, после чего было проведено опробование на проектных решениях. В каждом из расчетов разработанная методика показывала увеличение накопленной добычи на скважину от 10 до 20%, а также быстрое действие более чем в 1500 раз в сравнении с текущими используемыми методиками.

### **Материалы и методы исследования**

На сегодняшний день выбор траектории скважины происходит экспертным путем с ориентацией на рассчитанные запускные дебиты в рейтинге бурения и с применением инструмента МВР (многовариантные расчеты) [3]. Данная методика получила повсеместное и широкое применение во многих компаниях. Однако, принятый подход обладает рядом недостатков. В таблице 1 ниже представлена сравнительная характеристика принятого и предлагаемого подходов [6–8].

Таблица 1. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДХОДОВ  
Table. 1 Comparative characteristics of approaches

Существующий подход	Существующий подход	Предлагаемый подход
Учет распространения тел	–	+
Учет технологических ограничения	–	+
Оперативность расчетов	–	+
Малые трудозатраты	–	+
Исключение многовариантных расчетов	–	+
Большие вычислительные мощности	–	+
Предсказуемость	–	+
Учет азимутального угла	+	+
Количественная оценка	+	–
Учет интерференции скважин	+	–

К основным недостаткам существующего подхода относятся:

- 1) Сложность или невозможность учета распространения геологических тел по латерали, данный аспект

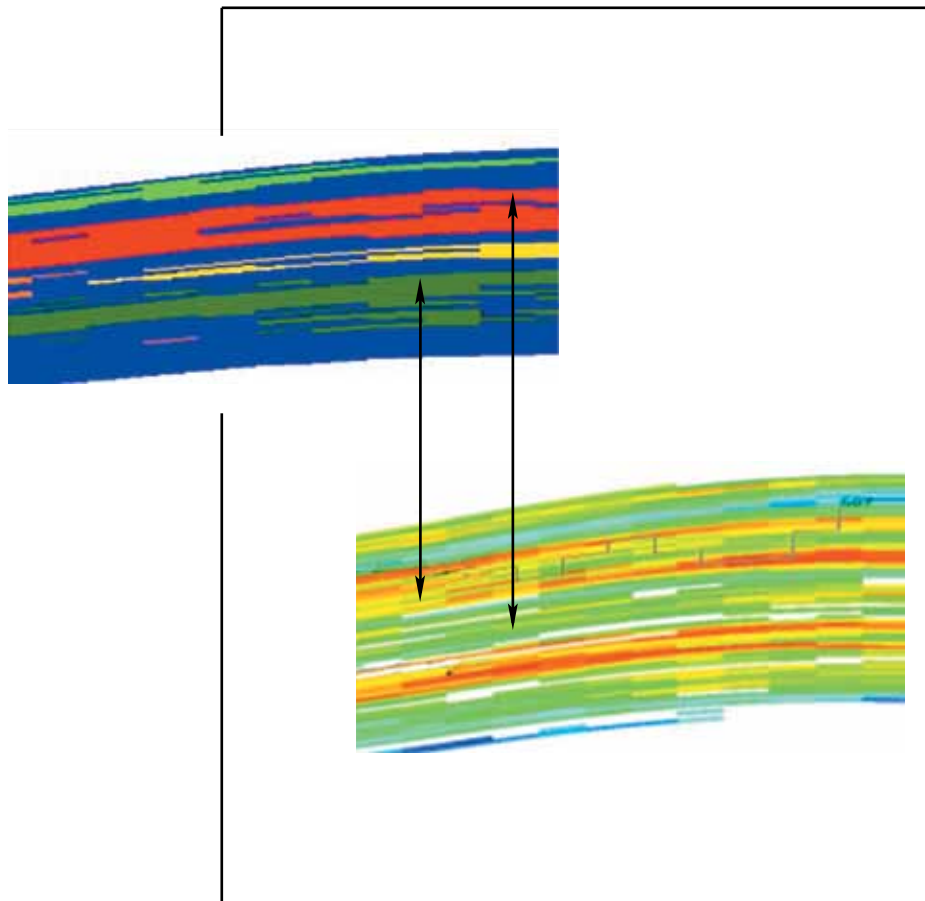
не всегда возможно учесть при проводке скважины в модели экспертным путем.

- 2) Проведение многовариантных расчетов требует больших трудозатрат для подготовки и обработки результатов расчета. Также необходимы значительные вычислительные мощности и достаточное количество времени для проведения расчета. Что не всегда является возможным в рамках задач по сопровождению бурения и необходимости оперативного принятия решения.

Предлагаемый же инструмент частично позволяет решить данные проблемы, алгоритм проводит все возможные траектории скважин на рассматриваемом участке моделирования с учетом технологических возможностей бурения (например, угол кривления горизонтального участка скважины на 100 м) [5], применяет к каждой из них целевую функцию, которая выведена автором, и ранжирует траектории в порядке их перспективности на потенциальную накопленную добычу в рентабельный период разработки без произведения гидродинамического расчета. Таким образом получается аналитическая оценка с определением некоторых траекторий скважин из всего возможного набора для проведения гидродинамического расчета только для них.

Основным подходом при разработке алгоритма была постановка и решение обратной задачи. А именно: какие параметры в геолого-гидродинамической модели имеют наибольший вклад в величину коэффициента охвата и накопленную добычу нефти [1].

В качестве объектов для тестирования были выбраны несколько объектов разработки в рамках одного месторождения, находящегося в Восточной Сибири. Месторождение характеризуется высокими значениями проницаемости до 1Д, малой мощностью нефтенасыщенных толщин, невыдержанностью коллектора по латерали и высокой неоднородностью, которая связана с обстановкой осадконакопления, определенная как меандрирующие реки, тела коллекторы – бары, русловые отложения [9, 11]. Месторождение введено в пробную эксплуатацию в 2017 году, несмотря на то, что отсутст-



**Рис. 1.** Геологический разрез.  
**Fig. 1.** Cross-section.

вует достаточная история разработки, некоторые тренды динамики уже понятны: ввиду обширных газовых шапок и близости водонефтяного контакта, происходит стремительный рост газового фактора и обводненности.

Для месторождений подобного типа основным видом геолого-технических мероприятий является ввод новых скважин. Таким образом вопрос размещения фонда скважин является ключевым и острым.

На имеющийся геолого-гидродинамической модели определен участок, отражающий основные концептуальные особенности объекта разработки и проведен многовариантный расчет с вариацией траектории скважины по геологическому разрезу. Количество расчетов равно 2500, по каждому стволу скважины собрана накопленная статистика по вскрытым ячейкам. Данная статистика необходима для определения каким образом каждый геологический параметр повлиял на накопленную добычу нефти. Ниже на рисунке 1 представлен геологический разрез по проницаемости и кубу связанных тел.

Необходимо отметить, что выделяется 2 тела (Тело №1 и Тело №2) из пяти, выделенных различными цветами, которые обладают наилучшими коллекторскими свойствам и размерами. Для определения потенциала связанных тел с точки зрения разработки построена относительная статистика величины запасов (СТОИР) и значения проводимости ( $kh$ ) (рис. 2), а также построено облако распределения результатов расчета (рис. 3).

Рисунок 3 демонстрирует, что все расчеты разбились на три облака точек, которые характеризуются вскрытием пласта:

- 1) Совместное вскрытие Тела №1 и №2 способствует максимальной накопленной добычи нефти за рассматриваемый период, который в рамках данной задачи предполагался как среднесрочный и был принят 20 годам.
- 2) При самостоятельном вскрытии Тела №1 отмечается значительное снижение накопленной добычи нефти.
- 3) Минимальная же добыча нефти наблюдается при проводке скважины только по Телу №2.

Таким образом проведенный анализ показал, необходимость ранжирования связанных тел по их коллекторскому потенциалу для определения наиболее перспективных зон для бурения в них скважины. Также стоит отметить, что для максимизации накопленной добычи нефти не всегда необходимо максимизировать накопленную величину проницаемости по стволу.

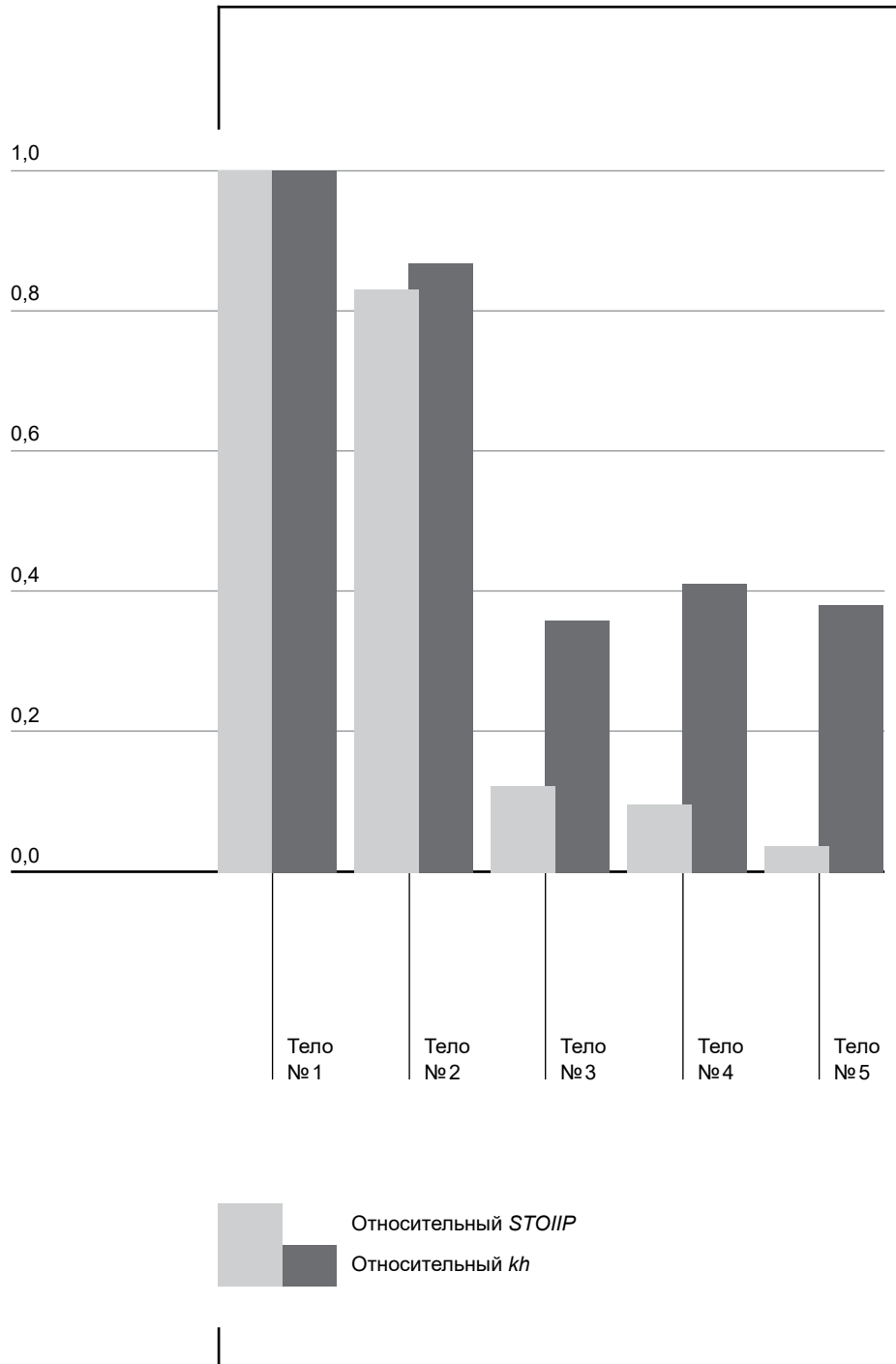


Рис. 2.

Коллекторский потенциал.

Fig. 2. Reservoir potential.

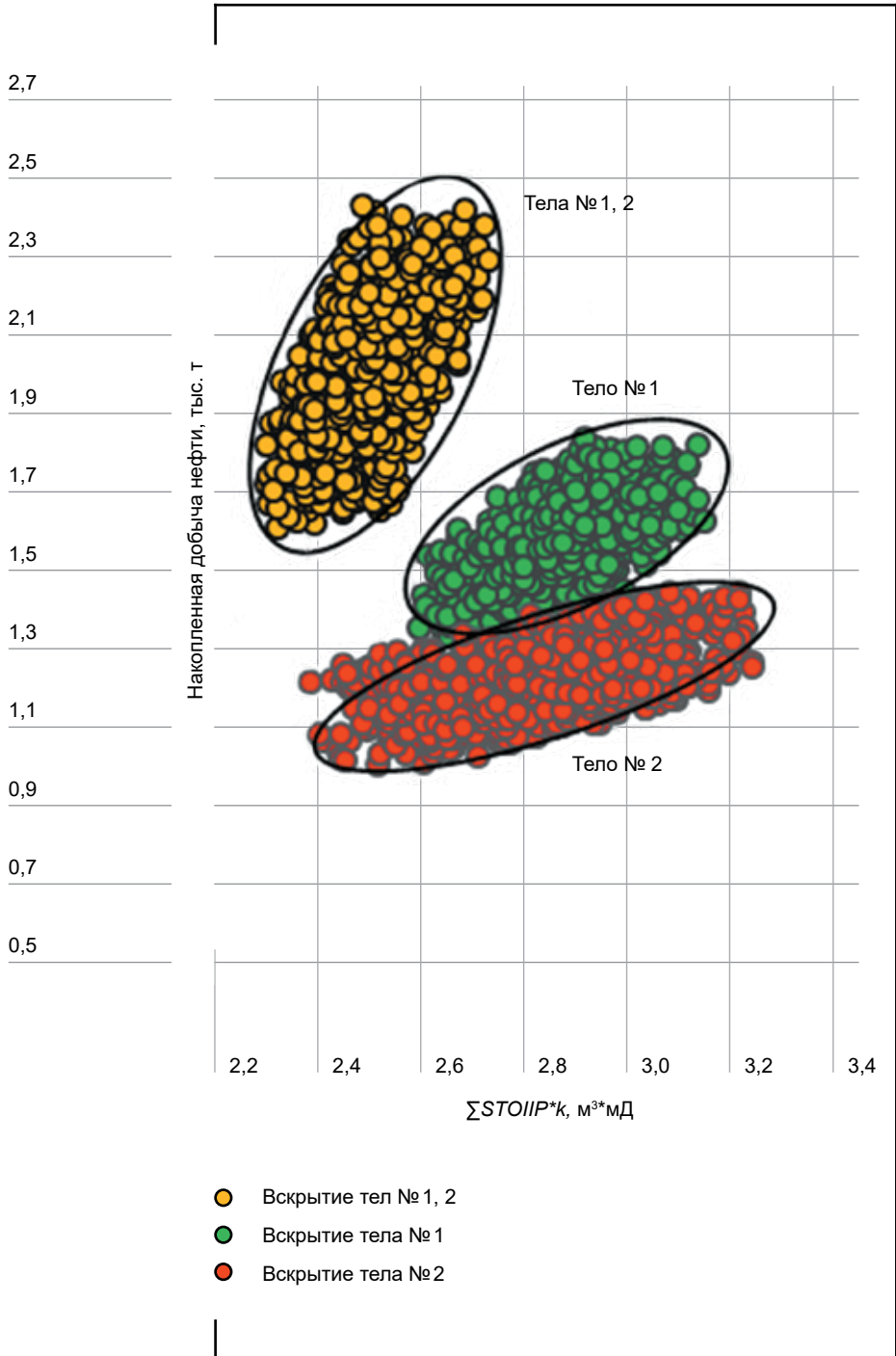
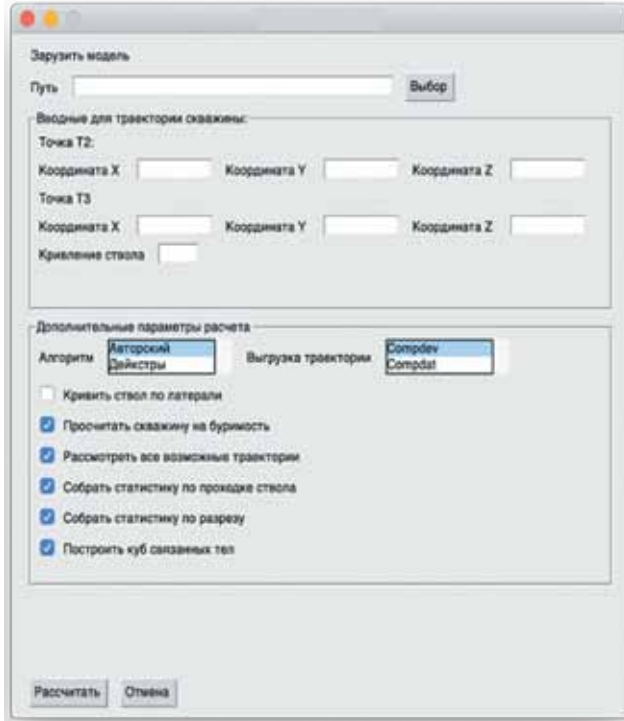


Рис. 3.

Облако накопленной добычи нефти.

Fig. 3. Cumulated oil production distribution.



**Рис. 4.** Интерфейс прототипа ПО.  
Fig. 4. Software GUI.

Данная логика отражена в разработанной целевой функции, которая заложена в прототип ПО.

$$\psi = \sum_{n=1}^N [\gamma_n (kh \times S_{oil})_n + \mu_n STOIP_n] \times \frac{L_n}{2L} \rightarrow 1,$$

где:  $-N$  – количество связанных тел на рассматриваемой к бурению цели;



- $\gamma_n (kh \times S_{oil})_n$  – относительная величина  $kh \times Soil$  по рассматриваемому связанному телу;
- $\mu_n STOIP_n$  – относительная величина извлекаемых запасов по рассматриваемому связанному телу;
- $l_n$  – проходка ствола скважины по рассматриваемому связанному телу;
- $L$  – проектная длина горизонтального участка скважины.

Алгоритм можно обобщить следующими ключевыми шагами:

- 1) Запуск прототипа ПО, выбор гидродинамической модели, ниже на рисунке 4 представлен интерфейс, в котором пользователь выбирает модель, вводит координаты Т2 и Т3, угол кривления ствола скважины. А также дополнительные параметры выгрузки данных.
- 2) Далее происходит инициализация модели считывание во входные данные алгоритма всех необходимых кубов свойств и построение всевозможных траекторий скважины. При построении геологическая сетка скважины представляется алгоритмом как связанный граф с вершинами графа в виде самих ячеек, наличие ребра между вершинами определяется возможностью бурения из одной ячейки в другую с учетом ранее введенного угла кривления [4, 12–14].
- 3) Следующий шаг – построение куба связанных тел и расчет относительной статистики по выделенным телам.
- 4) После производится построение всех возможных траекторий с применением целевой функции со следующим ранжированием траекторий по их перспективности.
- 5) Заключительный шаг – выгрузка data-файлов и составление отчета о работе программы.

### Результаты исследования и их обсуждения

Продолжением работы после получения зависимостей и реализации алгоритма была выполнена серия расчётов на разных месторождениях и объектах разработки с целью доказательства корректной работы методики. В данной статье будут рассмотрены три варианта расчетов:

- 1) ретроспективный анализ,
- 2) проектное решение,
- 3) сопоставление с многовариантными расчетами.

Рассмотрим ретроспективный анализ. В 2018 году на месторождении РФ был рассмотрен кандидат на уплотняющее бурение [15]. Используя геологическую модель ревизии 18 (Rev18) проведены расчеты и обоснование траектории скважин. По окончании бурения и обновлении геологической основы на факт бурения (Rev21), выяснилось, что свойства коллектора оказались хуже, что привело к меньшим запускным дебитам и меньшим уровням добычи. В анализе использовались обе геолого-гидродинамические модели для оценки профиля в случае бурения траектории, рассчитанной алгоритмом. Ниже в таблице 2 представлены описание расчетов.

Также на рисунках 4 и 5 ниже представлены разрезы по кубу  $kh \cdot Soil$  (Rev18) и кубу разниц  $kh \cdot Soil$  (Rev21–Rev18). Черным цветом представлена траектория, построенная алгоритмом, фиолетовым – фактическая.

Далее на рисунках 7 и 8 и таблице 3 и 4 приведены результаты расчетов.

Таблица 2. ОПИСАНИЕ РАСЧЕТОВ  
Table 2. Calculations description

Траектория / Гео-основа	Факт	Алгоритм
Rev18	Case1	Case3
Rev21	Case2	Case4

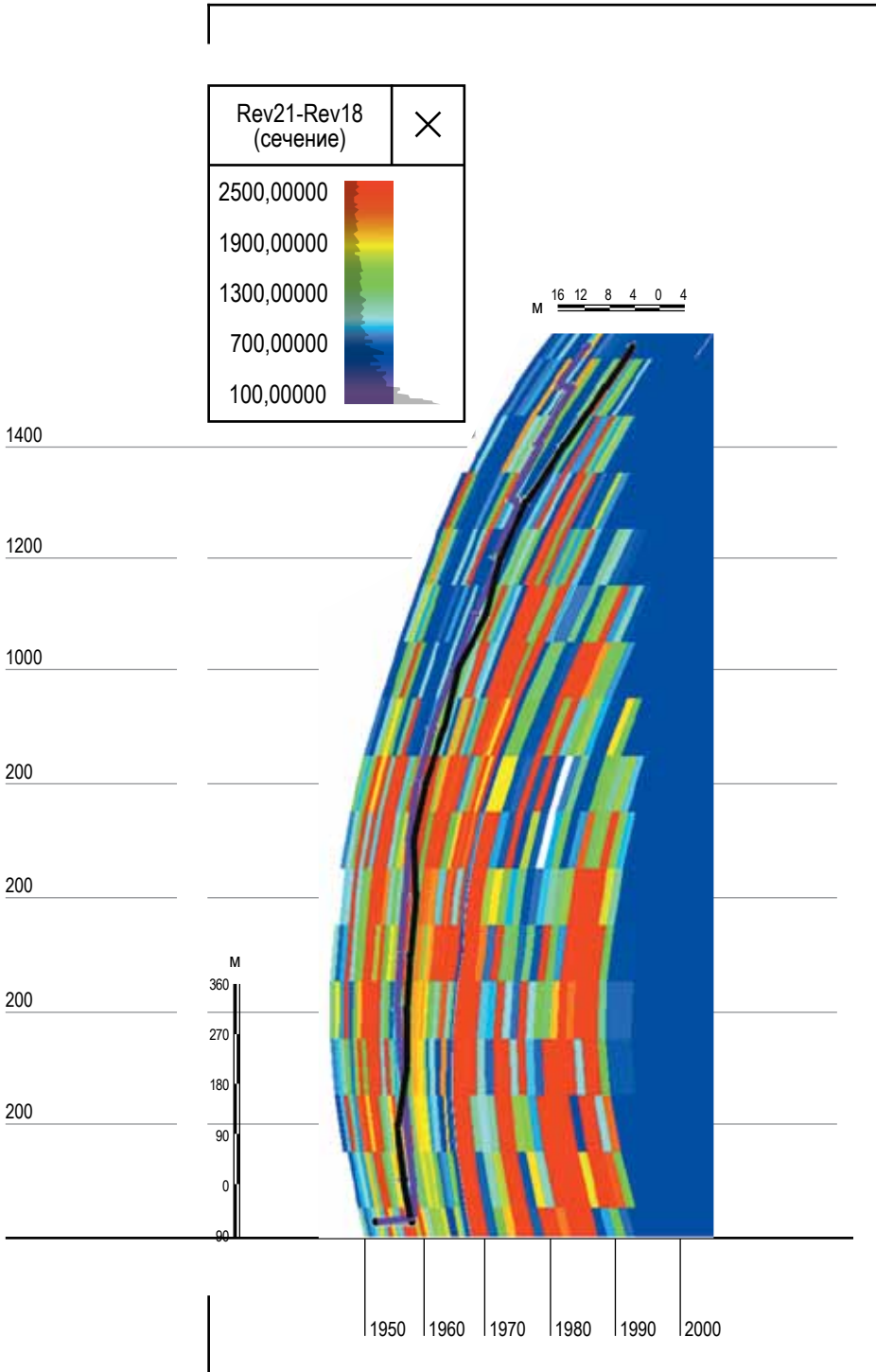


Рис. 5.

Rev18 карта kh\*Soil.

Fig. 5. Rev18 kh\*Soil map.

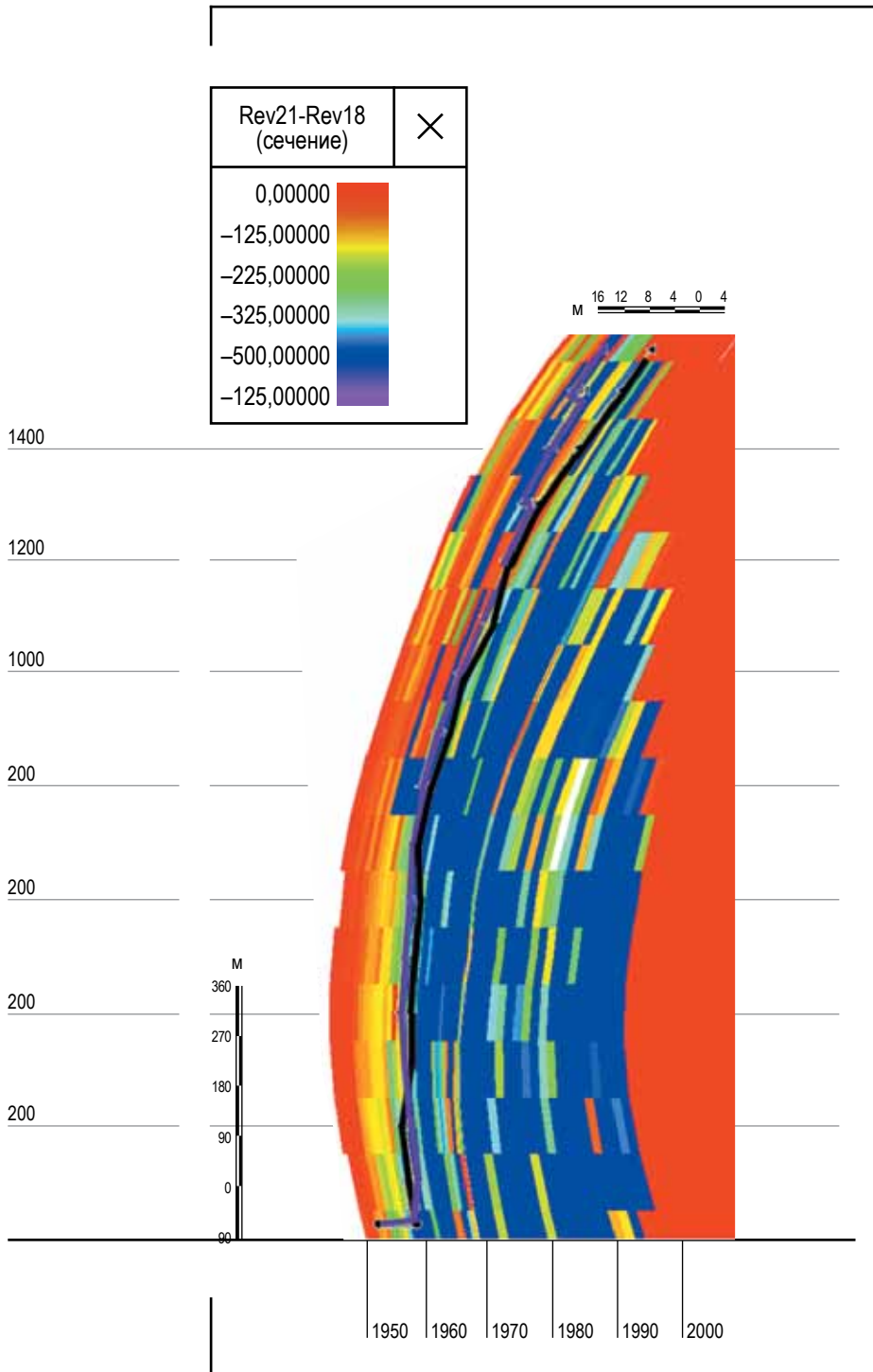
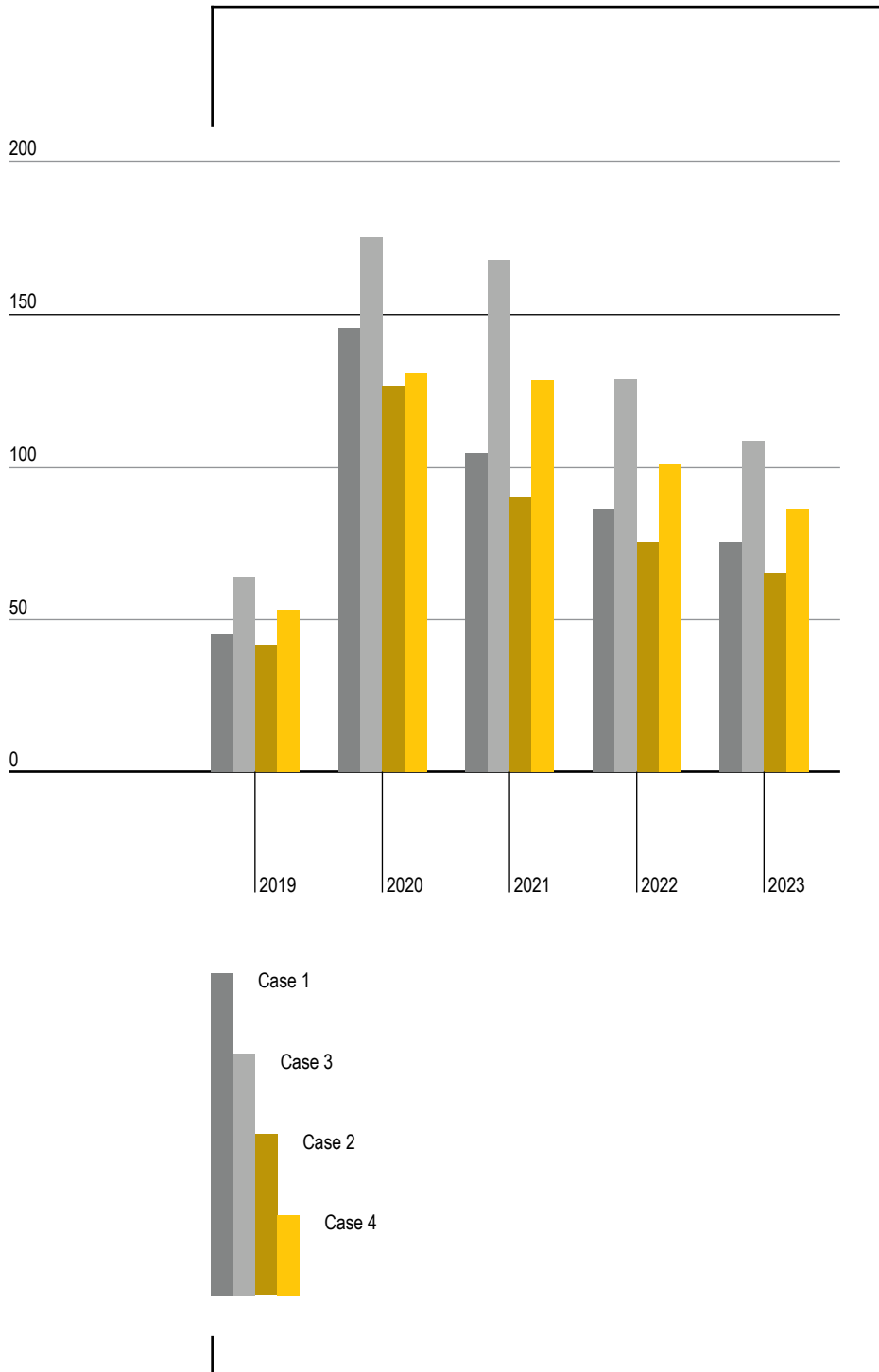


Рис. 6.

Rev21-Rev18 карта kh\*Soil.

Fig. 6. Rev21-Rev 18 kh\*Soil map.



**Рис. 7.**

**Добыча нефти тыс. тонн.**

Fig. 7. Oil production thousand tons.

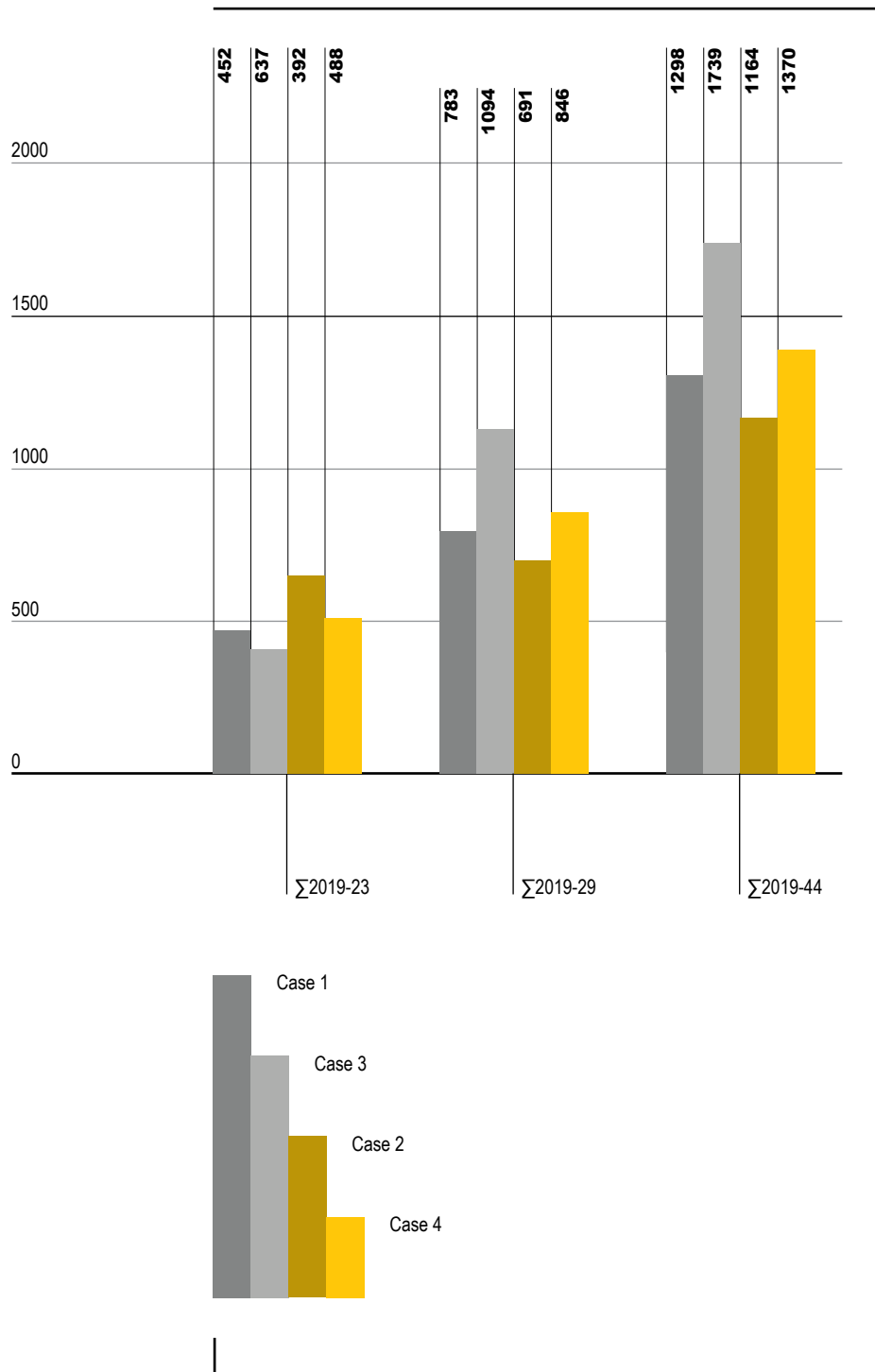


Рис. 8.

Накопленная добыча нефти, тыс. тонн.

Fig. 8. Cum. oil production thousand tons.

Таблица 3. СОПОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТОВ  
Table 3. Calculations comparison

Добыча нефти, тыс. тонн	2019	2020	2021	2022	2023	∑ 2019 2023	∑ 2019 2029	∑ 2019 2044
Case3-Case1	17	29	62	43	34	185	311	411
Case4-Case1	9	3	39	26	19	96	155	206

Таблица 4. ОТНОСИТЕЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА  
Table 4. Relative comparison of calculation results

Период / Геология	∑19-23	∑19-29	∑19-44
Rev18	+41%	+40%	+34%
Rev21	+25%	+22%	+18%

Из графиков видно, что уровни добычи нефти при построении траектории скважины с помощью алгоритма выше как в варианте расчета на геологической основе Rev18, так и на обновленной модели на факт бурения Rev21. Также необходимо отметить факт, что в случае бурения скважины по траектории, построенной алгоритмом, удалось бы избежать невыполнения уровней. Таким образом можно говорить о работоспособности методики. Она опробована на ряде скважин со схожей ситуацией, в каждом из вычислительных экспериментов доказана ее эффективность.

В результате проведения вычислительного эксперимента можно отметить увеличение накопленной добычи нефти на 18% в пе-

Таблица 5. СОПОСТАВЛЕНИЕ ДОБЫЧИ  
Table 5. Oil production comparison

Добыча нефти, тыс. тонн	2021	2022	2023	2024	2025	Σ 2021 2025	Σ 2021 2030	Σ 2021 2040
Алгоритм	11	86	62	50	41	251	393	494
Решение	8	65	51	44	37	205	332	447
Δ	3	21	11	6	4	45	61	47

риод полного планирования и 25% в период бизнес планирования. Опираясь на данные результаты, можно говорить о тиражировании методологии и ее применимости на проектные решения. Следующий пример результатов – сопоставление расчетов проектной скважины, построенной алгоритмом и утвержденной существующими способами. Также, как и в предыдущем примере рассматривается кандидат на уплотняющее бурение. Предположим, что условный запуск скважины в 2021 году, рассматривается среднесрочный вариант планирования на 20 лет. Геологический разрез месторождения характеризуется высокими значениями проницаемости и неоднородностями. Ниже на рисунке 9 представлен геологический разрез по кубу проницаемости вдоль скважины, черным цветом представлена траектория, построенная алгоритмом, синим – утвержденное планируемое решение.

В результате проведения вычислительного эксперимента при контроле скважины по дебиту жидкости, получены более высокие показатели запускового дебита нефти и как следствие более низкая обводненность. Таким образом в период бизнес планирование расчет показал увеличение накопленной добычи нефти на 45 тыс. тонн и на период полного развития 47 тыс. тонн (+ 10%). Более подробные результаты представлены на рисунке 10 и в таблице 5.



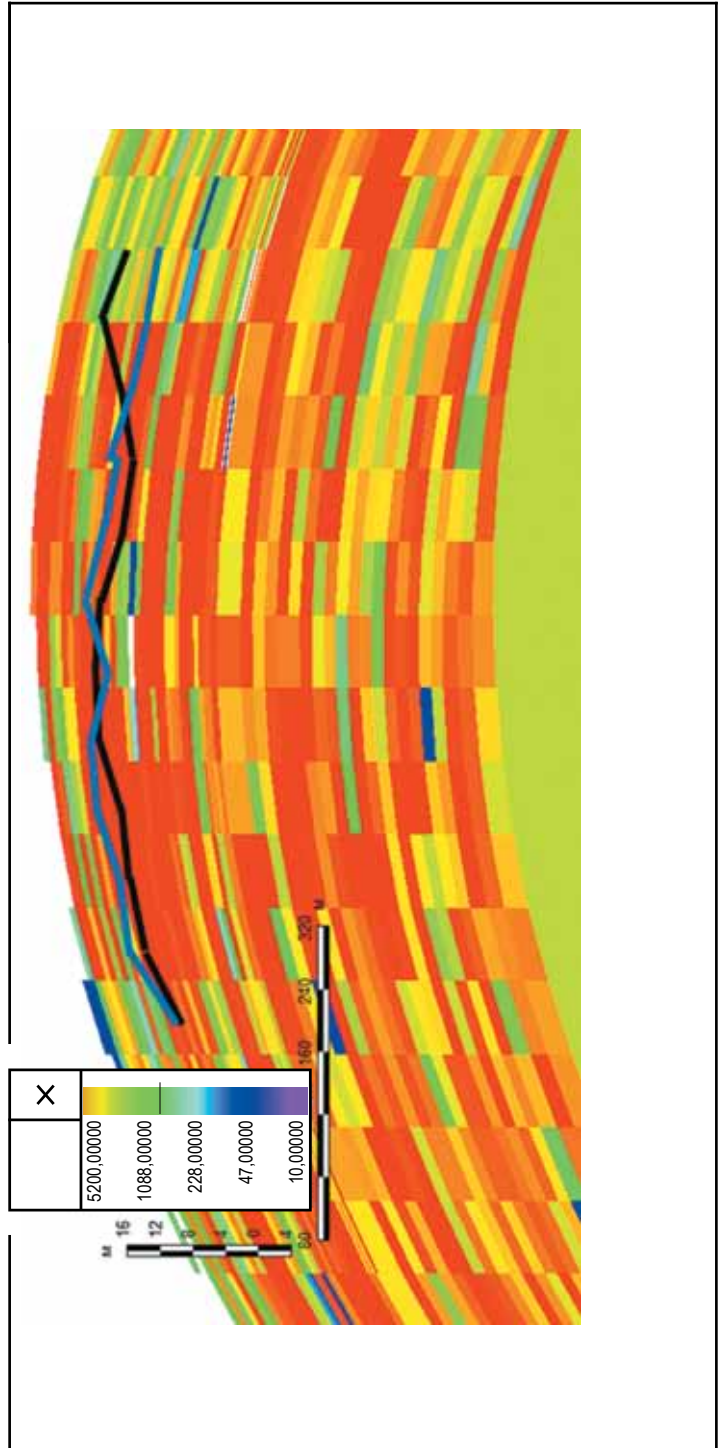


Рис. 9.

Сопоставление траекторий.

Fig. 9. Trajectories comparison.

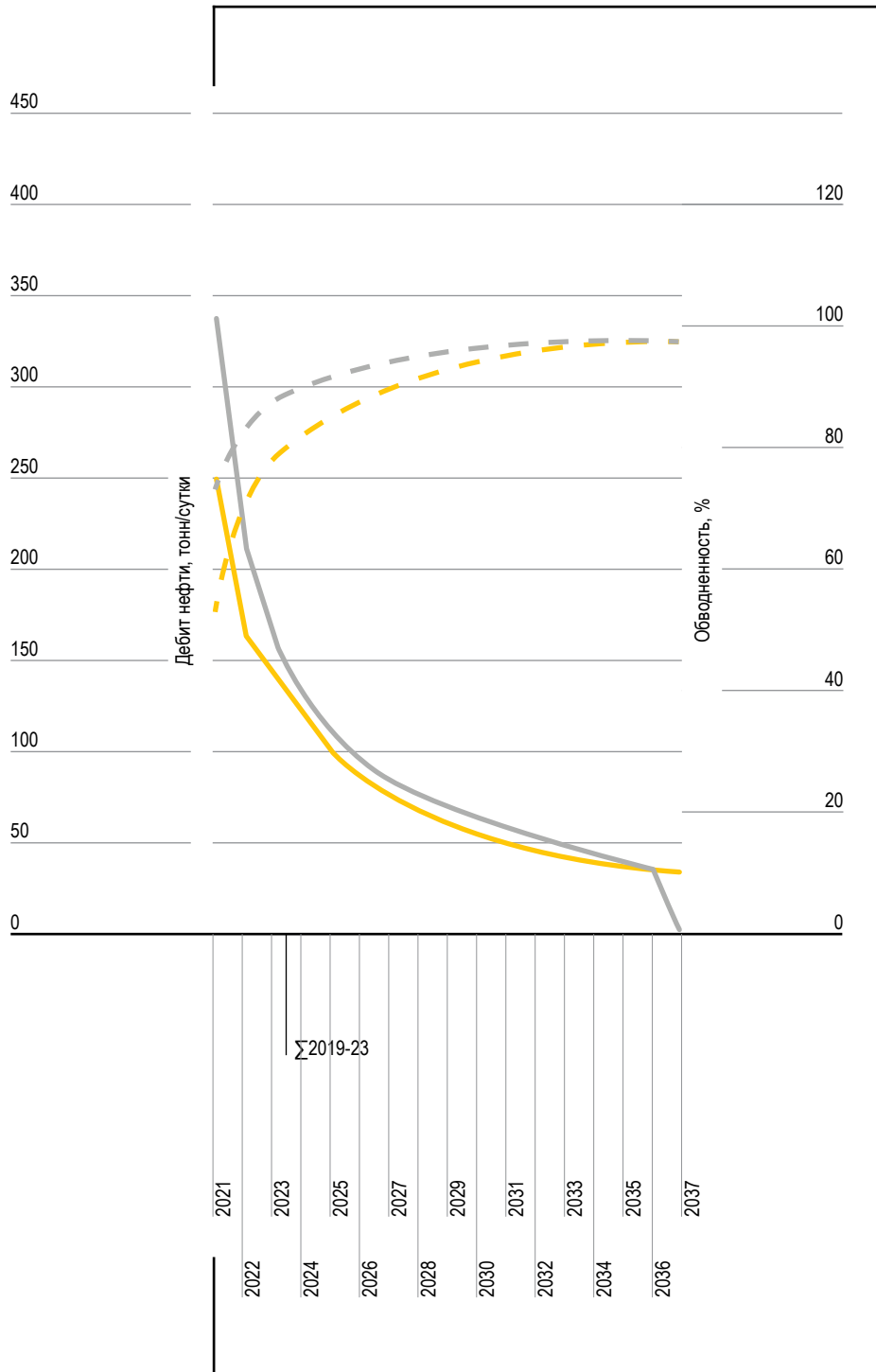


Рис. 10.

Дебиты добычи нефти, обводненность.

Fig. 10. Oil production, WC.

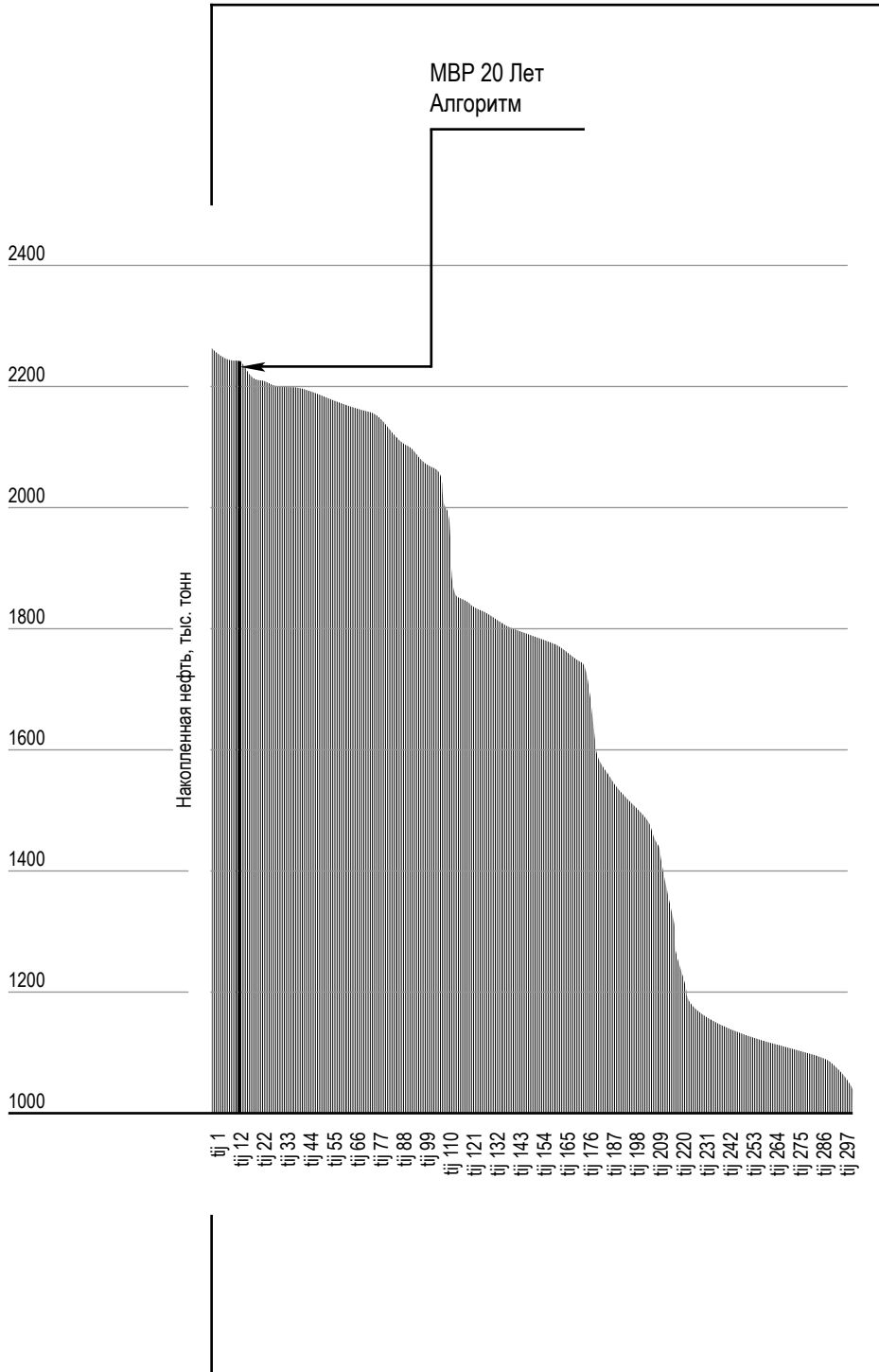


Рис. 11.

Сравнение с многовариантными расчетами.

Fig. 11. Comparison with MVC.

Таблица 6. СРАВНЕНИЕ ТРУДОЗАТРАТ НА РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ  
Table 6. Comparison of labor costs for solving the problem

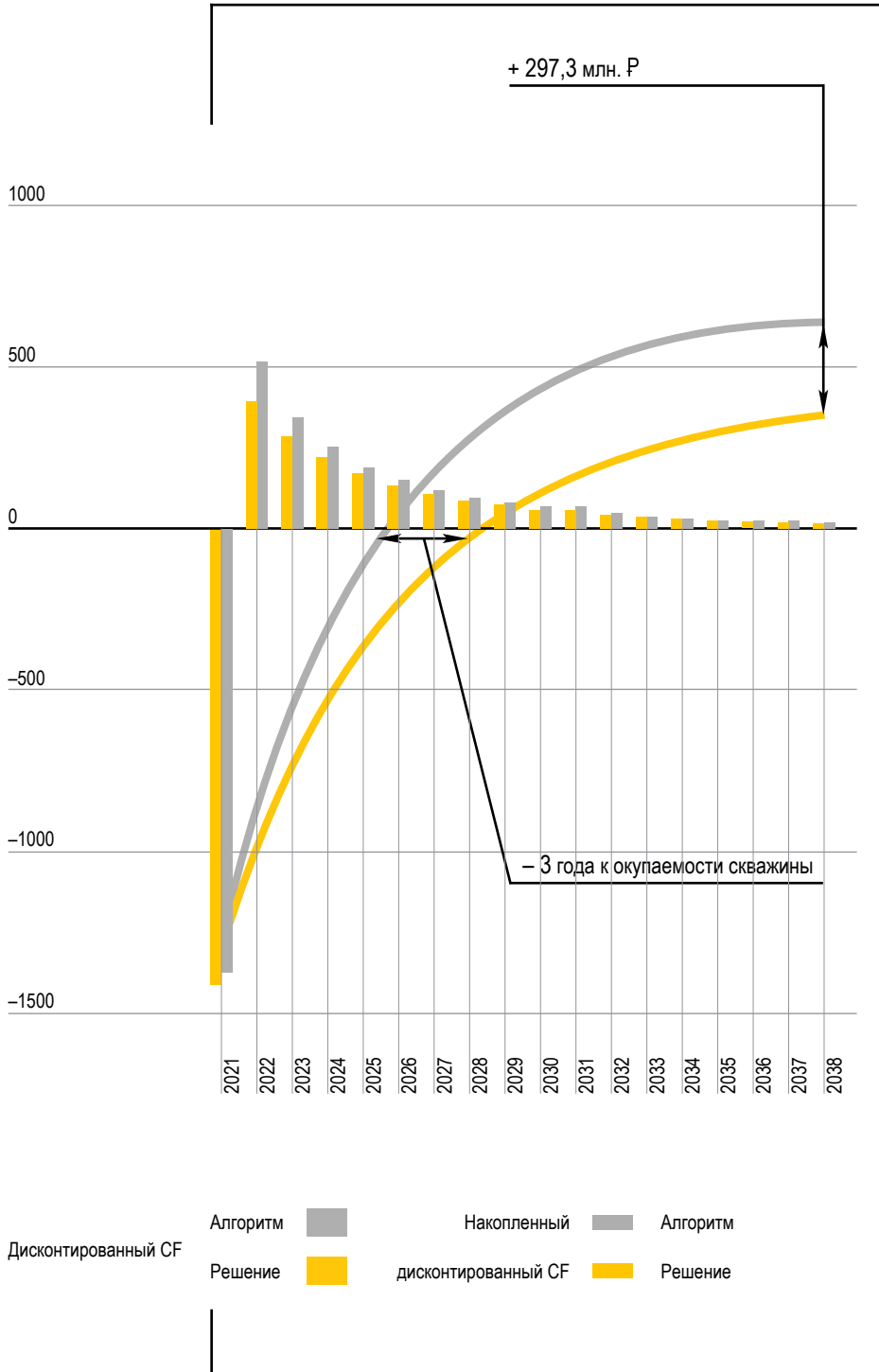
Показатель	МВР	Алгоритм
Время расчета	7,5 ч	20 сек
Подготовка к расчету	2–5 ч	2 мин
Количество расчетов	300	1
Память	68 Гб	227 Мб
Буримость траекторий	±	+

Серой линией представлены показатели для решения, предложенного алгоритмом, желтый – утвержденное проектное решение.

Заключительный пример в серии – сопоставление с многовариантными расчетами. На месторождении в Восточной Сибири с помощью многовариантных расчетов (300 расчетов) подобрана траектория скважины. Также проведено сравнение и сравнение с разработанным инструментом. По результатам гидродинамического моделирования отмечается достаточно высокое качество работы инструмента. Результат попадает в 3% лучших от всех траекторий. Стоит отметить, что на данный момент ведутся работы по улучше-

Таблица 7. ОСНОВНЫЕ ДОПУЩЕНИЯ  
Table 7. Main assumptions

Показатель	Ед. изм.	Значение
Ставка дисконта	%	15
Годовая инфляция	%	5
Стоимость барреля нефти	\$	93.47
Курс доллара	₽	75.76
Бурение скважины	тыс. ₽/м	554.0



**Рис. 12.**

**Динамика дисконтированного денежного потока.**

**Fig. 12. DCF dynamics.**

Таблица 8. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
Table 8. Economic indicators

Показатель	Ед. изм.	Алгоритм	Решение	Δ
IRR	%	27,3	20,9	6,4
NPV	млн. Р	642,6	345,3	297,3
DPР	лет	6	9	-3
DPI	д. ед.	0,44	0,24	0,2
Капитальные затраты	млн. Р	1 468,1	1 468,1	0
Эксплуатационные расходы	млн. Р	842	723	-119
Доход государства	млн. Р	5 483	4 711	772

нию алгоритма и базовой целевой функции для устранения причин, ввиду которых на сегодняшний день не удастся достичь лучшего результата. Также будет и доуточнено влияние нагнетательных скважин. Результат расчета представлен на рисунке ниже.

С другой стороны, необходимо также отметить, что для достижения данного результата потребовалось гораздо меньше расчетного времени и трудозатрат. Сравнение представлено ниже, данный факт несомненно является преимуществом над существующими подходами.

При разработке месторождений нефти и газа одним из важных показателей эффективности проекта является его экономическая составляющая. На ранее рассмотренном примере (расчет плановой траектории) проведен анализ экономической эффективности. Оценивались различные параметры, которые позволяют судить об устойчивости решения к различным экономическим факторам. Ниже в таблице 7 приведены основные допущения, принятые при расчете экономической модели.

Экономическая модель показала уменьшение периода окупаемости капитальных затрат на строительство скважины, увеличение показателей NPV и большую устойчивость решения, что показывает коэффициент IRR

### **Выводы**

Автором статьи проведен анализ существующих методологий по принятию решения об оптимальности положения ствола горизонтальной скважины по геологическому разрезу. В результате анализа отмечены положительные стороны применяемых методологий, однако отмечены и значительные недостатки, опираясь на полученные выводы разработана новая методология, в которой учтен данный опыт. Методика, основанная на статистике и теории графов, позволяет оперативно принимать решения при сопровождении бурения и может быть использована совместно с многовариантными расчетами для кратного сокращения времени расчетов.

В статье приведено краткое описание принципов работы алгоритма и вывод статистической целевой функции. Были проведены серии ретроспективных вычислительных экспериментов, доказавших эффективность методики, после чего она была тиражирована на проектные решения аналогичных объектов разработки. Расчеты показали возможность увеличения накопленной добычи нефти при неизменных уровнях добычи жидкости за счет увеличения коэффициента охвата как в период бизнес-планирования, так и на период полного планирования. Методология позволит увеличить добычу нефти до 20% и NPV проекта до 46% за счет более низкой запусковой обводненности и большей добычи нефти на начальных этапах работы скважины.

Алгоритм имеет большой потенциал к развитию и применению при решении производственных задач, и уже прошел научно-технический совет в Компании, однако экспертами и автором работы были отмечены и вышеупомянутые точки роста развития и внедрения работа над которыми в данный момент ведется. Таким образом данная статья является одной из предстоящего цикла статей по разработке и внедрению инструмента в производственную деятельность.

**Библиографический список**

1. Костюченко С.В. Прямой расчет коэффициента охвата вытеснением при геолого-гидродинамическом моделировании // Нефтяное хозяйство, 2006. №10. С. 112–115.
2. Степанец Л.Ю., Акопян Э.А. Анализ развития внедрения цифровизации в нефтегазовую отрасль // Инновационная наука, 2018. №7–8. С. 69–72.
3. Магизов Б.Р., Зинченко К.З., Девяшина А.С., Лознюк О.А. Универсальный метод выбора оптимального заканчивания при бурении боковых горизонтальных стволов на газовых скважинах // Научный журнал российского газового общества, 2020. №3. С. 22–29.
4. Алгоритм Дейкстры. Поиск оптимальных маршрутов на графе [Электронный ресурс] // <https://habr.com/ru/post/111361/> (дата обращения: 28.02.2022).
5. Положение компании геологическое сопровождение бурения горизонтальных скважин и боковых стволов // № П2-10 Р-0218.
6. Rodman D.W., Security DBS, and G. Swietlik, Pilot Drilling Control Ltd. Extended Reach Drilling Limitations: A Shared Solution // SPE 38466.
7. Xin Li and Deli Gao, China University of Petroleum; Chang Wen, ADNOC Drilling Company; Hui Zhang and Yue Gu, China University of Petroleum Study on World Drilling Limit Envelope and Break its Limitations // SPE/IADC-189352-MS.
8. Xin Li and Deli Gao, China University of Petroleum; Zhenxin Jiang, Engineer Technology Research Institute of Xinjiang Oilfield Company; He Li and Hui Zhang, China University of Petroleum World Drilling Limit Envelope: Why it Shows an Irregular Triangle? // SPE-188622-MS.
9. Борисов Ю.П., Воинов В.В., Рябина З.К. Особенности проектирования разработки нефтяных месторождений с учетом их неоднородностей. М.: Недра, 1976. 285 с.
10. Костюченко С.В., Зимин С.В. Количественный анализ эффективности систем заводнения на основе моделей линий тока // Нефтяное хозяйство, 2005. №1. С. 56–60.
11. Крэйг Ф.Ф. Разработка нефтяных месторождений при заводнении. М.: Недра, 1974. 190 с.
12. От обхода в ширину к алгоритму Дейкстры. [Электронный ресурс] // <https://habr.com/ru/post/259295/> (дата обращения: 28.02.2022).
13. Алгоритм A\* и его реализация на Python. [Электронный ре-



- сурс] // <https://pythonist.ru/algorithm-a-star-i-ego-realizacziya-na-python/> (дата обращения: 01.03.2022).
14. Нахождение кратчайших путей от заданной вершины до всех остальных вершин алгоритмом Дейкстры. [Электронный ресурс] // <http://e-maxx.ru/algo/dijkstra> (дата обращения: 28.03.2022).
  15. Желудков А.В., Мишагина В.Ф. Анализ бурения боковых горизонтальных стволов по пласту ЮВ11 на примере одного из месторождений Западной Сибири // Наука. Инновации. Технологии, 2022. №1, с. 7–20.

### References

1. Kostyuchenko S.V. Direct calculation of the displacement coverage coefficient in geological and hydrodynamic modeling // Oil economy, 2006. No. 10. P. 112–115.
2. Stepanets L.Yu., Akopyan E.A. Analysis of the development of digitalization implementation in the oil and gas industry // Innovative science. 2018. No. 7–8. P. 69–72.
3. Magizov B.R., Zinchenko K.Z., Devyashina A.S., Loznyuk O.A. The universal method of choosing the optimal completion when drilling lateral horizontal shafts in gas wells // Scientific Journal of the Russian Gas Society, 2020. No. 3. P. 22–29.
4. Dijkstra's algorithm. Search for optimal routes on the graph [Electronic resource] // <https://habr.com/ru/post/111361/> (accessed: 02/28/2022).
5. The position of the company geological support of drilling horizontal wells and lateral shafts. // № P2-10 R-0218
6. Rodman D.W., Security DBS, and G. Swietlik, Pilot Drilling Control Ltd. Extended Reach Drilling Limitations: A Shared Solution // SPE 38466.
7. Xin Li and Deli Gao, China University of Petroleum; Chang Wen, ADNOC Drilling Company; Hui Zhang and Yue Gu, China University of Petroleum Study on World Drilling Limit Envelope and Break its Limitations // SPE/IADC-189352-MS.
8. Xin Li and Deli Gao, China University of Petroleum; Zhenxin Jiang, Engineer Technology Research Institute of Xinjiang Oilfield Company; He Li and Hui Zhang, China University of Petroleum World Drilling Limit Envelope: Why it Shows an Irregular Triangle? // SPE-188622-MS.
9. Borisov Yu.P., Warriors V.V., Ryabinina Z.K. Features of designing the development of oil fields taking into account their heterogeneities. M.: Nedra, 1976. 285 p.

10. Kostyuchenko S.V., Zimin S.V. Quantitative analysis of the effectiveness of flooding systems based on current line models // Oil industry, 2005. No. 1. P. 56–60.
11. Craig F.F. Development of oil fields during flooding. M.: Nedra, 1974. 190 p.
12. From the breadth bypass to the Dijkstra algorithm. [Electronic resource] // <https://habr.com/ru/post/259295/> / (accessed: 02/28/2022).
13. Algorithm A\* and its implementation in Python. [Electronic resource] // <https://pythonist.ru/algorithm-a-star-i-ego-realizacziya-na-python/> / (accessed: 03/01/2022).
14. Finding the shortest paths from a given vertex to all other vertices by Dijkstra's algorithm. [Electronic resource] // <http://e-maxx.ru/algo/dijkstra> (date of reference: 03/28/2022).
15. Zheludkov A.V., Mishagina V.F. Analysis of drilling of lateral horizontal shafts along the UV11 formation on the example of one of the deposits of Western Siberia // Science. Innovation. Technologies. 2022. No. 1. P. 7–20.

Поступило в редакцию 10.08.2022,  
принята к публикации 15.09.2022.

#### **Об авторе**

**Сайфуллин** Аскар Айдарович, ведущий специалист, ООО «Тюменский нефтяной научный центр». Тел. 89969381624.  
E-mail: [aasaifullin@tnnc.rosneft.ru](mailto:aasaifullin@tnnc.rosneft.ru).

#### **About the author**

**Sayfullin** Askar Aidarovich, Leading Specialist, Tyumen Oil Research Center LLC. Tel. 89969381624.  
E-mail: [aasaifullin@tnnc.rosneft.ru](mailto:aasaifullin@tnnc.rosneft.ru).

25.00.17 (2.8.4)  
УДК 622.279.51

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ  
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Добролюбова Р.К.**, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова;  
**Инякина Е.И.**, Тюменский индустриальный университет;  
**Краснов И.И.**, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ АЗОТА НА ПЛАСТОВЫЕ ПОТЕРИ КОНДЕНСАТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЧАЯНДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.3.4

Введение.

В настоящее время при подсчете запасов и проектировании разработки нефтегазоконденсатных месторождений является достижение экономически рентабельного коэффициента извлечения конденсата. В составе пластовой газоконденсатной системе Чаяндинского месторождения наряду с углеводородными компонентами содержится азот, углекислый газ, гелий. Для оценки влияния азота на величину пластовых потерь конденсата были выполнены экспериментальные PVT-исследования рекомбинированных проб насыщенного конденсата и газа сепарации, отобранных на месторождении при исследовании скважин. Лабораторные PVT-опыты позволили определить влияние не углеводородных компонентов на величину потерь конденсата в залежи при различной температуре и его содержании в метановом газе. Оценка влияния азота ( $N_2$ ) на растворимость конденсата в пластовом газе показала, что он повышает давление начала конденсации и увеличивает потери конденсата в залежи. Проведенный анализ выполненных исследований подтвердил, что азот в различной степени влияет на растворимость конденсата в газах и то, что конденсаты метанового типа Чаяндинского месторождения обладают лучшей растворимостью при прочих равных условиях.

Материалы и методы исследований. В работах [2-9] рассмотрены лабораторные исследования и аналитические расчеты флюидодинамических свойств газоконденсатных смесей при наличии в системе азота, а также других неуглеводородных компонентов, влияющих на потери углеводородов в залежи. В настоящее время влияния азота на термодинамические свойства газоконденсатных систем не является достаточно изученной, в связи с этим необходимо изучение влияния неуглеводородных компонентов на величину конечного коэффициента извлечения конденсата. Для этого был выполнен комплекс промыслово-лабораторных исследований многокомпонентных систем продуктивных горизонтов Чаяндинского месторождения [2, 3]. Он включал промысловые исследования,

проводимые для определения дебита газа сепарации, количества нестабильного конденсата в отсепарированном газе с целью расчета конденсатогазового фактора ( $\text{см}^3/\text{м}^3$ ). Лабораторные исследования проводились для определения потенциального содержания конденсата в составе пластового газа, физико-химических свойств углеводородов и влияния не углеводородных компонентов на пластовые потери конденсата в залежи [5, 6]. Промысловые газоконденсатные исследования проводились специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и ВостСибНИИГГ иМС [7]. Состав пластовой газоконденсатной системы определялся исходя из содержания и объемов газа сепарации и нестабильного конденсата, отобранных в том же режиме сепарации, при котором определялся выход конденсата (КГФ) [8]. Расчет состава пластового газа и определения потенциального содержания конденсата в пластовом газе выполнялись в соответствии с «Методическим руководством о порядке разработки, содержания и оформления материалов по обоснованию потенциального содержания конденсата в пластовом газе и коэффициента извлечения из недр» [7]. Прогноз пластовых потерь конденсата от участия неуглеводородных компонентов в термодинамических процессах необходим для получения исходных параметров при подсчете углеводородов, а так же проектирования разработки месторождений» [9].

#### Результаты исследований

##### и их обсуждение.

В составе пластовой газоконденсатной системы Чаяндинского месторождения на ряду с углеводородными компонентами содержится азот, углекислый газ, гелий. Для оценки влияния азота на величину пластовых потерь конденсата были выполнены экспериментальные исследования проб насыщенного конденсата и газа сепарации, отобранных на Чаяндинском месторождении при исследовании скважин. В разработке месторождения принимают участие залежи ботубинского, хамакинского и талахского горизонтов. Эти залежи взаимно и частично перекрывают друг друга в северо-восточной части зоны. По типу флюида залежи ботубинского горизонта являются газоконденсатными и газоконденсатными с нефтяными оторочками. В пределах лицензионного участка, залежь изучена 74 скважинами. По результатам интерпретации ГИС значения эффективных газонасыщенных толщин лежат в интервале от 0,6 м до 21,3 метров. Начальный состав пластового газа содержит (% моль): метана – 85,82-83,14; этана – 4,45-4,77; пропана – 1,11-2,67; бутановой фракции – 0,16-0,73; пентанов – 0,25-1,22; азота – от 5,62 до 8,11; двуокиси углерода – до 1,69; гелия – 0,30-0,48; водорода – до 0,08. Потенциальное содержание конденсата в пластовом газе до  $40 \text{ г}/\text{м}^3$ . Средняя плотность конденсата в стандартных условиях составляет  $680 \text{ кг}/\text{м}^3$  при молекулярной массе  $88 \text{ г}/\text{моль}$ . Конденсаты относятся к метановому типу (76,60 % об.). Данные бурения отложения хамакинского горизонта показывают, что он объединяет серию пластов, отличающихся, как по мощности, так и по площа-

Выводы.

Ключевые слова:

ди распространения и по своим фильтрационно-емкостным свойствам. В результате лабораторных исследований определен состав пластового газа (% моль): метана – 76,74-84,98; этана – 3,93-5,92; пропана – 1,1-1,8; бутановой фракции – 0,1-0,5; C5 + в 0,27-0,59; азота – 6,58 до 16,34; двуокиси углерода – до 0,47; гелия – 0,28-1,15; водорода – 0,02-0,52. Потенциальное содержание конденсата в газе до 35 г/м<sup>3</sup>. Плотность стабильного конденсата в стандартных условиях составляет 0,683 г/см<sup>3</sup>, при молекулярной массе 83 г/моль. Содержание ароматических углеводородов принято равным 6,46%, нафтеновых – 14,93%, метановых – 78,61%. Всего в таласском горизонте выделено девять газовых залежей. Они характеризуются средним составом пластового газа (% моль): метан – 76,74-84,98; этан – 3,93-5,92; пропана – 1,1-1,8; бутановой фракции – 0,1-0,5; пентанов – 0,27-0,59. В составе газа содержатся не углеводородные компоненты следующие (% моль): азота – 6,58-16,34; двуокиси углерода – до 0,47; гелия – до 1,15 и водорода – до 0,52. Потенциальное содержание конденсата до 32 г/м<sup>3</sup>. Содержание ароматических углеводородов принято равным 6,46%, нафтеновых – 14,93%, метановых – 78,61%. Конденсаты продуктивных горизонтов Чайядинского месторождения относятся к метановому типу [1]. Лабораторные PVT-исследования позволили определить влияние не углеводородных компонентов на величину потерь конденсата в залежи при различной температуре и его содержании в метановом газе. Оценка влияния азота (N<sub>2</sub>) на растворимость конденсата в пластовом газе показала, что он повышает давление начала конденсации и увеличивает потери конденсата в залежи. Проведенный анализ выполненных исследований подтвердил, что азот в различной степени влияет на растворимость конденсата в газах и то, что конденсаты метанового типа Чайядинского месторождения обладают лучшей растворимостью при прочих равных условиях. Таким образом, проведенные PVT-эксперименты с целью выявления влияния азота и других не углеводородных компонентов, находящихся в составе природного газа показали, что проектный коэффициент извлечения конденсата не значительно завышен. Результаты опытов установили различное влияние азота и углекислого газа на пластовые потери углеводородов в залежи из-за неодинаковой степени растворимости конденсата в газах (углекислый газ улучшает, а азот ухудшает их растворимость). Исследования проб газа сепарации и насыщенного конденсата подтвердили данные о том, что лучшей растворимостью при прочих равных условиях обладают конденсаты метанового типа. Определена степень влияния азота на пластовые потери конденсата в залежи для условий разработки Чайядинского нефтегазоконденсатного месторождения.

PVT-установка, экспериментальные исследования, природный газ, влияние азота, давления максимальной конденсации, коэффициент извлечения конденсата, пластовые потери, Чайядинское месторождение.

**Dobrolyubova R.K.**, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Tyumen, Russian;

**Inyakina E.I.**, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian;

**Krasnov I.I.**, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Tyumen, Russian

## **Research Influence of Nitrogen on Formation Condensate Loss During the Development of the Chayandinskoye Field**

### **Introduction.**

Currently, when calculating reserves and designing the development of oil and gas condensate fields, the priority is to achieve the highest possible and economically viable condensate recovery factor. The reservoir gas condensate system of the Chayandinskoye field, along with hydrocarbon components, contains nitrogen, carbon dioxide, and helium. To assess the effect of nitrogen on the amount of reservoir condensate loss, experimental PVT studies of recombined samples of saturated condensate and separation gas taken at the field during well testing were performed. Laboratory PVT-experiments made it possible to determine the effect of non-hydrocarbon components on the amount of condensate losses in the deposit at different temperatures and its content in methane gas. Qualitative and quantitative assessment of the effect of nitrogen (N<sub>2</sub>) on the condensate solubility in the formation gas showed that it increases the pressure of the onset of condensation and increases the loss of condensate in the deposit. The analysis of the performed studies confirmed that nitrogen affects the solubility of the condensate in gases to varying degrees and that the methane-type condensates of the Chayandinskoye field have better solubility, all other things being equal.

### **Materials and methods of research.**

The works [2-9] consider laboratory studies and analytical calculations of the fluid-dynamic properties of gas condensate mixtures in the presence of nitrogen in the system, as well as other non-hydrocarbon components that affect the loss of hydrocarbons in the deposit. At present, the effect of nitrogen on the thermodynamic properties of gas condensate systems is not sufficiently studied; therefore, it is necessary to study the effect of non-hydrocarbon components on the value of the final condensate recovery factor. For this, a set of field and laboratory studies of multicomponent systems of productive horizons of the Chayandinskoye field was carried out [2, 3]. It included field studies conducted to determine the flow rate of the separation gas, the amount of unstable condensate in the separated gas in order to calculate the condensate gas factor (cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Laboratory studies were carried out to determine the potential content of condensate in the composition of reservoir gas, the physico-chemical properties of hydrocarbons and the effect of non-hydrocarbon components on reservoir losses of condensate in the deposit [5, 6]. Field gas condensate studies were carried out by specialists from OOO Gazprom VNIIGAZ and VostSibNIIGiMS [7]. The composition of the reservoir gas condensate system was determined based on the content and volumes of separation gas and unstable condensate sampled in the

## Results and Discussion.

same separation mode, in which the condensate yield (CGR) was determined [8]. The calculation of the formation gas composition and determination of the potential condensate content in the formation gas were carried out in accordance with the "Methodological guide on the procedure for the development, maintenance and execution of materials to justify the potential condensate content in the formation gas and the recovery factor from the subsoil" [7]. Prediction of reservoir losses of condensate from the participation of non-hydrocarbon components in thermodynamic processes is necessary to obtain initial parameters when calculating hydrocarbons, as well as designing field development" [9].

## Conclusion.

The deposits of the Botuobinsky, Khamakinsky and Talakhsky horizons take part in the development of the Chayandinskoye field; they mutually and partially overlap each other in the northeastern part of the zone. According to the type of fluid, the deposits of the Botuobinsky horizon are gas condensate and gas condensate with oil rims. Within the license area, the deposit has been explored by 74 wells. According to the results of interpretation of geophysical well surveys, the values of effective gas-saturated thicknesses lie in the range from 0,6 m to 21,3 m. The initial formation gas composition contains (% mol): methane – 85,82-83,14; ethane – 4,45-4,77; propane – 1,11-2,67; butane fraction – 0,16-0,73; pentanes – 0,25-1,22; nitrogen – 5,62-8,11; carbon dioxide – 0,01-1,69; helium – 0,30-0,48; hydrogen - 0.00-0.08. The potential content of condensate in the formation gas is up to 35 g/m<sup>3</sup>. The density of a stable condensate under standard conditions is 0,683 g/cm<sup>3</sup>, with a molecular weight of 83 g/mol. The content of aromatic hydrocarbons is assumed to be 6,46%, naphthenic – 14,93%, methane – 78,61%. In total, nine gas deposits have been identified in the Talakh horizon. They are characterized by the average formation gas composition (% mol): methane 76,74-84,98; ethane – 3,93-5,92; propane – 1,1-1,8; butane fraction – 0,1-0,5; pentanes – 0,27-0,59. In the composition of the gas, non-hydrocarbon components are as follows (% mol): nitrogen – 6,58-16,34; carbon dioxide - up to 0,47; helium - up to 1,15 and hydrogen - up to 0,52. The potential content of the condensate is up to 32 g/m<sup>3</sup>. The content of aromatic hydrocarbons is assumed to be 6,46%, naphthenic – 14,93%, methane – 78,61%. The condensates of the productive horizons of the Chayandinskoye field are of the methane type.

## Key words:

Thus, the conducted PVT experiments to identify the effect of nitrogen and other non-hydrocarbon components in natural gas showed that the design condensate recovery factor is not significantly overestimated. The results of the experiments established the negative effect of nitrogen and carbon dioxide on reservoir losses of hydrocarbons in the deposit due to the different degree of solubility of condensate in gases (carbon dioxide improves, and nitrogen worsens their solubility). Studies of samples of separation gas and saturated condensate confirmed the data that methane-type condensates have the best solubility, other things being equal. The degree of influence of nitrogen on reservoir losses of condensate in the deposit was determined for the conditions of development of the Chayandinskoye oil and gas condensate field.

PVT-installation, experimental research, natural gas, nitrogen effect, maximum condensation pressures, condensate recovery factor, reservoir losses, Chayandinskoye field.

## **Введение**

В настоящее время при подсчете запасов и проектировании разработки нефтегазоконденсатных месторождений является достижением экономически рентабельного коэффициента извлечения конденсата. Для оценки влияния не углеводородных компонентов (азота, гелия, углекислого газа) на величину конденсатоотдачи и потерь конденсата в залежи были выполнены экспериментальные PVT-исследования пластовых смесей, отобранных на скважинах Чайндинского месторождения. Лабораторные PVT-опыты позволили определить влияние азота на величину потерь конденсата в залежи при различной температуре и его содержании в метановом газе.

Оценка влияния азота ( $N_2$ ) на растворимость конденсата в природном газе показала, что он повышает давление начала конденсации и увеличивает его потери в пласте. Проведенный анализ выполненных исследований подтвердил, что азот в различной степени ухудшает растворимость конденсата в газах и то, что данный конденсат исследуемого Чайндинского месторождения обладает хорошей. Также изменение термобарических условий увеличивает количество жидкой фазы в залежи за счет выпадения конденсата и азота, что приводит к снижению коэффициента извлечения конденсата (КИК) [1, 2].

## **Материалы и методы исследований**

В работах [2-9] рассмотрены лабораторные исследования и аналитические расчеты флюидодинамических свойств газоконденсатных смесей при наличии в системе азота, а также других неуглеводородных компонентов, влияющих на потери углеводородов в залежи. В настоящее время влияния азота на термодинамические свойства газоконденсатных систем недостаточно изучено и в связи с этим необходимо уделять большее внимание исследованию влияния неуглеводородных компонентов на долю конечного коэффициента извлечения конденсата. Для этого был выполнен комплекс промыслово-лабораторных исследований многокомпонентных систем продуктивных горизонтов Чайндинского месторождения [2,3]. Он включал промысловые исследования, проводимые для



определения дебита газа сепарации, количества нестабильного конденсата в отсепарированном газе с целью расчета конденсатогазового фактора ( $\text{см}^3/\text{м}^3$ ). Лабораторные исследования проводились для определения конденсатогазового фактора (КГФ), физико-химических свойств углеводородов и влияния не углеводородных компонентов на пластовые потери конденсата в залежи [5,6]. Промысловые газоконденсатные исследования проводились специалистами ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и ВостСибНИИГГиМС [7].

Состав пластовой газоконденсатной системы определялся исходя из содержания и объемов газа сепарации и нестабильного конденсата, отобранных в том же режиме сепарации, при котором определялся выход конденсата (КГФ) [8]. Расчет состава пластового газа и определение конденсатогазового фактора выполнялись в соответствии с «Методическим руководством.....», разработанным институтом ООО «Газпром ВНИИГАЗ» [7]. Прогноз пластовых потерь конденсата от участия неуглеводородных компонентов в термодинамических процессах необходим для получения исходных параметров при подсчете углеводородов, а так же проектирования разработки месторождений» [9].

### **Результаты исследований и их обсуждение**

С целью оценки результатов влияния не углеводородных компонентов на конденсатоотдачу и получения исходных данных, необходимых при подсчете запасов углеводородов и проектировании разработки были выполнены промыслово-лабораторные исследования пластовых газоконденсатных систем продуктивных горизонтов Чаяндинского месторождения. В составе изучаемой газоконденсатной системы на ряду с углеводородными компонентами содержался азот, углекислый газ, гелий. Экспериментальные *PVT*- исследования выполнялись на рекомбинированных пробах насыщенного конденсата и газа сепарации, отобранных на месторождении при исследовании скважин. В соответствии с нефтегазогеологическим районированием Чаяндинское месторождение относится к Ботубинскому нефтегазоносному району. Оно входит в состав крупной Чаяндинско-Алинской структурно-литологической зоны. Если рассматривать площадное распространение залежей в

этой зоне, то прослеживается единое поле продуктивности по различным горизонтам разреза. Залежи ботубинского, хамакинского и талахского горизонтов взаимно и частично перекрывают друг друга в северо-восточной части зоны.

Продуктивные отложения ботубинского горизонта по типу флюида залежи горизонта являются газоконденсатными и газоконденсатными с нефтяными оторочками. В пределах лицензионного участка, залежь ботубинского горизонта изучена 74 скважинами. По результатам интерпретации ГИС общая мощность пласта с учетом новых скважин достигает толщины 12,1 м. Начальный состав пластового газа ботубинского горизонта содержит (% моль): метана – 85,82-83,14; этана – 4,45-4,77; пропана – 1,11-2,67; бутановой фракции – 0,16-0,73; пентанов – 0,25-1,22; азота – 5,62-8,11; двуокиси углерода – 0,01-1,69; гелия – 0,30-0,48; водорода – 0,00-0,08.

Состав и свойства конденсата изучены по результатам исследования 14 скважин, в том числе при газоконденсатных исследованиях восьми объектов. Средняя плотность конденсата в стандартных условиях составляет  $680 \text{ кг/м}^3$  при молекулярной массе 88 г/моль. Конденсаты относятся к метановому типу (76,60% об.). При фракционной разгонке до  $200^\circ\text{C}$  выкипает 97%. В конденсате присутствует сера (0,033%), смолы силикагелевые (0,08%), асфальтены (0,014%) и парафин (следы).

Отложения хамакинского горизонта представлены неравномерным чередованием пластов песчаников, алевролитов и аргиллитов. В пределах контура нефтегазоносности пробурено 73 скважины. Начальный состав пластового газа хамакинского горизонта содержит (% моль): метана – 76,74-84,98; этана – 3,93-5,92; пропана – 1,1-1,8; бутановой фракции – 0,1-0,5; пентанов до 0,59; азота – 6,58-16,34; двуокиси углерода – 0,00-0,47; гелия – 0,28-1,15; водорода – 0,02-0,52.

Конденсаты характеризуются невысокой плотностью, вязкостью. Плотность стабильного конденсата в стандартных условиях составляет  $0,683 \text{ г/см}^3$ , при молекулярной массе 83 г/моль. Общее массовое содержание серы установлено на уровне 0,035%, смол – 0,03%. Содержание ароматических углеводородов принято равным

6,46%, нафтеновых – 14,93%, метановых – 78,61% (конденсаты относятся к метановому типу). Температура застывания конденсата составляет «минус» 60 °С. Начальная пластовая температура для всех залежей хамакинского горизонта составляет 10 °С, начальное пластовое давление составляет 13,67 МПа.

Талахский горизонт характеризуется средним коэффициентом песчаности 0,47 доли ед. при разбросе параметра от 0,12 до 0,81 д.ед. Пластовый газ талахского горизонта содержит (% моль): метан 76,74-84,98; этан – 3,93-5,92; пропана – 1,1-1,8; бутановой фракции – 0,1-0,5; пентанов – 0,27-0,59. В составе не углеводородных компонентов следующие (% моль): азот–6,58-16,34; двуокиси углерода – до 0,47; гелий – до 1,15 и водород – 0,02-0,52.

Конденсаты характеризуются невысокой плотностью, вязкостью. Плотность стабильного конденсата в стандартных условиях составляет 0,683-0,698 г/см<sup>3</sup>, при молекулярной массе 83-85 г/моль. Общее массовое содержание серы установлено на уровне 0,035%, смол – 0,03%. Содержание ароматических углеводородов принято равным 6,46%, нафтеновых – 14,93%, метановых – 78,61% (конденсаты относятся к метановому типу). Температура застывания конденсата составляет «минус» 60 °С. Начальная пластовая температура всех залежей талахского горизонта составляет 11 °С, начальное пластовое давление составляет от 13,92 МПа и более [6,7].

Для проектирования по Чаяндинскому месторождению в целом приняты запасы газа в объеме C1 + C2. Степень геологической изученности составляет 73 % (по доле запасов категории C1 (B1)). При этом, наиболее разведанными являются газоконденсатные залежи ботубобинского горизонта 93 %, степень разведанности газоконденсатных залежей хамакинского и талахского горизонтов составляет, соответственно, 66 % и 62 %. Запасы газа, конденсата и нефти по ботубобинскому горизонту уточнились по результатам бурения восьми скважин, проведения сейсморазведочных работ. Запасы газа, нефти и конденсата по хамакинскому и талахскому горизонтам уточнились по результатам бурения 13 и скважин, соответственно. Содержание гелия в свободном газе и газе газовых шапок и в растворенном газе составляет (% об.) 1,15-0,053 соответственно, содержание азота составляет от 7,22 до 16,34.

На месторождении для газоконденсатных частей (залежей) ботубобинского, хамакинского и талахского горизонтов предусматривается разбуривание и введение в эксплуатацию всех продуктивных горизонтов, единое группирование эксплуатационных скважин в кусты. При обосновании проектного фонда скважин учтена возможность одновременно-раздельной добычи (ОРД) из продуктивных горизонтов в зонах совпадения их контуров газоносности. Вариантом предусматривается применение локального ППД путём обратной закачки не углеводородных компонентов (обогащенного гелием газа пермеата) в продуктивные горизонты в районе расположения УКПГ-3. В группу скважин для закачки пермеата вошли разведочные скважины №№ 321-47, 321-48 (после их расконсервации) и новые эксплуатационные скважины №№ 2008, 2187 (куст 40) и №№ 2021, 2022, 2023 (куст 51).

Для определения доли влияния азота на величину пластовых потерь конденсата проведены исследования на пробах газоконденсатной смеси хамакинского и ботубобинского горизонтов Чаяндинского месторождения с различным содержанием конденсата в пластовом газе. Исследования выполнялись при пластовых температурах и различных концентрация азота в газоконденсатной системе. В опытах использовался конденсат и сепарационный газ, отобранный при исследовании скважин Чаяндинского месторождения. Зависимость пластовых потерь конденсата от температуры, полученная в результате термодинамических исследований рекомбинированных проб газа сепарации и конденсата представлены на рисунке 1.

Следует отметить, что для более детального изучения влияния азота и  $\text{CO}_2$  на фазовые процессы была проведена серия экспериментов. В экспериментах использовался конденсат, отобранный из ботубобинского горизонта с плотностью от  $0,670 \text{ г/см}^3$  до  $0,690 \text{ г/см}^3$  и молекулярной массой  $85 \text{ г/моль}$ . Результаты исследования газоконденсатной системы приведены на рисунке 2.

На рисунках 2-5 показаны изотермы конденсации углеводородов пластовой смеси Чаяндинского месторождения при различном содержании азота в газоконденсатной системе. Из выше представленных диаграмм видно, что степень влияния азота снижает давление начала конденсации. Результаты исследования газоконденсат-

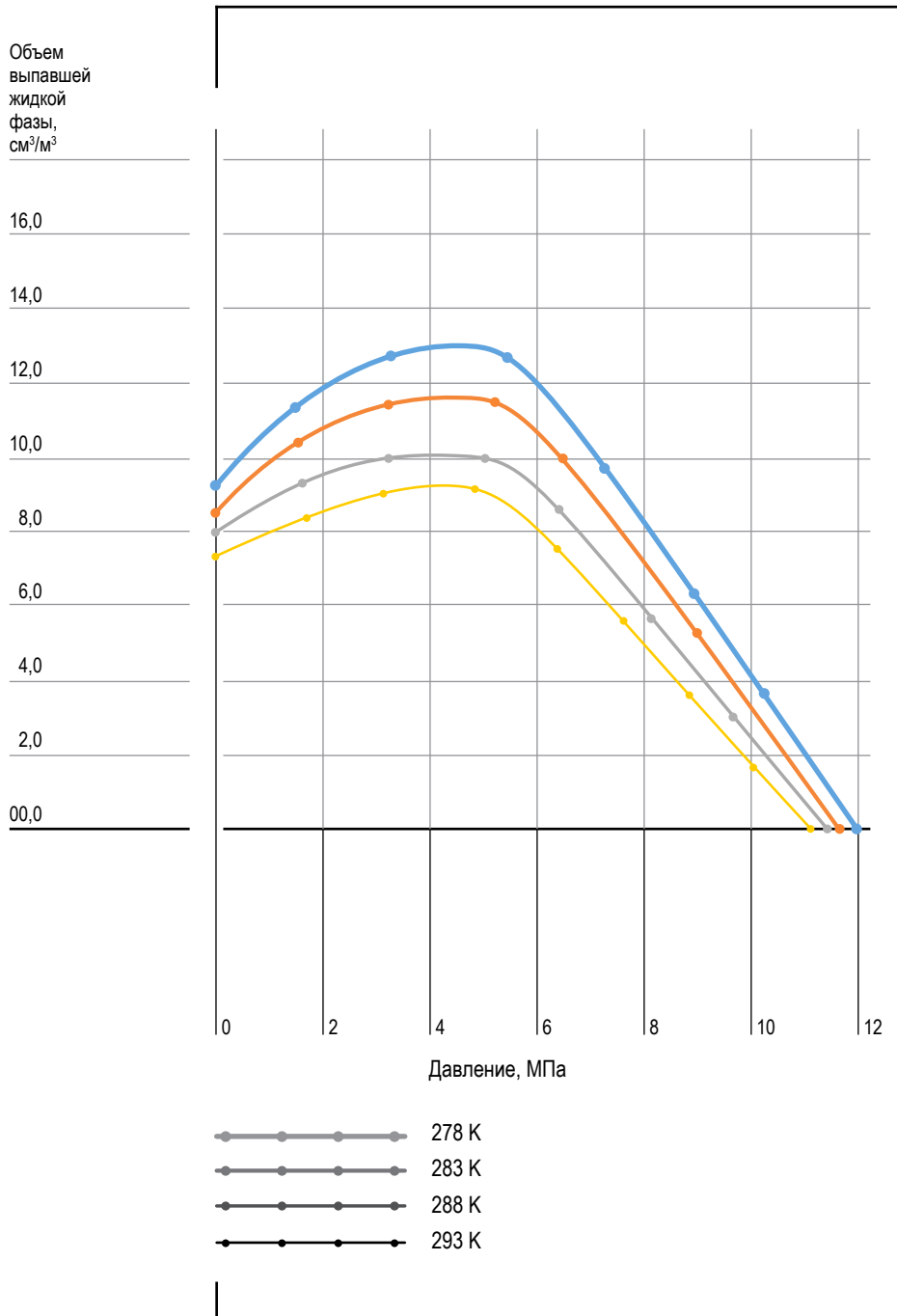
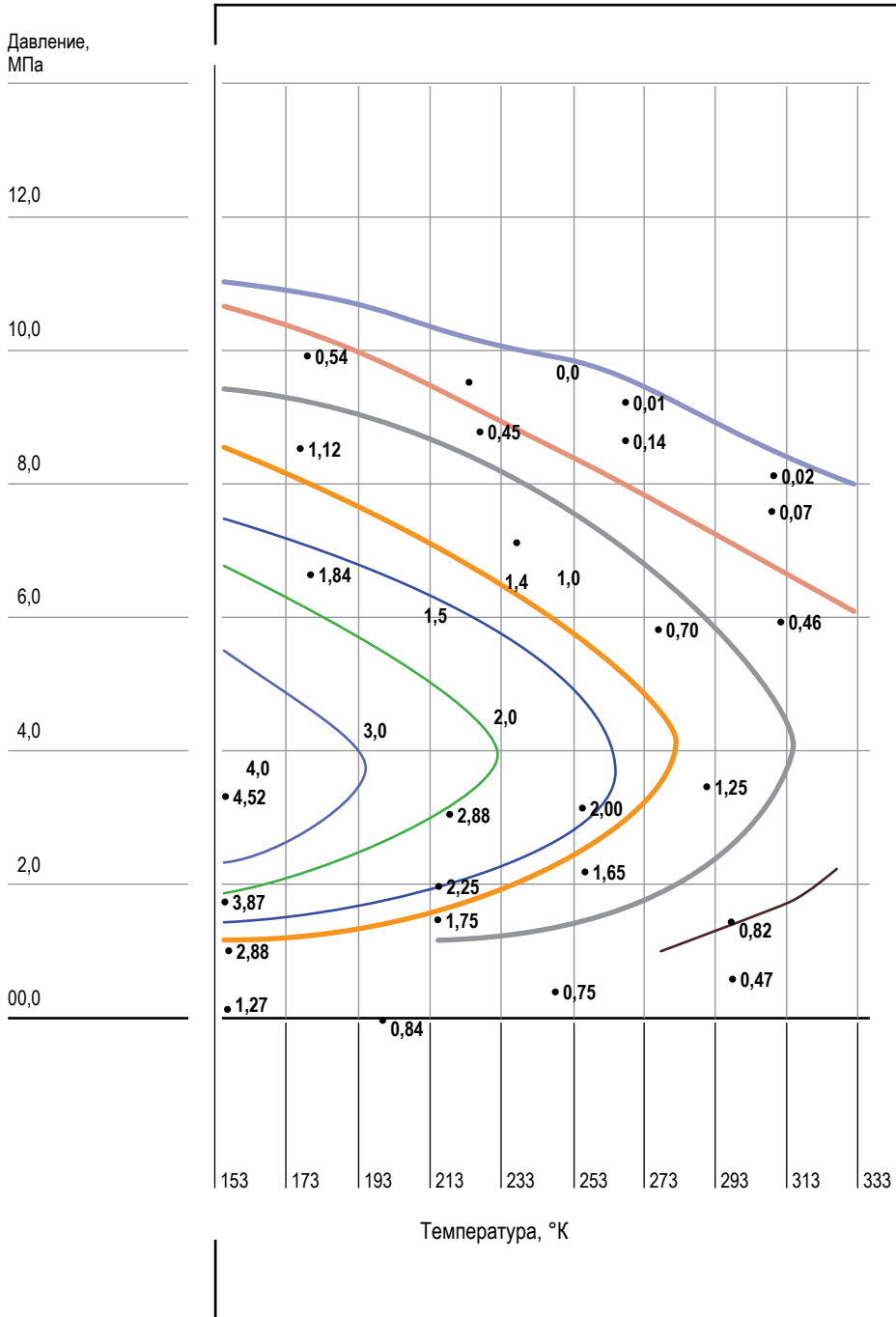


Рис. 1.

**Зависимость пластовых потерь конденсата от температуры Чайандинское месторождение, «газожидкостная система + азот».**

Fig. 1. Dependence of formation condensate losses on temperature. Chayandinskoye field, «gas-liquid system + азот».



**Рис. 2. Изотермы конденсации углеводородов пластовой системы Чайандинского месторождения.**  
Fig. 2. Hydrocarbon condensation isotherms of the formation system of the Chayandinskoye field.

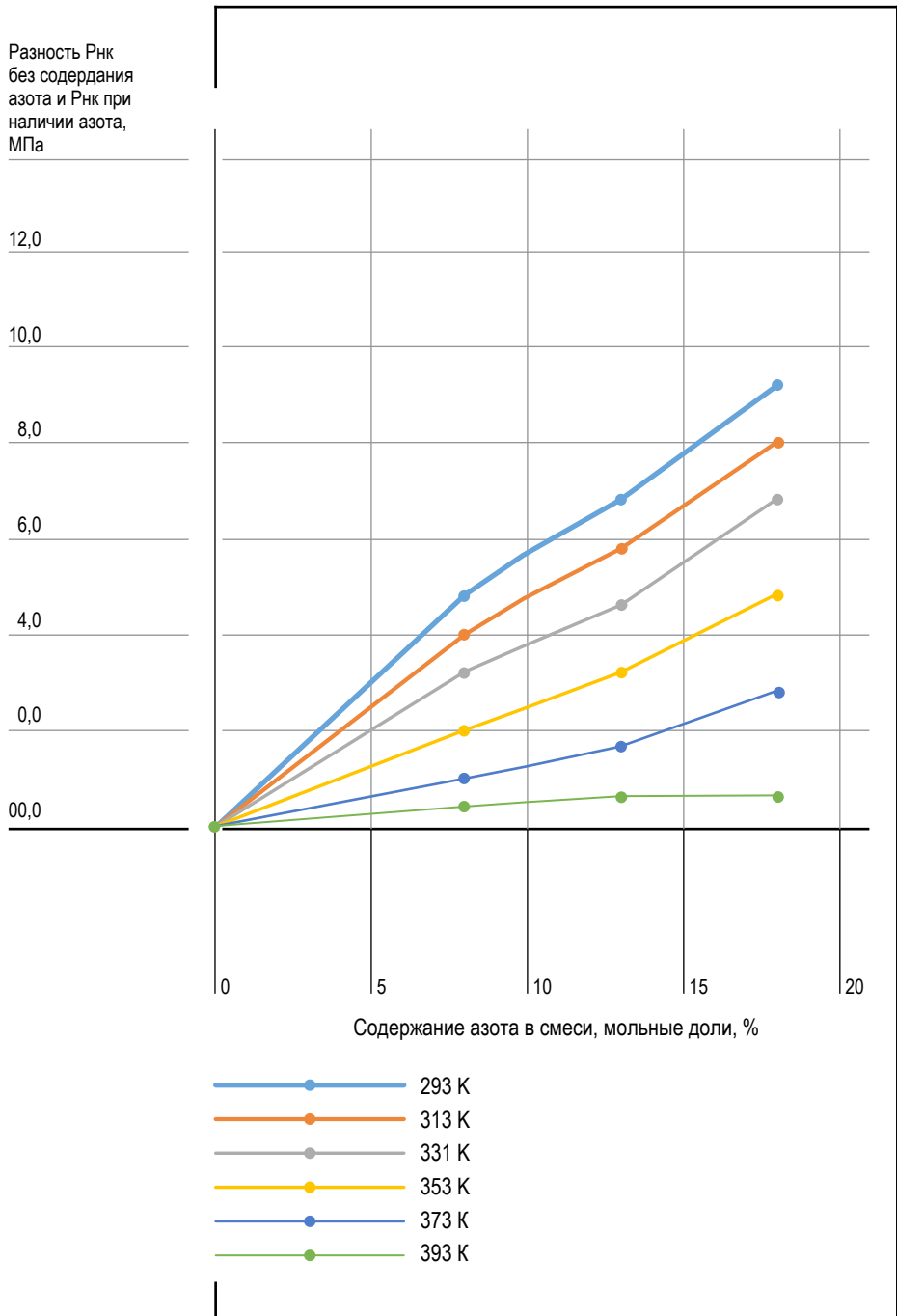


Рис. 3.

Диаграмма зависимости давления конденсации при различных температурах смеси ботубинского горизонта.

Fig. 3. Diagram of dependence of condensation pressure at different temperatures of the mixture of the botubinsky horizon.

ной системы ботубинского горизонта в присутствии азота в системе и без его содержания приведены на рисунке 3.

Результаты исследования газоконденсатной системы в присутствии азота до  $15 \text{ г/м}^3$  и без его содержания в смеси хамакинского горизонта приведены на рисунке 4.

Из графической зависимости видно, что для газоконденсатной системы хамакинского горизонта при давлении максимальной конденсации азот оказывает влияние на интенсивность выпадения насыщенного конденсата особенно в области высоких температур.

На рисунке 5 представлена диаграмма зависимости давления конденсации без содержания углекислого газа при наличии  $\text{CO}_2$  в пластовой смеси.

На основе полученной информации о составе и свойствах пластовой системы и сепараторных пробах газа и конденсата, отобранных при исследовании скважин ботубинского горизонта была создана рекомбинированная газоконденсатная смесь. По результатам опыта установлено, что давление начала конденсации составляет  $13,19 \text{ МПа}$  и соответствует пластовому давлению.

В результате сравнения проведенных экспериментов установлено, что наличие в смеси азота и углекислого газа, влияет на начало конденсации углеводородов.

### **Выводы**

Таким образом, проведенные термодинамические исследования с целью выявления влияния азота и других не углеводородных компонентов, находящихся в составе природного газа показали, что проектный коэффициент извлечения конденсата незначительно завышен. Результаты PVT-опытов установили различное влияние азота и углекислого газа на пластовые потери углеводородов в залежи из-за неодинаковой степени растворимости конденсата в газах (углекислый газ улучшает, а азот ухудшает их растворимость). Изучение представительных проб газа сепарации и насыщенного конденсата подтвердили данные о том, что лучшей растворимостью при прочих равных условиях обладают конденсаты метанового типа. опыты показали, что наличие в газоконденсатной смеси углекислого газа не способствует изменению формы диаграмм



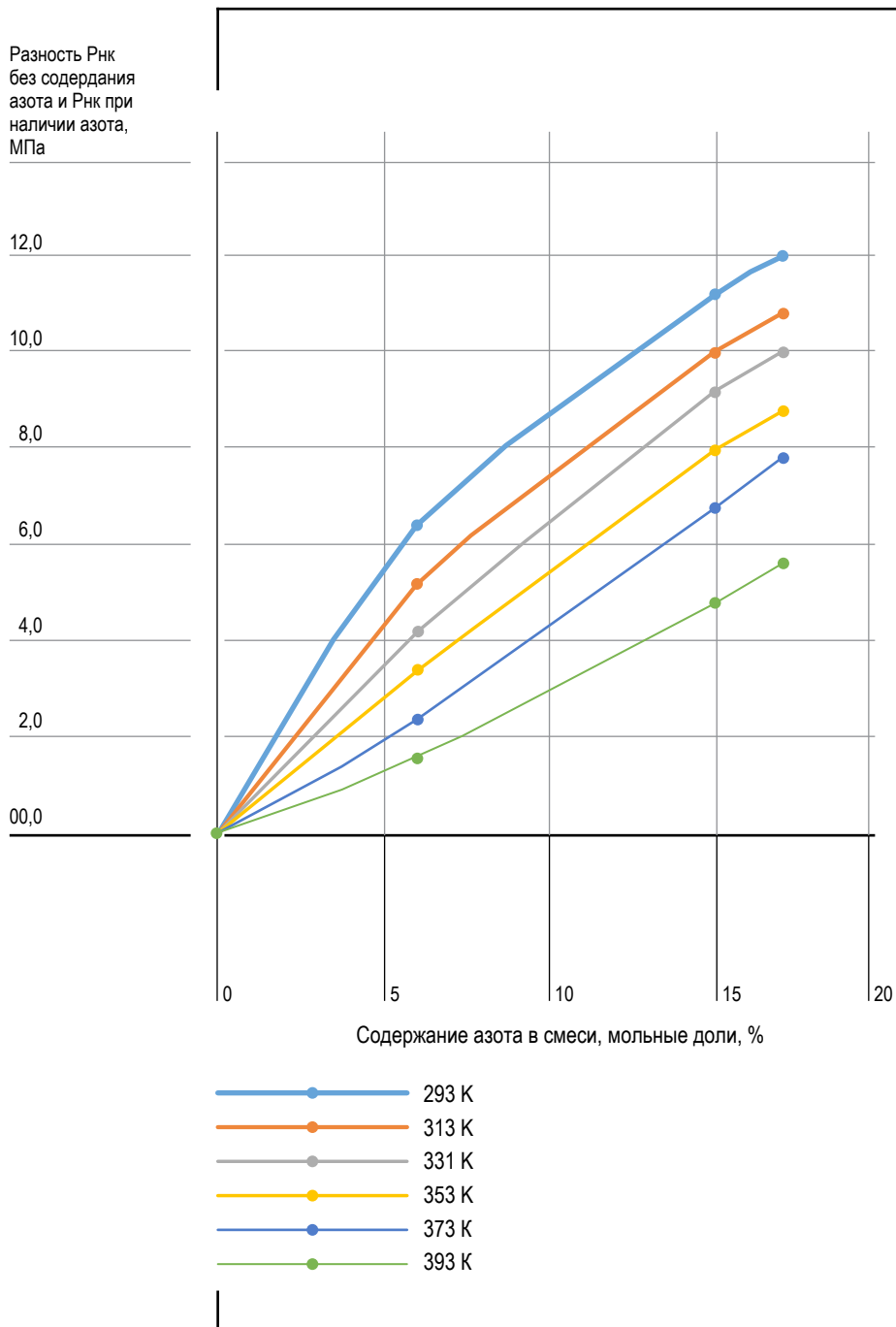


Рис. 4.

Диаграмма зависимости давления конденсации при различных температурах смеси хамакинского горизонта

Fig. 4. Diagram of dependence of condensation pressure at different temperatures of the mixture of the Khamakin horizon

Разность  $P_{нк}$   
без содержания  
углекислого  
газа и  $P_{нк}$  при  
наличии  $CO_2$ ,  
МПа

12,0

10,0

8,0

6,0

4,0

2,0

00,0

0

5

10

15

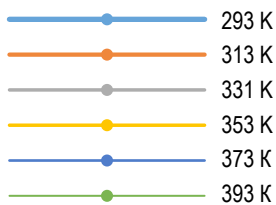
Содержание конденсата в пластовом газе,  $г/м^3$ 

Рис. 5.

**Диаграмма зависимости давления конденсации без содержания углекислого газа при наличии  $CO_2$  в пластовой смеси.**  
Fig. 5. Diagram of dependence of condensation pressure without carbon dioxide content in the presence of  $CO_2$  in the reservoir mixture.

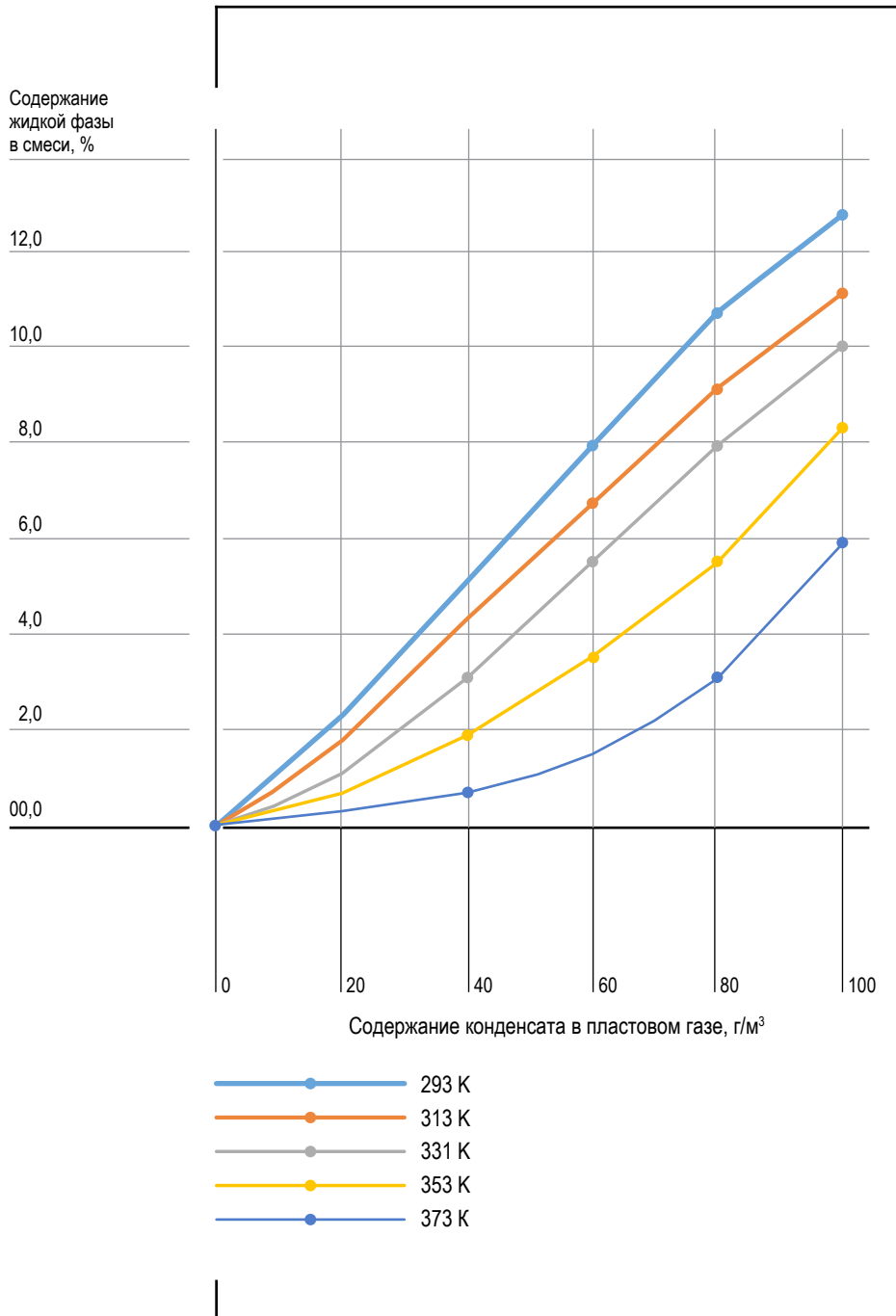


Рис. 6.

**Зависимость влияния количества конденсата в пластовом газе и температуры на выпадение жидкой фазы.**

Fig. 6. Dependence of the influence of the amount of condensate in the formation gas and liquid phase precipitation temperature.

фазового поведения, хотя влияет на процесс снижения давления начала конденсации, а степень его снижения зависит от содержания  $\text{CO}_2$  в пластовой системе. По результатам опытов методом контактной и дифференциальной конденсации установлено, что температура повышает растворимость конденсатосодержащих углеводородов в пластовом газе, изменяя конденсатоотдачу. Сравнение результатов экспериментальных исследований позволило определить степень влияния азота и углекислого газа на изменение свойств пластовой газоконденсатной системы в условиях разработки Чайядинского нефтегазоконденсатного месторождения.

### **Библиографический список**

1. Антонова Т.Ф. Флюидоносные комплексы в Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции / Т.Ф. Антонова, Л.И. Килина, Н.В. Мельников // Труды СНИИГГиМСа, 1977. Вып. 254. С. 75–79.
2. Краснова Е.И. Результаты исследования фазового поведения углеводородов при наличии пластовой воды в газоконденсатной системе / Е.И. Краснова, С.И. Грачев // Академический журнал Западной Сибири, 2012. № 4. С. 10.
3. Конторович В.А. Критерии классификации платформенных структур / В.А. Конторович, С.Ю. Беляев, А.Э. Конторович // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 2004. № 1. С. 47–58.
4. Гуревич Г.Р. Влияние неуглеводородных компонентов на величину давления начала конденсации / Г.Р. Гуревич, И.А. Леонтьев, Л.Я. Непомнящий // Газовая промышленность. 1982. № 9. С. 23–24.
5. Леонтьев И.А. Влияние различных компонентов на давление начала конденсации пластовых смесей / И.А. Леонтьев, Л.Я. Непомнящий // в кн.: Теория и практика разработки газовых и газоконденсатных месторождений с низкопроницаемыми коллекторами. М., 1987. С. 109–113.
6. Краснова Е.И. Оценка увеличения продуктивности газоконденсатных скважин на поздней стадии разработки месторождений / Е.И. Краснова, Т.Д. Островская // Академический журнал Западной Сибири. 2013. Т. 9. № 6 (49). С. 31.
7. Островская Т.Д. Исследования газоконденсатных смесей, содержащих  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$  / Т.Д. Островская, И.А. Гриценко // Газовая промышленность, 1983. № 8. С. 31–32.

8. Островская Т.Д. Метод внесения поправок по влиянию углекислого газа на фазовые превращения пластовых систем / Т.Д. Островская, А.И. Гриценко, В.И. Желтовский // Газовая промышленность. 1988. № 1. С. 44–45.
9. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа / А.И. Брусиловский. М.: Грааль, 2002. 575 с.
10. Гриценко А.И. Научные основы прогноза фазового поведения пластовых газоконденсатных систем / А.И. Гриценко, И.А. Гриценко, В.В. Юшкин и др. М.: Недра, 1995. 432 с.
11. Брусиловский А.И. Методы расчета дифференциальной конденсации многокомпонентных систем / А.И. Брусиловский // Тр. МИНХ и ГП им. И.М. Губкина. 1985. Вып. 182. С. 67–77.
12. Гриценко И.Ю. PVT-исследования Уренгойского месторождения ачимовская свита / И.Ю. Гриценко, Т.Д. Островская, В.В. Юшкин // Изучение углеводородных систем сложного состава. М.: ВНИИГАЗ, 2000. С. 12–15.
13. Zeinalabideen M.J., Katanova R.K., Krasnov I.I., Inyakina E.I. Study of the effect of formation water during reserves estimation and designing hydrocarbon recovery of oil and gas condensate fields // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. 2020. Т. 8. № 4. С. 2029–2034.
14. Inyakina E.I., Alsheikhly M.D.Z., Katanova R.K. Justification of condensate recovery during development of productive layers in Termokarstovoye field // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Science and Technology Conference "Earth Science" - Chapter 3". 2021. С. 1–6.
15. Катанова Р.К. Исследование PVT-свойств газоконденсатных залежей, контактирующих с остаточной нефтью / Р.К. Катанова, И.И. Краснов // В сб.: Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса. Материалы XI Международной конференции посвященной 40-летию филиала ТИУ в г. Нижневартовске. Тюмень, 2021. С. 109–112.
16. Инякина Е.И., Катанова Р.К., Инякин В.В., Альшейхли М.Д.З. Изучение влияния остаточной нефти на пластовые потери конденсата на Среднеботуобинском нефтегазоконденсатном месторождении // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 1. С. 39–52.

## References

1. Antonova T.F. Fluid-bearing complexes in the Leno-Tunguska oil and gas province / T.F. Antonova, L.I. Kilina, N.V. Melnikov // Proceedings of SNIIGGiMS, 1977. Issue. 254. P. 75–79.
2. Krasnova E.I. The results of the study of the phase behavior of hydrocarbons in the presence of formation water in the gas condensate system. / E.I. Krasnova, S.I. Grachev // Academic Journal of Western Siberia, 2012. No. 4. P. 10.
3. Kontorovich V.A. Criteria for the classification of platform structures. / V.A. Kontorovich, S.Yu. Belyaev, A.E. Kontorovich // Geology, geophysics and development of oil fields, 2004. No. 1. P. 47–58.
4. Gurevich G.R. Influence of non-hydrocarbon components on the pressure value of the onset of condensation / G.R. Gurevich, I.A. Leontiev, L.Ya. Nepomniachtchi // Gas industry, 1982. No. 9. P. 23–24.
5. Leontiev I.A. Influence of various components on the pressure of the beginning of condensation of reservoir mixtures / I.A. Leontiev, L.Ya. Nepomniachtchi // in the book: Theory and practice of development of gas and gas condensate fields with low-permeability reservoirs. M., 1987. P. 109–113.
6. Krasnova E.I. Evaluation of the increase in the productivity of gas condensate wells at a late stage of field development / E.I. Krasnova, T.D. Ostrovskaya // Akadem. Journal of Western Siberia, 2013. Vol. 9. No. 6 (49). P. 31.
7. Ostrovskaya T.D. Studies of gas condensate mixtures containing  $N_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$  / T.D. Ostrovskaya, I.A. Gritsenko // Gas industry, 1983. No. 8. P. 31–32.
8. Ostrovskaya T.D. The method of making corrections for the effect of carbon dioxide on the phase transformations of reservoir systems / T.D. Ostrovskaya, A.I. Gritsenko, V.I. Zheltofsky // Gas industry. 1988. No. 1. P. 44–45.
9. Brusilovsky A.I. Phase transformations in the development of oil and gas fields / A.I. Brusilovsky. M.: Grail, 2002. 575 p.
10. Gritsenko A.I. Nauchnye osnovy prognoza fazovogo behadve stratovykh gazokondensatsionnykh sistem [Scientific bases for predicting the phase behavior of reservoir gas condensate systems]. Gritsenko, I.A. Gritsenko, V.V. Yushkin and others. M.: Nedra, 1995. 432 p.
11. Brusilovsky A.I. Methods for calculating differential condensation of multicomponent systems / A.I. Brusilovsky // Tr. MINKH and GP named after I.M. Gubkin. 1985. Issue. 182. P. 67–77.

12. Gritsenko I.Yu. PVT - studies of the Urengoy deposit Achimov suite / I.Yu. Gritsenko, T.D. Ostrovskaya, V.V. Yushkin // Study of complex hydrocarbon systems. M.: VNIIGAZ, 2000. P. 12–15.
13. Zeinalabideen M.J., Katanova R.K., Krasnov I.I., Inyakina E.I. Study of the effect of water formation during reserves estimation and designing hydrocarbon recovery of oil and gas condensate fields. // Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 2020. Vol. 8. No. 4. P. 2029–2034.
14. Inyakina E.I., Alsheikhly M.D.Z., Katanova R.K. Justification of condensate recovery during development of productive layers in Termokarstovoye field. // Collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. “International Science and Technology Conference “Earth Science” - Chapter 3”. 2021. P. 1–6.
15. Katanova R.K. Study of PVT-properties of gas condensate deposits in contact with residual oil / R.K. Katanova, I.I. Krasnov // In: Experience, current problems and prospects for the development of the oil and gas complex. Materials of the XI International Conference dedicated to the 40th anniversary of the TIU branch in Nizhnevartovsk. Tyumen, 2021. P. 109–112.
16. Katanova R.K., Krasnov I.I., Inyakina E.I., Alsheikhly M.D.Z. Estimation of the influence of oil flows on the formation losses of condensate during the development of multi-layer deposits. In the collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. “International Science and Technology Conference “Earth Science”, ISTC EarthScience 2022 - Chapter 1.” 2022. P. 1–9.

**Поступило в редакцию 04.06.2022, принята к публикации 25.07.2022.**

### **Об авторах**

**Добролюбова** Розалия Кирилловна, старший преподаватель базовой кафедры «Нефтегазовое дело», МПТИ (ф) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова», тел. 89141123507. E-mail: rose941101@mail.ru

**Инякина** Екатерина Ивановна, к.т.н., доцент кафедры РЭНГ, Тюменский индустриальный университет, тел. 89220428466. E-mail: injakinaei@tyuiu.ru

**Краснов** Иван Игнатьевич, к.т.н., доцент базовой кафедры «Нефтегазовое дело», МПТИ (ф) ФGAOU BO «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», тел. 89044905191. E-mail: iikrasnov17@gmail.com

#### **About the authors**

**Dobrolyubova** Rozalia Kirillovna, Senior Lecturer of the Basic Department of Oil and Gas, Mirny Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University, named after M.K. Ammosov, tel. 89141123507. E-mail: rose941101@mail.ru

**Inyakina** Ekaterina Ivanovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the RENG Department, Tyumen Industrial University, tel. 89220428466. E-mail: injakinaei@tyuiu.ru

**Krasnov** Ivan Ignatievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Basic Department of "Oil and Gas Business", MPTI (f) FGAOU VO "North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov", tel. 89044905191. E-mail: iikrasnov17@gmail.com



25.00.23 (1.6.12)  
УДК 551.324.2+556

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ,  
ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

**Керимов А. М.,  
Курашева О.А.**

Высокогорный геофизический институт,  
г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

## **ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ЛЕДНИКАХ И РЕЧНЫХ ВОДАХ БАСЕЙНА РЕКИ ЧЕРЕК БЕЗЕНГИЙСКИЙ ПРИ ИНТЕНСИВНОЙ ДЕГРАДАЦИИ ОЛЕДЕНЕНИЯ**

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.3.5

**Введение.**

Ледники в горных районах являются аккумуляторами атмосферной влаги и одновременно одним из основных источников питания главных рек Кавказа, а также перспективными источниками пресной воды. Особенно это относится к рекам бассейна крупнейшего узла оледенения – Безенгийского. Но кроме дефицита пресной воды существует и другая проблема: её качество. Цель работы: дать пространственно-временную характеристику распределения концентрации тяжелых металлов (ТМ) в ледниках Безенги и Мижирги, а также в р. Черек Безенгийский в период с начала XXI века.

**Материалы и методы**

**исследований.**

В работе проведен сравнительный анализ концентраций ТМ, содержащихся в ледниках и речных водах бассейна р. Черек. Отбор проб производился, начиная с истока реки Черек, в периоды с разным гидрологическим режимом. При отборе проб воды фиксировались температура воздуха, воды и прозрачность. Консервация проб осуществлялась азотной кислотой в день отбора проб. Определены концентрации следующих ТМ, современных приоритетных загрязнителей окружающей природной среды: Cr, Ni, Mo, Mn, Pb, Zn, Ag, Cu, Cd. Определение содержания ТМ в пробах льда, и речных вод выполнялось с 2003 г. по 2010 г. в Высокогорном геофизическом институте методом эмиссионного спектрального анализа. Анализ проб 2012–2021 гг. производились атомно-абсорбционным методом на спектрометре МГА–915.

**Результаты исследований**

**и их обсуждение.**

Обнаружено, что химический состав воды у истоков реки и на языке ледников более близки, чем в нижнем течении реки. Концентрация ТМ начала XXI века значительно превы-

шают концентрации ТМ за последние годы. В зимних пробах 2018–2019 гг. во многих пробах содержание некоторых ТМ ниже их предела обнаружения (П/о). Последние серии проб охватывают несколько пунктов на р. Черек Балкарский и после слияния их и образования р. Черек.

#### Выводы.

Обследовано содержание ТМ в одном из самых мощных узлов оледенения Кавказа – Безенгийском. Полученные результаты позволяют судить о миграции ТМ в системе снежно-фирново-ледяная толща – талые воды рек ледникового питания у их истоков. Для речных вод бассейна р. Черек Безенгийский и ледников Безенги и Мижирги в последней серии проб зимнего пробоотбора (2018-2019 гг.) наблюдается уменьшение концентрации ТМ. Связано это с тем, что содержание ТМ в пробах зимнего отбора близки к содержанию их в твердых осадках. А для других серий проб содержание ТМ определяется таянием сошедших лавин и обвалами льда со склонов, которые составляют значительную часть баланса ледников Безенги и Мижирги и способствуют повышению концентрации ТМ в талых водах.

**Ключевые слова:** ледник Безенги, Мижирги, р. Черек Безенгийский, Северный Кавказ, эмиссионный спектральный анализ, атомно-абсорбционный анализ, предел обнаружения ТМ, миграция ТМ в ледниках.

**Kerimov A.M.,  
Kurasheva O.A.**

High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik,  
Kabardino-Balkarian Republic, Russia

### **Heavy Metals in Glaciers and River Water of the Basin of the Bezengi Cherek River During Intense Graciation Degradation**

#### Introduction.

Glaciers in mountainous areas are accumulators of atmospheric moisture and at the same time one of the main sources of food for the main rivers of the Caucasus and are promising sources of fresh water. This is especially true for the rivers of the basin of the largest glaciation unit - Bezengi. But besides the shortage of fresh water, there is another problem: its quality. Purpose of the work: to give a spatial and temporal characteristic of the distribution of the concentration of heavy metals (HM) in the Bezengi and Mizhirgi glaciers, as well as in the river. Cherek Bezengi in the period from the beginning of the XXI century.

## Materials and methods

of research.

In this work, a comparative analysis of the concentrations of HM contained in glaciers and river waters of the river basin was carried out. Cherek. Sampling was carried out starting from the source of the Cherek River, during periods with different hydrological regimes. When sampling water, the temperature of air, water and transparency were recorded. Samples were preserved with nitric acid on the day of sampling. The concentrations of the following HMs, modern priority environmental pollutants, were determined: Cr, Ni, Mo, Mn, Pb, Zn, Ag, Cu, Cd. The determination of HM content in ice samples and river waters was carried out from 2003 to 2010 at the High Mountain Geophysical Institute by the method of emission spectral analysis. Sample analysis 2012–2021 were produced by the atomic absorption method on an MGA-915 spectrometer.

## Results

and discussion.

It was found that the chemical composition of water at the headwaters of the river and in the tongue of glaciers is closer than in the lower reaches of the river. HM concentrations at the beginning of the 21st century significantly exceed HM concentrations in recent years. In winter samples 2018–2019. in many samples, the content of some HMs is below their detection limit (L/L). The latest series of samples cover several points on the river. Cherek Balkar and after their confluence and the formation of the river. Cherek.

Conclusions.

The content of HMs in one of the most powerful glaciation centers in the Caucasus, Bezengi, was studied. The results obtained make it possible to judge the migration of HMs in the system of snow-firn-ice thickness - melt waters of glacier-fed rivers at their sources. For river waters of the river basin. Cherek Bezengi and the Bezengi and Mizhirgi glaciers in the last series of winter sampling samples (2018-2019) there is a decrease in the concentration of HMs. This is due to the fact that the content of HMs in winter sampling samples is close to their content in solid sediments. And for other series of samples, the content of HMs is determined by the melting of avalanches and ice falls from the slopes, which constitute a significant part of the balance of the Bezengi and Mizhirgi glaciers and contribute to an increase in the concentration of HMs in melt waters.

Key words:

Bezengi glacier, Mizhirgi, r. Cherek Bezengi, North Caucasus, emission spectral analysis, atomic absorption analysis, limit of detection of HMs, migration of HMs in glaciers.

## **Введение**

Для горных районов с современным оледенением снеговой и ледниковый сток составляют значительную долю водного баланса рек. Но, интенсивная деградация оледенения влияет не только на ледниковый сток, но и на такую важнейшую характеристику ледников, как их химический состав. Химический состав ледников формируется под влиянием климатических, вулканических, космических, почвенно-геологических, биологических, физических, антропогенных процессов [5]. Поскольку большинство рек Центрального Кавказа берут свое начало на северных склонах Центрального Кавказа и имеют ледниковое питание, закономерно возникает вопрос о взаимосвязи химического состава снежно-фирново-ледяной толщи и речных вод. Информация о качестве поверхностных вод у их истоков является исходной для последующего контроля за возникающими изменениями их химического состава и причинами, вызывающими эти изменения [4, 8, 18]. С этой целью исследовано содержание тяжелых металлов в пробах льда ледников Безенги и Мижирги и речных водах в верховьях бассейна р. Черек Безенгийский.

Река Черек образуется в результате слияния рек Черек Балкарский и Черек Безенгийский (Хуламский) и является правым притоком р. Баксан. Истоком реки являются ледники Главного Кавказского хребта. Длина реки 131 км (считая от истока р. Черек Балкарский); площадь водосбора 3070 км<sup>2</sup> [6, 16-17].

## **Материалы и методы исследований**

Отбор проб в ледниках и речных водах бассейна р. Черек производился, начиная с истока реки, в периоды с разным гидрологическим режимом (весенняя межень – март, апрель; летнее половодье – июль, август; осенняя межень – сентябрь, октябрь). Химический состав воды р. Черек и ее притоков определялся на протяжении 60 км до с. Аушигер, начиная с языков ледников Безенги и Мижирги (в 12 стационарных пунктах отбора проб). Отбор проб производился в пластмассовые ёмкости, объемом 250 мл. При отборе проб фиксировались: координаты пункта отбора, время отбора, температура воздуха, воды и её прозрачность [2, 9]. Консервация проб осуществлялась азотной кислотой в день отбо-

ра проб [19-20]. Определены концентрации следующих ТМ, современных приоритетных загрязнителей окружающей природной среды: Cr, Ni, Mo, Mn, Pb, Zn, Ag, Cu, Cd. Определение содержания ТМ в пробах льда, и речных вод выполнялось с 2003 по 2010 г. в Высокогорном геофизическом институте методом эмиссионного спектрального анализа. Методика определения подробно описана в работе [3], указанная аппаратура и методика прошли международную аттестацию приборов и методов для определения микроэлементов в природных средах. Анализ проб 2012–2021 гг. производились атомно-абсорбционным методом на спектрометре МГА–915 [11].

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Ледники в бассейне р. Черек Безенгийский достаточно хорошо изучены в балансовом отношении [7, 16–17]. Геохимические исследования в этом районе проводились гораздо реже [1]. Нами эпизодически производились отбор проб и определение содержания ТМ на языковых частях ледников Безенги и Мижирги, а также из речных вод бассейна р. Черек Безенгийский. Результаты анализа двух серий проб с ледника Мижирги и четырёх серий проб с ледника Безенги приводятся в таблице 1. В упомянутых сериях пробоотбор проводился в период с 2003 по 2012 г., преимущественно в августе–сентябре – в конце периода абляции. Талые воды дренировали горные породы на склонах, поверхностные морены ледников, следовательно, невозможно выделить, какой источник вносит основной вклад в содержание ТМ в этих пробах льда и речных водах. Результаты анализа этой серии проб приводятся в таблице 1. Из таблицы 1 следует очень большая контрастность концентрации ТМ, как по годам, так и по содержанию ТМ в ледниках бассейна р. Черек Безенгийский и речных водах бассейна. Анализ таблицы 1 показывает, что приведённые ТМ, за исключением Мо содержатся в предельно-допустимых концентрациях (ПДК) и выше для вод водоёмов рыбохозяйственного назначения [10], но пригодны для культурно-бытового назначения (ПДК<sup>1</sup> – предельно-допустимые концентрации для водоемов рыбохозяйственного назначения) [12–15].

Таблица 1. ТМ В ПРОБАХ ЛЬДА И РЕЧНЫХ ВОДАХ В ВЕРХОВЬЯХ БАССЕЙНА  
Р. ЧЕРЕК БЕЗЕНГИЙСКИЙ (мкг/л) (2003–2012 гг.)

Table 1. HM in ice samples and river waters in the upper reaches  
of the river basin. Cherek Bezengi (µg/l) (2003–2012)

Категория проб	Cr	Ni	Mo	Mn	Pb	Zn	Cu	Год
БЕЗЕНГИ								
Лёд*	4,17	1,17	—	6,17	2,29	594,33		Август 2003
Ручей на леднике	3,42	1,82	—	8,56	0,30	>5000,0		
	0,19	0,35	—	0,88	0,42	5,36		
Ручей южный склон	0,45	0,44	0,33	1,12	0,30	25,92		
р. Черек Безенгийский	1,46	2,19	0,38	9,62	0,20	28,59		
Безенги лёд	6,69	2,57	—	10,04	0,90	67,65		Август 2009
Безенги лед	10,88	2,65	0,28	10,48	3,78	50,89		
	10,62	0,77	0,68	6,86	0,87	39,16		
Безенги из под ледника	37,90	8,83	0,80	8,44	14,72	66,20		
Ручей с ледника Безенги	23,48	3,92	0,50	31,30	8,78	26,78		
Безенги, ручей с ледника	21,42	7,01	0,34	7,35	10,97	22,76		
р. Черек Хуламский, ниже с. Безенги	4,33	0,71	0,31	13,34	6,18	4,98		
р. Черек Хуламский, ниже с. Карасу	31,01	5,50	0,52	14,11	5,31	34,64		
р. Черек Безенгийский, на выходе из ущелья	3,66	1,12	—	18,36	7,30	6,32		

Категория проб	Cr	Ni	Mo	Mn	Pb	Zn	Cu	Год
Безенги лед	1,77	0,89	—	6,01	0,50	6,21		Сентябрь 2010
	1,16	0,99	0,30	4,31	1,20	18,03		
	1,35	0,61	0,19	2,51	1,63	12,96		
	0,67	0,48	—	6,02	0,6	9,97		
Ручей с ледника Безенги	1,69	0,66	0,24	4,81	0,51	2,82		
Ручей из под ледника	0,85	0,86	0,48	13,94	0,61	9,10		
	1,28	0,57	0,30	4,29	1,59	11,91		
р. Черек Безенгийский у моста	2,41	1,98	0,56	5,60	2,18	13,72		
р. Черек Безенгийский (19)	1,28	1,03	0,45	6,86	1,42	18,72		
р. Черек Безенгийский, ниже с. Безенги	1,57	0,74	0,56	4,97	0,56	8,89		
р. Черек Безенгийский, у моста	0,49	0,32	0,35	2,16	—	2,02		
р. Черек Безенгийский, с. Бабугент	0,50	0,37	0,29	4,29	0,46	7,98		
Безенги низ, лёд	1,03	156,49	0	8,41	2,30	3050,56	679,42	
Безенги верх, лёд	0,61	15,81	0	6,79	6,03	4164,0	568,25	
Безенги низ, вода	0,52	18,91	0	6,38	1,95	3224,80	575,42	
Безенги верх, лёд	0,97	22,23	0	8,25	1,20	828,45	169,78	
Безенги низ, лёд	13,82	33,99		52,43	2,61	157,02	68,32	
Безенги верх, вода	15,60	30,67		58,39	5,24	167,60	63,57	

Категория проб	Cr	Ni	Mo	Mn	Pb	Zn	Cu	Год
Безенги верх, вода	19,41	27,14		38,22	4,20	175,90	65,37	Сентябрь 2012
Безенги низ, вода	3,46	7,63		27,35	2,27	883,48	523,03	

## МИЖИРГИ

Лёд Мижирги	11,43	3,48	0,31	9,45	1,70	12,57		Август 2006
Мижирги лёд	12,31	5,46	0,28	13,74	5,21	41,79		
Лёд Мижирги	5,13	8,35	0,42	9,87	3,13	72,86		
Мижирги из под ледника	30,84	3,17	0,24	8,10	3,67	9,28		
Мижирги верх, лёд	0,71	18,99	0	11,39	2,08	150,35	64,91	Сентябрь 2012
Мижирги низ, лёд	1,76	36,70	0	22,89	0,53	1377,31	150,94	
Мижирги верх, лёд	0,79	29,94	0,03	16,64	3,68	6512,12	777,84	
Мижирги грот, лёд	2,18	24,08	0,14	28,83	3,78	176,11	128,79	
Мижирги за мореной, вода	3,83	5,67		26,20	9,13	692,70	523,03	
Мижирги грот, вода	3,43	5,63		24,54	10,53	98,16	38,93	
Мижирги верх, вода	3,41	4,82		12,73	4,00	112,89	51,24	
Мижирги верх	2,66	14,30		11,57	1,71	144,18	51,83	

Сокращения «верх», «низ» – означают верхнюю и нижнюю границы языка ледника; ( — ) – знак означает содержание ниже (П/о) металла, пустые графы – элемент не определялся/

\* Лёд – пробы льда в табл. 1 и 2 взяты с языков ледников.



Из таблицы 1 также следует, что концентрации ТМ в пробах 2003 г. не достигают ПДК<sup>1</sup>. Только концентрации Zn достигают до 500 ПДК<sup>1</sup> в талой ледниковой воде в ручье, текущей по поверхности ледника Безенги. В пробах 2009 г., как в пробах льда и так и в речных водах встречаются концентрации ТМ, выше их ПДК<sup>1</sup>. Содержание Мо и Ni меньше ПДК<sup>1</sup>. По результатам отбора проб в 2010 г. концентрация ТМ в речных водах была наименьшая. Только одна проба Mn и пять проб Zn превышают ПДК<sup>1</sup>. В 2012 г. выявлено сильное загрязнение речных вод ТМ, за исключением Мо. Для Zn и Cu их концентрации достигают сотен ПДК<sup>1</sup>. Эти пробы были отобраны при теодолитной съёмке языка ледника Безенги. Пробы, взятые в 2012 г., как и в предыдущие годы, отличаются высоким содержанием Zn и Cu. Zn достигает 67,9 ПДК<sup>1</sup>, а Cu – 679 ПДК<sup>1</sup>. Концентрации Cr 19 ПДК<sup>1</sup>; Ni – 16 ПДК<sup>1</sup>; Mn – 5,8 ПДК<sup>1</sup>; Pb – 1 ПДК<sup>1</sup>. Для данного ледника (Безенги) установить превалирующий источник ТМ из выше перечисленных практически не представляется возможности. Судя по содержанию Мо – это всё-таки талые воды, дренирующие через боковые и поверхностные морены.

Для ледника Мижирги имеются пробы только за два сезона (август 2006 г. и сентябрь 2012 г.) (табл. 1). Содержание ТМ в пробах за 2006 г. для Ni, Mo, Pb ниже их ПДК<sup>1</sup>. Cr, Mn, Zn содержатся в некоторых пробах выше ПДК<sup>1</sup>. В пробах 2012 г. содержание Cr, Mo ниже ПДК<sup>1</sup>. Ni, Mn и Pb содержатся в порядке ПДК<sup>1</sup> и несколько выше. Только Zn и Cu, как и в леднике Безенги содержатся в концентрациях, превышающих ПДК<sup>1</sup> в сотни раз. Говоря об источниках поступления ТМ в ледник Мижирги, следует отметить, что они идентичны с ледником Безенги. Геологическое строение и климато-метеорологические условия их достаточно схожи. На рисунке 1 приводится карта-схема концентрации ТМ в пробах льда ледников Безенги и Мижирги и речных водах в верховьях бассейна р. Черек Безенгийский. Карты составлены с помощью картографической программы «Google Earth Pro».

На рисунке 2 приводится пример диаграммы, отмеченной на карте-схеме по содержанию ТМ на леднике Безенги в пробах за 2003–2012 гг. В качестве примера выбраны эти параметры, так как в последних сериях проб (2018–2019 гг.) концентрации ТМ значи-

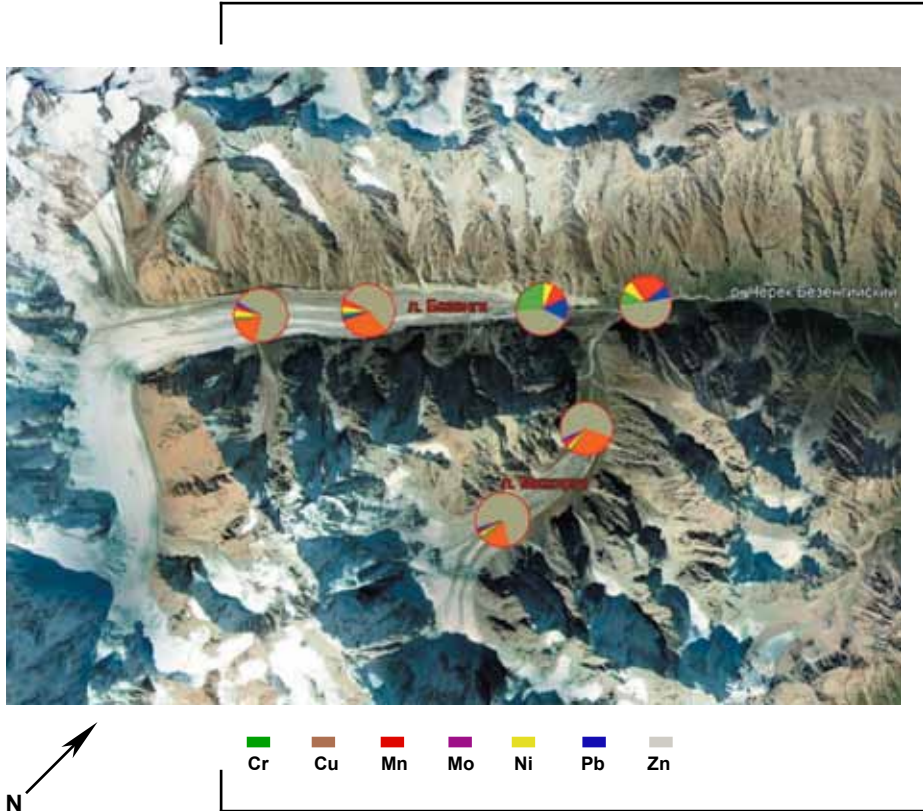


Рис. 1.

**Карта-схема концентрации ТМ в пробах льда и речных вод в верховьях бассейна р. Черек Безенгийский.**

Fig. 1. Map-scheme of HM concentration in samples of ice and river waters in the upper reaches of the river basin. Cherek Bezengi.

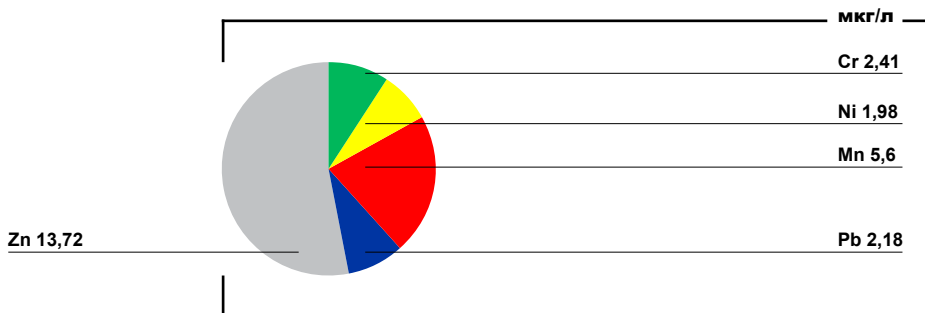


Рис. 2.

**Пример диаграммы отмеченной на карте-схеме концентрации ТМ в р. Черек Безенгийский у моста (2003–2012 гг.).**

Fig. 2. An example of a diagram marked on the map-scheme of the concentration of HM in the river. Cherek Bezengi near the bridge (2003–2012).

Таблица 2. КОНЦЕНТРАЦИИ ТМ В ПРОБАХ ЛЬДА И РЕЧНЫХ ВОДАХ, мкг/л, В БАССЕЙНЕ Р. ЧЕРЕК (2018–2019 гг.)

Table 2. HM concentrations in ice samples and river waters, µg/l, in the basin of the river. Cherek (2018–2019)

Категория проб	Дата отбора проб	Cr	Ni	Mo	Mn	Pb	Zn	Ag	Cu	Cd
Ледник Безенги	27.06.18	—	—	—	3,7	7,2	—	—		0,12
	27.02.19	3,6	—	—	17		—	—	1	
р. Черек Безенгийский, исток	27.06.18	1,8		—	35	6,3	—	—		1,9
	27.02.19	2,8		—	560		13	—	—	
	07.07.19	2	3,4	5,5	13	2,8	1,4	0,3	1,1	0,06
р. Мижирги	27.06.18	0,9	—	—	17	4,9	—	—		0,1
	27.02.19		—	1,9	14		8,2	—	—	
	07.07.19	1,4	1,7	н/о	9,1	2,1	1,4	0,6	1,3	0,015
р. Черек Безенгийский, выше с. Безенги	12.02.18	—	—	3,4	35	—	—	—		0,2
	27.06.18	—	—	—	13	—	—	—		
	27.02.19		—	1,5	43	14	11	—	—	
	07.07.19	01	1,9		22	3,5	1,4	0,5	1,9	0,021
р. Черек Хуламский, выше с. Карасу	12.02.18		—	2,7	29	2,5	6,5	—		0,2
	27.06.18	1,3	—	—	24	—	—	—		
	27.02.19		—	—	29	7,4	6,2	—	—	
	07.07.19	1,1	2,9	3,3	19	2,7	1	0,4	6,4	0,04

Категория проб	Дата отбора проб	Cr	Ni	Mo	Mn	Pb	Zn	Ag	Cu	Cd
р. Черек Хуламский, выше с. Бабугента	12.02.18	—	—	2,7	29	2,5	6,5	—	—	—
	27.06.18	1,3	—	—	24	—	—	—	—	0,25
	27.02.19	—	—	—	29	7,4	6,2	—	—	—
	07.07.19	1,1	2,9	3,3	19	2	1	0,4	6,4	0,04
						7				
р. Черек Балкарский, выше с. Бабугента	12.02.18	—	—	3,5	21	—	—	—	—	—
	27.06.18	1,3	—	—	8,3	—	—	—	—	0,22
	27.02.19	—	—	4,5	36	2,4	7,4	—	—	—
	07.07.19	1,7	1,8	3	25	2,9	1,3	0,6	2,4	0,09
р. Черек, ниже пгт. Кашхатау	12.02.18	—	—	2,4	29	—	6,9	—	—	—
	27.06.18	—	—	—	14	—	—	—	—	—
	27.02.19	—	—	3,5	35	2,9	5,3	—	1,2	—
	07.07.19	1,3	2,4	6	19	2,3	2	0,3	3,3	0,04
р. Хеу	12.02.18	—	—	2,7	58	2	—	—	—	—
	27.06.18	—	—	—	—	—	—	—	—	0,9
	27.02.19	—	—	1,8	53	4,3	53	—	—	—
	07.07.19	1,5	3	3,5	2,5	0,8	16	—	3	0,02
р. Черек, ниже с. Аушигера	12.02.18	—	—	2,2	29	4,4	—	—	—	—
	27.06.18	—	—	—	7,2	—	—	—	—	0,23
	27.02.19	—	—	2,4	26	3,8	—	—	—	—
	07.07.19	1,3	2,3	5,1	2,6	0,7	4	0,7	2,8	—

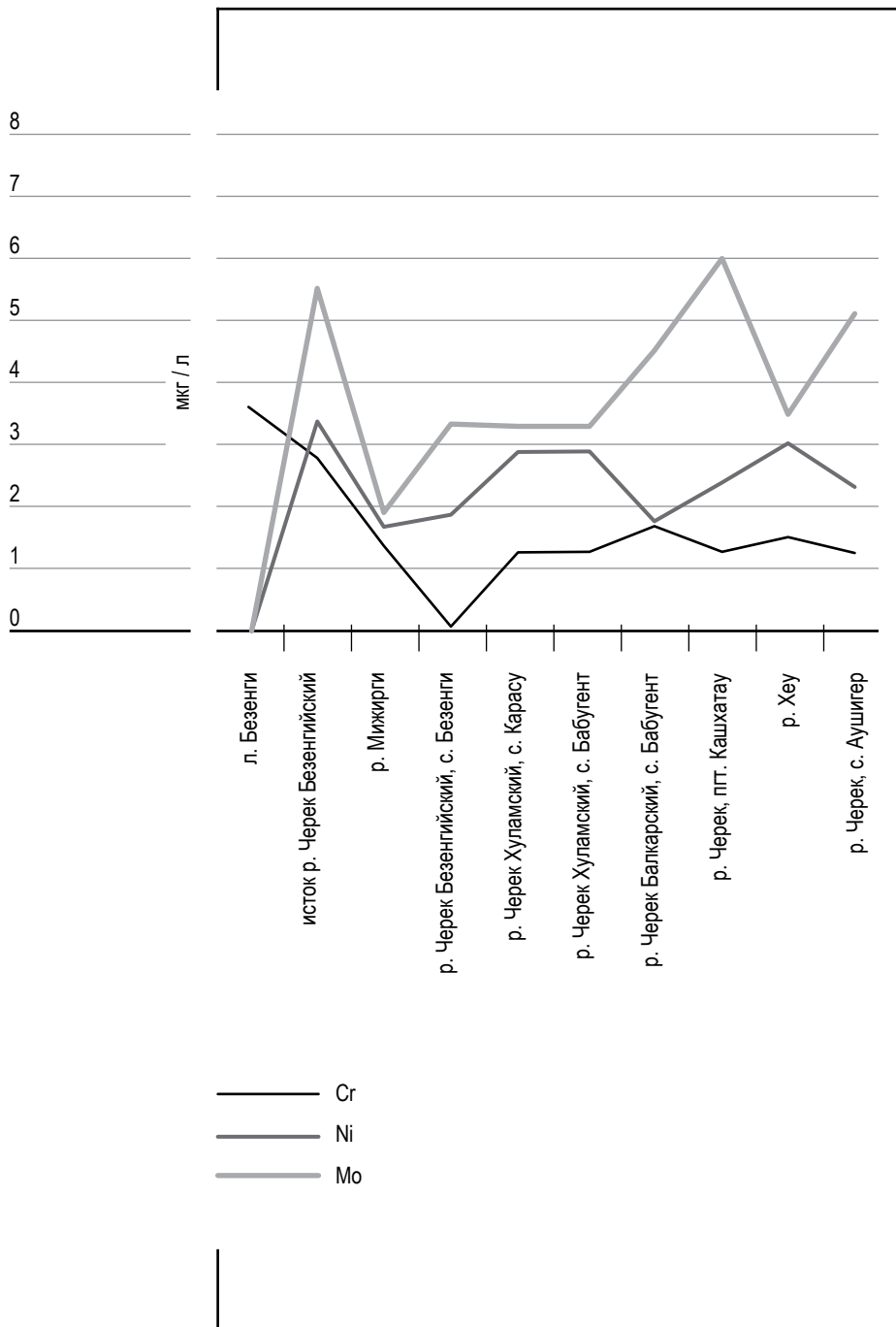


Рис. 3.

Динамика содержания Cr, Ni, Mo вниз по течению р. Черек за 2018–2019 гг.

Fig. 3. Dynamics of the content of Cr, Ni, Mo downstream of the river. Cherek for 2018–2019.

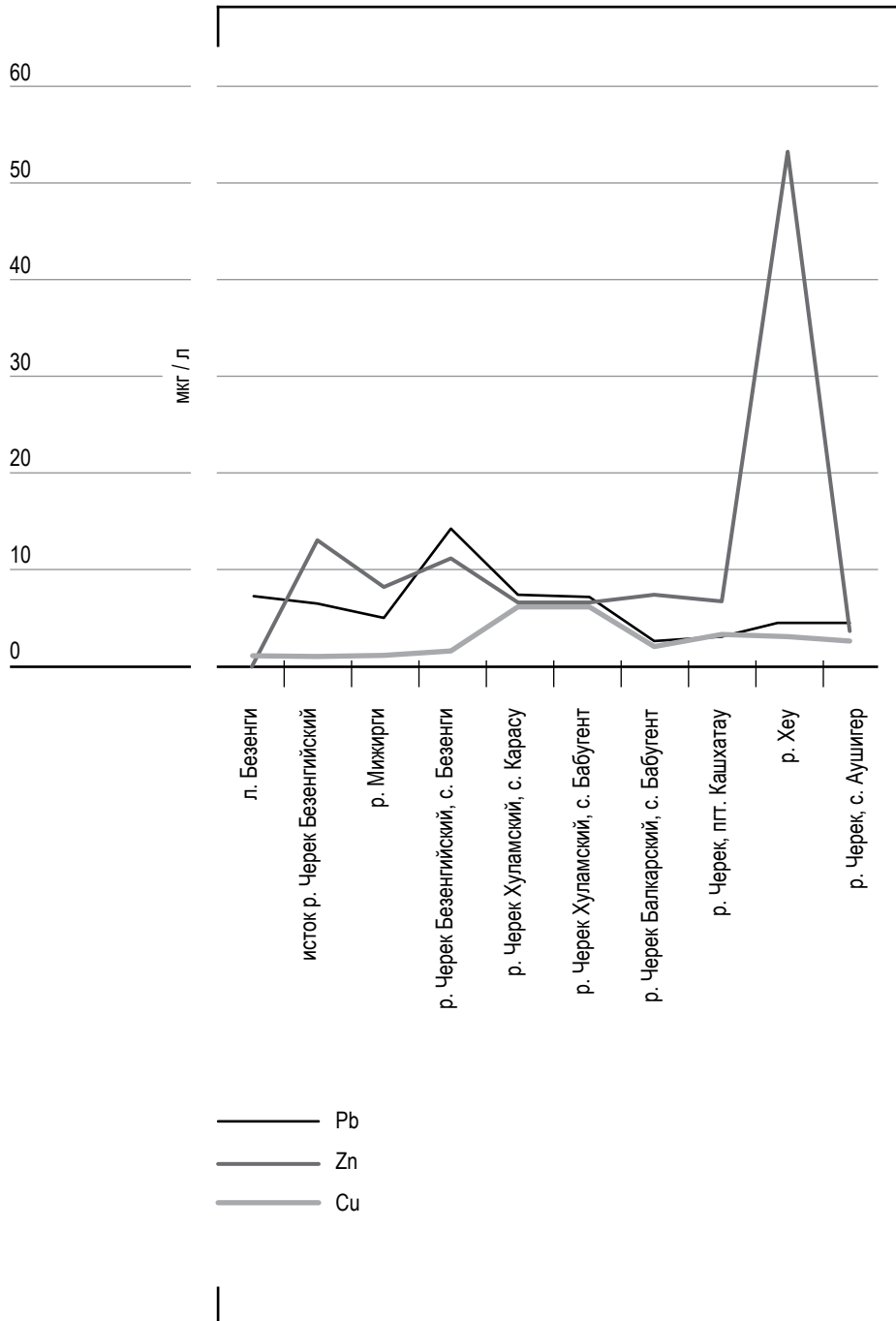
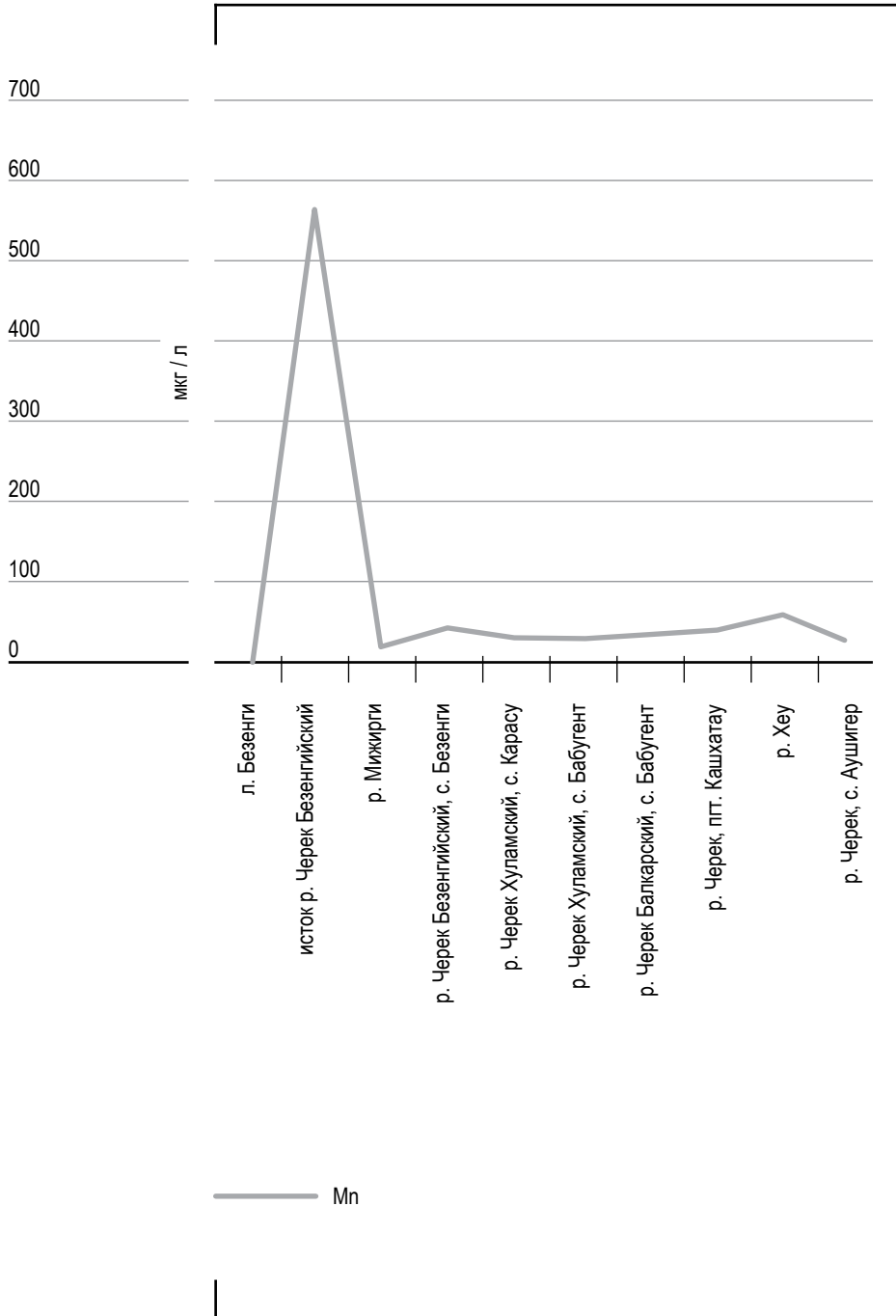


Рис. 4.

Динамика содержания Pb, Zn, Cu вниз по течению р. Черек за 2018–2019 гг.

Fig. 4. Dynamics of Pb, Zn, Cu content downstream of the river. Cherek for 2018–2019.



**Рис. 5.**

**Динамика содержания Mn вниз по течению р. Черек за 2018–2019 гг.**

Fig. 5. Dynamics of Mn content downstream of the river. Cherek for 2018–2019.

тельно ниже П/о (табл. 2). Но следует отметить, что последние серии – зимнего пробоотбора.

Во многих пробах концентрации ТМ меньше П/о при определении методом атомно-абсорбционного анализа на МГА-915, но в отличие от более ранних серий проб Мо содержится в концентрациях превышающих 3 ПДК<sup>1</sup>. Cr и Ni не достигают своего ПДК<sup>1</sup>. Содержание Mn достигает ПДК<sup>1</sup>; Pb меняется в пределах 1 ПДК<sup>1</sup>, а Zn достигает только одного ПДК<sup>1</sup>. Cu – достигает 6 ПДК<sup>1</sup>, а Cd и Ag не достигают ПДК<sup>1</sup>. Содержание ТМ в подземных водах р. Хеу также, существенно не отличается от вод ледникового питания. Ниже приводятся диаграммы динамики содержания ТМ в р. Черек от истока вниз по течению в сериях проб воды и льда за 2018–2019 гг. (рис. 3–5).

При сравнении данных (табл. 1 и 2) можно сделать вывод, что концентрация ТМ в водах ледникового стока несколько снижается в результате разбавления родниковыми, подземными водами и атмосферными осадками.

### **Выводы**

1. Обследовано содержание ТМ в одном из самых мощных узлов оледенения Северного Кавказа: Безенгийском. Полученные результаты позволяют судить о миграции ТМ в системе снежно-фирново-ледяная толща – талые воды рек ледникового питания у их истоков.
2. Пробы из языков ледников Безенги, Мижирги и р. Черек Безенгийский, отличаются повышенным содержанием ТМ, что в основном объясняется режимом питания ледника (снежные лавины и ледяные обвалы).
3. Для речных вод бассейна р. Черек Безенгийский и ледников Безенги и Мижирги в последней серии проб зимнего пробоотбора (2018-2019 гг.) наблюда-



ется уменьшение концентрации ТМ. Связано это с тем, что содержание ТМ в пробах зимнего отбора близки к содержанию их в твердых осадках. А для других серий проб содержание ТМ определяется таянием сошедших лавин и обвалами льда со склонов, которые составляют значительную часть баланса ледников Безенги и Мижирги и способствуют повышению концентрации ТМ в талых водах.

4. Полученные результаты свидетельствуют, что талые ледниковые воды рассматриваемого бассейна могут быть использованы для культурно-бытового назначения.

#### **Библиографический список**

1. Атабиева Ф.А., Геккиева С.О. Оценка уровня содержания соединений марганца и молибдена в воде рек бассейна р. Терек // Наука. Инновации. Технологии. 2020. №4. С. 161–170.
2. Атабиева Ф.А., Чередник Е.А., Отарова А.С. Пространственно-временная изменчивость уровня содержания соединений тяжелых металлов в воде рек Малка и Баксан // Наука. Инновации. Технологии. 2021. №3. С. 119–132.
3. Бурцев И.И., Бурцева Л.В., Воробьева Т.И. Методика определения микроэлементов в природных объектах при проведении геофизических исследований // Тр. Высокоторного геофизического института. 1980. Вып. 45. С. 51–66.
4. Гачечиладзе Г.А. Влияние ледниковых вод на формирование химического состава вод горных рек // Метеорология и гидрология. 1986. №1. С. 94–100.
5. Гляциологический словарь / под ред. В.М. Котлякова. Ленинград: изд. Гидрометеоиздат, 1984. 526 с.
6. Каталог ледников СССР. В 20 т. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1973. Т. 8. Часть 06–07. 95 с.
7. Керимов А.М., Курашева О.А. Деградация оледенения Центрального Кавказа с конца XIX века и характеристика химического состава речных вод ледникового питания // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод. Ростов-на-Дону, 2020. С. 59–64.

8. Керимов, А.М., Курашева О.А. Особенности формирования химического состава рек ледникового питания Центрального Кавказа при интенсивной деградации оледенения // Тезисы докладов XVII гляциологического симпозиума «Роль криосферы в прошлом, настоящем и будущем Земли». Санкт-Петербург, 2020. С. 66.
9. Керимов А.М., Курашева О.А. Содержание главных ионов в реке Черек от его истока до выхода в предгорную зону (КБР) // Успехи современного естествознания, 2021. № 11. С. 70–74. DOI. 10.17513/use.37715.
10. Керимов А.М., Курашева О.А. Речные воды ледникового питания, как качественные источники пресной воды (на примере рек Кабардино-Балкарской республики) // Системы обеспечения техносферной безопасности, материалы V Всероссийской конференции и школы молодых ученых (с международным участием). Таганрог, 2020. С. 129–131.
11. Методика измерений массовой концентрации алюминия, бария, бериллия, ванадия, железа, кадмия, кобальта, лития, марганца, меди, молибдена, мышьяка, никеля, свинца, селена, серебра, стронция, титана, хрома, цинка, в пробах природных и сточных вод атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией с использованием атомно-абсорбционного спектрометра модификаций МГА–915, МГА–915М, МГА–915МД. ННДФ 14.1:2.253–09 (М 01–46–2016). Москва, 2013. 36 с.
12. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния / пер. с англ. М.: Мир, 1987. 288 с.
13. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 10 марта 2020 г.). Министерство сельского хозяйства РФ. Приказ от 13.12. 2016. №552. 91 с.
14. Перечень нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения Приказ министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552.

15. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315-03. Москва: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения РФ, 2003. 152 с.
16. Панов В.Д. Режим и эволюция современного оледенения бассейна р. Черек Безенгийский. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1978. 135 с.
17. Панов В.Д. Эволюция современного оледенения Кавказа. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1993. 431 с.
18. Усубалиев Р.А. Изменение содержания химических элементов в системе «снег-фирн-талая ледниковая вода» // МГИ, 2006. №101. С. 173–175.
19. Chapman D.V., Meybeck M., Peters N.E. Water Quality Monitoring // Encyclopedia of Hydrological Sciences. April 2006. P. 2–17.
20. Lepom P., Hanke G. Chemical Monitoring of Surface Waters // The Water Framework Directive: Ecological and Chemical Status Monitoring. October, 2008.

### References

1. Atabieva F.A., Gekkieva S.O. Assessment of the Content Level of Manganese and Molybdenum Compounds in the Water of the Rivers of the River Basin Terek // Science. Innovations. Technologies. 2020. No. 4. P. 161–170.
2. Atabieva, F.A., Cherednik, E.A., Otarova, A.S. Spatial-time variability of the level of heavy metal compounds in the water of the Malka and Baksan rivers // Science. Innovations. Technologies. 2021. No. 3. P. 119–132.
3. Burtsev I.I., Burtseva L.V., Vorobieva T.I. Method of determination of microelements in natural objects during geophysical research. Tr. Alpine Geophysical Institute, 1980. Issue. 45. P. 51–66.
4. Gachechiladze G.A. Influence of glacial waters on the formation of the chemical composition of the waters of mountain rivers // Meteorology and hydrology. 1986. No. 1. P. 94–100.
5. Kotlyakov V.M. Glaciological dictionary. L.: ed. Gidrometeoizdat, 1984. 526 p.
6. Katalog lednikov SSSR. In 20 volumes. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973. Vol. 8. Part 06-07. 95 p.

7. Kerimov A.M., Kurasheva O.A. Degradation of glaciation in the Central Caucasus since the end of the 19th century and characteristics of the chemical composition of glacier-fed river waters. Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality, September 22–24. Rostov-on-Don, 2020. P. 59–64.
8. Kerimov A.M., Kurasheva O.A. The content of the main ions in the Cherek River from its source to the exit to the foothill zone (KBR)» Successes of modern natural sciences, 2021. No. 11. P. 70–74.
9. Kerimov A.M., Kurasheva O.A. Peculiarities of the formation of the chemical composition of the rivers of glacier feeding in the Central Caucasus during intensive degradation of glaciation // Abstracts of the XVII glaciological symposium "The role of the cryosphere in the past, present and future of the Earth". St. Petersburg, 2020. P. 66.
10. Kerimov A.M., Kurasheva O.A. River waters of glacial nutrition as high-quality sources of fresh water (on the example of the rivers of the Kabardino-Balkarian Republic) // Systems for ensuring technosphere safety, materials of the V All-Russian Conference and School of Young Scientists (with international participation). Taganrog, 2020. P. 129–131.
11. Method for measuring the mass concentration of aluminum, barium, beryllium, vanadium, iron, cadmium, cobalt, lithium, manganese, copper, molybdenum, arsenic, nickel, lead, selenium, silver, strontium, titanium, chromium, zinc, in samples of natural and wastewater by atomic absorption method with electrothermal atomization using atomic absorption spectrometer modifications MGA-915, MGA-915M, MGA-915MD. NNDF 14.1:2.253–09 (M 01–46–2016). Moscow, 2016. 36 p.
12. Moor J., Ramamurthy S. Heavy metals in natural waters: Control and assessment of impact / Per. from English. M.: Mir, 1987. 288 p.
13. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Order dated 13.12. 2016. On approval of water quality standards for water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance (as amended as of March 10, 2020). No. 552. 91 p.
14. List of water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies

- Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13. 2016. No. 552.
15. Russian Register of Potentially Hazardous Chemical and Biological Substances of the Ministry of Health of the Russian Federation. Maximum Permissible Concentrations (MPC) of Chemical Substances in the Water of Water Objects for Domestic Drinking and Cultural Water Use: Hygienic Standards. GN 2.1.5.1315-03. Moscow, 2003. 152 p.
  16. Panov, V.D. Regime and evolution of modern glaciation of the basin of the river. Cherek Bezengi. L.: Gidrometeoizdat, 1978. 135 p.
  17. Panov, V.D. Evolution of modern glaciation of the Caucasus. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993. 431 p.
  18. Usabaliev, R.A. (2006) Changes in the content of chemical elements in the "snow-firn-melt glacial water" system // MGI, No. 101. P. 173-175.
  19. Chapman D.V., Meybeck M., Peters N.E. Water Quality Monitoring // Encyclopedia of Hydrological Sciences. April, 2006. P. 2–17.
  20. Lepom P., Hanke G. (2008), Chemical Monitoring of Surface Waters // The Water Framework Directive: Ecological and Chemical Status Monitoring. October, 2008.

**Поступило в редакцию 07.08.2022,  
принята к публикации 17.09.2022.**

### **Об авторах**

**Керимов** Абдуллах Мухаметович, ведущий научный сотрудник ОСЯ ЛГ «Высокогорный геофизический институт», к.г.н. 360001, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина 2, Россия г. Нальчик, Россия.  
Телефон: +7 (903) 494-42-62.  
E-mail: kerimov.a.m@mail.ru

**Курашева** Оксана Альбертовна, младший научный сотрудник ОСЯ ЛГ «Высокогорный геофизический институт», 360001, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина 2, Россия.  
Телефон: +7 (967) 421-56-36.  
E-mail: oks.anchik@mail.ru

### **About the authors**

**Kerimov** Abdullah Mukhametovich Leading researcher of the OSYa LG "High-mountain Geophysical Institute", Ph.D. 360001, KBR, Nalchik, Lenin Ave. 2, Russia Nalchik, Russia.  
E-mail: kerimov.a.m@mail.ru,  
Phone:+7 (903) 494-42-62

**Kurasheva** Oksana Albertovna Junior Researcher, OSYa LG "High-mountain Geophysical Institute", 360001, KBR, Nalchik, Lenina pr. 2, Russia.  
E-mail: oks.anchik@mail.ru.  
Phone: +7 (967) 421-56-36

25.00.24 (1.6.13)  
УДК: 911.3: 911.6

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ  
И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

**Эшроков В.М.,  
Черкасов А.А.,  
Махмудов Р.К.,  
Верозуб Н.В.**

ФГАОУ ВО  
«Северо-Кавказский федеральный университет»,  
г. Ставрополь,  
Россия

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЛАНИРОВОЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ И УСТОЙЧИВЫЕ СИСТЕМЫ РАССЕЛЕНИЯ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ**

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.3.6

**Введение.**

Исследование особенностей пространственно-планировочной организации территории, традиционное для географии, в последнее время обретает «новую жизнь» в документах стратегического и территориального планирования. Вместе с тем, образование городских и муниципальных округов с упразднением сельских советов приводят к тому, что «выпадает» важнейшее звено стратегического и территориального планирования на уровне населенных пунктов. Апробация традиционных географических методов пространственного анализа в контексте градостроительного развития территории – главная задача исследования.

**Материалы и методы  
исследования.**

Фактурную основу работы составили разнообразные данные и материалы: официальной государственной и муниципальной статистики (официальной), кадастрового учёта, документов стратегического и территориального планирования, материалов социологических опросов и результатов натурного обследования городов и населенных пунктов, входящих в состав Ставропольского края. С помощью методов системного геоинформационного анализа создана структурная модель градостроительного развития Ставропольского края, содержащая базу данных и картографические основы различных масштабов.

**Результаты исследования**

**и их обсуждение.**

Исследование проведено на разных масштабах: Ставропольского края, макрозон расселения, главных городских агломераций Ставропольского края (Ставропольской и Кавказских Минеральных Вод (КМВ), отдельных муниципальных образований. Дана общая характеристика пространственно-планировочной организации территории Ставропольского края, выполнен анализ отдельных ее элементов: линейных (планировочных осей), узловых (планировочных центров и узлов), ареальных (планировочных зон), установлены и охарактеризованы современные тенденции

развития всей системы и отдельных элементов. Выделено 5 типов пространственно-планировочных зон на территории края. Разработана структурная модель градостроительного развития территории с помощью методов геоинформационного анализа и картографирования. Определены главные тренды пространственно-планировочной организации территории – концентрация и поляризация. Выявлены и охарактеризованы главные проблемы пространственного развития края.

**Выводы.**

Для целей стратегического и территориального планирования Ставропольского края анализ особенностей пространственно-планировочной организации территории позволяет определить территориальные потенциалы в виде ареалов и точек роста. Внутренние различия пространственно-планировочного развития территории Ставропольского края показывают существенную внутрирегиональную дифференциацию с высокой степенью географической контрастности и поляризации территории. Асимметрия регионального развития проявляется в смещении социально-экономических и градостроительных центров тяжести в западном и южном направлениях — в сторону главных агломераций региона — Ставропольской и КМВ. Предложенная структурная модель градостроительного развития показывает необходимость учета роли и потенциалов низовых сельских населенных пунктов, которые фактически «стираются» в условиях новой муниципальной реформы и образования больших городских и муниципальных округов.

**Ключевые слова:**

пространственно-планировочная организация территории, устойчивые системы расселения, структурная модель градостроительного развития.

**Eshrokov V.M.,  
Cherkasov A.A.,  
Makhmudov R.K.,  
Verozub N.V.**

North Caucasian Federal University,  
Stavropol,  
Russia

### **Spatial-Planning Territory Organization and Sustainable Settlement Systems of the Stavropol Region**

**Introduction.**

A traditional for geography study of the spatial and planning organization features of the territory has recently acquired a “new life” in strategic and territorial planning documents. At the same time, the formation of urban and municipal districts with the abolition of village councils lead to the fact that the most important link in strategic and territorial planning at the level of settlements “falls out”. Approbation of traditional



geographic methods of spatial analysis in the context of urban development of the territory is the main goal of the study.

**Materials and research methods.**

The basis of the work was a variety of data and materials: state and municipal statistics (official), cadastral registration, strategic and territorial planning documents, materials of sociological surveys and a field survey results of cities and towns that are part of the Stavropol Territory. Using the methods of systemic geoinformation analysis, a structural model of the urban development of the Stavropol Territory containing a geodatabase and cartographic bases of various scales was created.

**The results of the study**

**and their discussion.**

The study was carried out on different scales: the Stavropol Territory, macro-settlement areas, the main urban agglomerations of the Stavropol Territory (Stavropol and Caucasian Mineral Waters (CMW), individual municipalities). A general characteristic of the spatial planning organization of the Stavropol Territory is given, an analysis of its individual elements is made: linear (planning axes), nodal (planning centers and nodes), areal (planning zones), current trends in the development of the entire system and individual elements have been established and characterized. Five types of spatial planning zones in the territory of the region have been identified. A structural model of urban development of the territory has been developed using the methods of geoinformation analysis and mapping. The main trends in the spatial planning organization of the territory are determined - concentration and polarization. The main problems of the spatial development of the region are identified and characterized.

**Conclusions.**

For the purposes of strategic and territorial planning of the Stavropol Territory, an analysis of the features of the spatial planning organization of the territory makes it possible to determine the territorial potentials in the form of areas and points of growth. Internal differences in the spatial and planning development of the Stavropol Territory show significant intra-regional differentiation with a high degree of geographical contrast and polarization of the territory. The asymmetry of regional development is manifested in the shift of socio-economic and urban centers of gravity in the western and southern directions - towards the main agglomerations of the region - Stavropol and CMW. The proposed structural model of urban development shows the need to take into account the role and potential of grassroots rural settlements, which are actually "erased" under the new municipal reform and the formation of large urban and municipal districts.

**Key words:**

spatial-planning territory organization, sustainable settlement systems, structural model of urban development.

## **Введение**

Исследования особенностей пространственно-планировочной организации территории, традиционно составляют предмет географической науки. Именно этим аспектам были посвящены фундаментальные работы по районной планировке [4], концепции опорного каркаса расселения [5], полимасштабности географических исследований территории России [11]. Прикладное значение таких географических исследований очевидно высоко, особенно в контексте градостроительного проектирования, стратегического и территориального планирования. Это тем более актуально, что принятая в 2019 году Стратегия пространственного развития России определяет пространственное развитие, как «совершенствование системы расселения и территориальной организации экономики, в том числе за счет проведения эффективной государственной политики регионального развития» [9].

Вместе с тем, эти вполне очевидные аспекты «стираются» в результате муниципальной реформы, предполагающей реорганизацию местного самоуправления путем образования городских и муниципальных округов. В результате «линейка» стратегического и территориального целеполагания на этом (чрезвычайно важном!) пространственном уровне утрачена.

В таких условиях «совершенствовать систему расселения и территориальную организацию экономики» проблематично. Тем не менее, современные методы геоинформационного анализа и моделирования позволяют «восполнить» этот пробел, но сталкиваются с проблемой наполнения баз данных на уровне населенных пунктов. Отсутствие достоверных сведений (демографических, социальных, инфраструктурных, экономических и проч.) на главном уровне географических исследований – локальном, обезличивают градостроительные решения, делают их низко эффективными, подчас, абсурдными и нелепыми. Собственно этот факт определил актуальность анализа пространственно-планировочной организации территории Ставропольского края в условиях реализации муниципальной реформы.

## **Материалы и методы исследования**

Методология исследования построена на применении традиционных для географии подходов (принципов) комплек-

сности и полимасштабности [10]. Комплексность исследования основана на применении блоков различных методов (как общенаучных, так и специальных), обеспечивающих комплексный анализ проблем пространственного развития (в нашем случае – территории Ставропольского края). Принцип (подход) полимасштабности реализован через «приближение территории» (в случае необходимости детального микрогеографического анализа) или «расширение территориального охвата» (при очевидно необходимой генерализации) [11].

Фактурную основу работы составили разнообразные данные и материалы. В качестве источников информации о населении использованы количественные показатели Росстата (материалы текущего учета численности населения, половозрастной структуре, естественном воспроизводстве и миграции). Подготовка структурной модели градостроительного развития Ставропольского края основана на материалах ФГИС ТП (генеральные планы городских и муниципальных округов и схемы территориального планирования муниципальных районов). В работе широко использован метод экспертных оценок при моделировании пространственно-планировочной организации территории. На предварительных этапах исследования применялся контент-анализ документов.

В рамках исследования с помощью методов системного геоинформационного анализа создана структурная модель градостроительного развития Ставропольского края [16]. В качестве базового ГИС-инструмента выступает свободная кроссплатформенная геоинформационная система QGIS, состоящая из настольной и серверной части [20]. Для построения структурной модели градостроительного развития Ставропольского края подготовлена картографическая основа в масштабах 1:2 000 000 и 1:5 000 000.

На начальном этапе исследования была создана база данных по всем муниципальным образованиям Ставропольского края, содержащая 4 тематических блока:

- 1) **население** (численность, демографический прогноз до 2035 года, удельный вес в численности населения Ставропольского края, плотность, доля населения, проживающего в административном центре);

- 2) **экономика** (доля муниципалитета в ВРП Ставропольского края, специализация экономики – доля главной отрасли (по ОКВЭД), доля отраслей материального производства в общем объеме производства товаров и услуг, отраслевая структура занятости, объем ВРП на душу населения, доля в общем объеме инвестиций Ставропольского края, общее число инвестиционных проектов);
- 3) **пространственное развитие** (доля в площади Ставропольского края, число населенных пунктов в составе муниципалитета, доля городского и сельского населения, плотность сельских населенных пунктов (для муниципальных и городских округов, имеющих в своем составе сельские населенные пункты), коэффициент притяжения к Ставрополю и Пятигорску, среднее расстояние между населенными пунктами);
- 4) **градостроительное развитие** (общий коэффициент плотности застройки, плотность жилой застройки, коэффициент жилищной обеспеченности (отношение показателя жилищной обеспеченности муниципалитета к среднему по краю), объем ежегодного ввода жилья на душу населения, число инвестиционных площадок, плотность инвестиционных площадок).

База данных разработана в табличном процессоре MS Excel 2010 для удобства последующего конвертирования в QGIS и построения картографических моделей [17, 18].

Результаты и выводы исследования нашли практическое применение в материалах Схемы территориального планирования Ставропольского края: при разработке концепции развития агломерации КМВ и Ставропольской агломерации, анализе планировочной организации территории и системы расселения. Некоторые частные выводы и результаты использованы в генеральных планах муниципальных образований Ставропольского края (в частности, Будённовского, Кочубеевского и Труновского муниципальных округов, Изобильненского, Новоалександровского и Петровского городских округов).

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Планировочная структура территории Ставропольского края ориентирована на историческую систему расселения, сформировалась под влиянием природного и транспортного каркаса, основные транспортные коридоры находятся в тесной взаимосвязи и взаимодействии с функционально-планировочной структурой регионов Южного и Северо-Кавказского и федеральных округов. Фактически эти взаимодействия традиционны и интегрированы в «некогда понятный» Северо-Кавказский экономический район.

На территории Ставропольского края планировочные оси формируются вдоль основной сети автомобильных и железных дорог, и образуют, так называемое, урбанизированное кольцо с отходящими от него лучами.

Планировочными осями 1-го порядка являются транспортные артерии (федеральные и региональные автомобильные магистрали и железные дороги).

Несмотря на общий высокий уровень значимости в планировочной организации территории этих осей, максимально высокий уровень «планировочной значимости» имеет автомагистраль «Кавказ» [6], проходящая в южной части края. Совокупная численность городского населения, сосредоточенного в зоне влияния этой магистрали (в 2022 г. 761 тыс.) выше, чем численность населения краевого центра (в 2022 г. 458 тыс.). Важность этой оси связана и с концентрацией и разнообразием экономических функций в зоне ее влияния.

Планировочной осью 1-го порядка центральной и северной частей Ставрополя является федеральная автодорога «Астрахань – Элиста – Ставрополь».

Значимость обеих осей обусловлена, в том числе, и функциями внешних межрегиональных связей, которые эти оси обеспечивают.

Роль и значение железных дорог немного меньше. Планировочной осью 1-го порядка в этом контексте является железнодорожная ветка «Армавир (Краснодарский край) – Невинномысск – Минеральные Воды – Георгиевск – Новопавловск – Прохладный (Кабардино-Балкарская Республика)», проходящая практически параллельно автодороге «Кавказ». Главная планировочная роль этой оси – компенсация функций, которые не выполняет автомобильная планировочная ось – максимальный грузооборот и высокий уро-

вень дальних внешних коммуникаций. Планировочными осями второго порядка являются ответвления от основной железнодорожной магистрали на Кисловодск, Будённовск и Усть-Джегута (Карачаево-Черкесская Республика).

Несмотря на высокую значимость планировочных осей природного каркаса, в пространственно-планировочной организации территории края они выполняют «барьерные» функции, в то время, как транспортные оси обеспечивают связующую роль элементов системы. По этой причине роль природных осей существенно снижается [15].

Основными узловыми элементами (центрами, ядрами) планировочного каркаса Ставропольского края выступают городские округа и городские населенные пункты, выполняющие роль системообразующих центров прилегающих территорий и поселений.

Планировочные центры – места сосредоточения людских и материальных ресурсов, определяющих развитость и место территории в системе внешних связей [2], к которым относятся существующие крупные и большие города, интенсивно развивающиеся новые города, отдельно расположенные крупные промышленные и энергетические комплексы, основные транспортные узлы, которые и формируют планировочную структуру края.

Городские агломерации Ставропольского края (КМВ и Ставропольская) играют важную роль в формировании региональной планировочной структуры территории региона, выступают в качестве сложных систем узловых и линейных элементов.

Ведущую и системообразующую роль в пространственно-планировочной структуре Ставропольского края играют региональные столицы – Ставрополь (административный центр региона) и Пятигорск (административный центр СКФО). У каждого из городов набор собственных потенциалов: деловых, социальных, промышленных, торговых, бизнес-предпринимательских (чаще конкурирующих за краевое первенство).

Планировочные центры 2-го порядка, возникшие в местах пересечения планировочных осей (Буденновск, Георгиевск, Минеральные Воды, Невинномысск и «субрегиональные» центры – Изобильный и Светлоград), располагают наибольшим экономическим,

демографическим, социально-культурным потенциалом, в наибольшей степени подготовлены к выполнению функций по обслуживанию больших территорий.

Крупные сельские населенные пункты края (выделены 14 центров муниципальных округов и сельские населенные пункты с численностью населения более 10 тыс. человек) обладают высокой ролью в качестве субрегиональных центров – планировочных центров 3-го порядка, по совокупным потенциалам не уступают большинству малых городов [19].

Планировочную организацию Ставропольского края характеризует тесное взаимодействие узловых и линейных компонентов опорного каркаса расселения и пространственно-планировочной структуры. Этот факт подтверждается в ряде исследований (например [3, 5, 12] и др.) и обеспечивает формирование концентрированной и интегрированной форм расселения на территории края.

На территории Ставропольского края выделяются:

- 2 макрорегиональных узловых элемента: агломерация КМВ и Ставропольская агломерация (узловые элементами общегосударственного уровня – 1-го порядка);
- 2 мезорегиональных элемента: средний город – Буденновск и малый город – Светлоград (узловые центры 2-го порядка);
- 24 субрегиональных элемента: крупные сельские населенные пункты, малые и средние города (центры 3-го порядка).

Таким образом, на территории Ставропольского края выделены несколько типов пространственно-планировочных зон, сформированных вокруг перечисленных центров.

**Планировочная зона дисперсного хозяйственного освоения** – характеризуется относительно равномерной сетью городов и сельских населенных пунктов, охватывающей обширную территорию с освоенными и плотно заселенными ареалами.

К данной зоне относится агломерация КМВ – территория, сформировавшаяся на базе городов-курортов КМВ, Предгорного муниципального округа, Георгиевского и Минераловодского городских округов. Зона выполняет рекреационную, транспортную, тор-

говую и производственные функции. Эта планировочная зона расположена на юге «урбанизированного кольца» Ставропольского края и имеет «внешние выходы» в Карачаево-Черкессию, Кабардино-Балкарию и Чеченскую Республику.

Зона, несмотря на важность и значимость в пространственно-планировочной структуре Ставропольского края, имеет существенные ограничения возможностей для пространственного развития из-за особого режима зоны горно-санитарной охраны источников минеральных вод.

**Централизованная планировочная зона** – характеризуется наличием урбанизированной городской территории, доминирующей над другими соподчиненными населенными пунктами.

К данной планировочной зоне относится Ставропольская агломерация сформированная вдоль главной планировочной оси, проходящей с севера на юг через города: Изобильный, Михайловск, Ставрополь, Невинномысск и прилегающие к ним населенные пункты. Территория характеризуется высокой концентрацией промышленных производств, маятниковой трудовой миграцией [1, 8], высокой плотностью и численностью населения, концентрацией социально-экономических, административных и градостроительных функций и активностей.

**Планировочная зона групповой формы расселения с наличием центра межселенного обслуживания** характеризуется рассредоточением средних и крупных населенных пунктов вокруг города (малого или среднего) или села (как правило, крупного), имеющего функции административного, социального, культурного или центра агропромышленного комплекса (АПК). В данной планировочной зоне влияние агломераций ощущается в меньшей степени.

Такая планировочная организация, как правило, сформирована вокруг планировочных центров 2-го порядка – Светлограда и Буденновска, а также 3-го порядка – обычно это административные центры городских и муниципальных округов, а также крупные сельские населенные пункты без административных функций (обладающие высоким «притяжением» благодаря численности населения) – например, село Ачикулак (Нефтекумский городской округ), село Нины, село Обильное (Советский городской округ), село Ку-



гульта (Грачевский район) и др., формируя вокруг себя данную планировочную зону [13, 14]. Зона имеет дисперсный характер, проявляясь на территории края в виде ареалов, вокруг обозначенных выше центров притяжения.

На указанной территории наиболее выражена сельскохозяйственная функциональная направленность – производство и переработка сельскохозяйственной продукции.

**Групповая планировочная зона характеризуется** территориально сближенным расположением сельских населенных пунктов, при интенсивном развитии повседневных межселенных связей.

Данная планировочная зона занимает значительную площадь края. Ее структура состоит в основном из средних и крупных сельских населенных пунктов, без наличия явного лидера. Плотность населения в данной планировочной зоне имеет низкие показатели, присутствует ярко выраженная сельскохозяйственная направленность. Данная планировочная зона сформирована в основном внутри муниципальных округов, на территориях, удаленных от административного центра.

**Очаговые мелкоселенные планировочные зоны** характеризуются обособленно стоящими населенными пунктами, расположенными на значительном расстоянии от основных экономических и административных центров. Территория имеет низкую плотность населения и относительно редкую поселенческую сеть. Населенные пункты в таких зонах, как правило, рассредоточены, по численности не превосходят 500 чел. и на протяжении длительного времени теряют население [12].

К числу очаговых мелкоселенных планировочных зон относятся граничные территории Шпаковского, Кочубеевского и Андроповского муниципальных округов, расположенные между двумя крупными агломерациями края. Кроме этого, очаговая мелкоселенная планировочная зона характерна для восточной части Левокумского муниципального округа и Нефтекумского городского округа, Курского и Апанасенковского муниципальных округов, а также центральной части Ипатовского городского округа.

Выделение планировочных зон позволило предложить **структурную модель градостроительного развития Ставропольского края** (рис. 1).

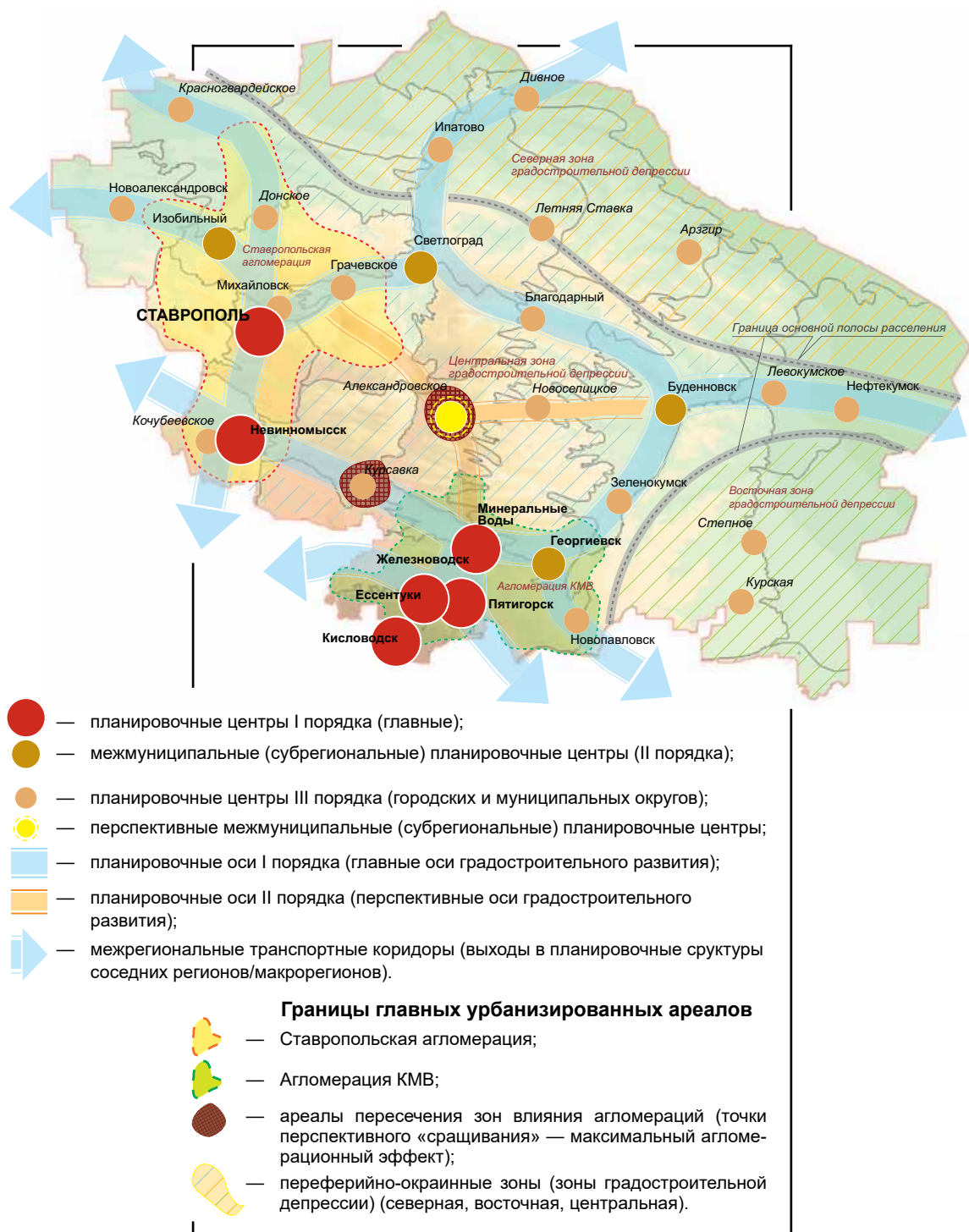


Рис. 1.

**Структурная модель градостроительного развития Ставропольского края.**

Fig. 1. Urban development structural model of Stavropol Territory.

При ее разработке использовались материалы и подходы, приведенные в Генеральной схеме расселения Российской Федерации [7], материалах Комплексной схемы территориального экономического и социального развития России, Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года [9].

Структурная модель градостроительного развития Ставропольского края имеет ряд особенностей:

- четкая структура, связанная с опорным каркасом расселения и планировочной организацией территории;
- иерархичность узловых и линейных элементов модели;
- доминирование агломерированных форм над точечными.

В рамках разработки структурной модели градостроительного развития Ставропольского края установлены главные тенденции пространственно-планировочной структуры территории:

1. **Усиление роли главных урбанизированных ареалов и рост концентрации потенциалов в них.** Совокупная численность населения в агломерациях края – более 2 млн человек (70% населения региона).
2. **Концентрация экономического потенциала в ограниченном числе региональных (межрегиональных) центров.** Главные центры экономического роста с суммарным приростом ВРП более 5% за период с 2010 года обеспечивают более 70% суммарного прироста ВРП Ставропольского края – это Ставропольская агломерация и агломерация КМВ, индустриальные центры (в том числе и ядра агломераций) – Невинномысск, Минеральные Воды, а также Буденновск, Светлоград, Изобильный.
3. **Стихийное и диспропорциональное развитие пространства городских агломераций Ставропольского края.** Отсутствие в повестке стратегического и территориального планирования реги-

она аспектов пространственного развития городских агломераций привело к чрезмерной жилой застройке пригородных зон (как правило, без необходимых инфраструктур: инженерной, транспортной, социальной). На новых застроенных территориях нет достаточного числа мест приложения труда, эти территории слабо интегрированы в общую территориальную-социально-экономическую систему агломераций.

4. **Ограничения в развитии малых городов и сельских периферийных территорий.** Значительная часть малых городов и сельских территорий (особенно в периферийно-окраинных зонах края) узко специализированы, не привлекательны для инвестиций, часто депрессивны и плохо связаны с краевыми центрами социально-экономических активностей. Следствием этого является сокращение численности населения [12].
5. **Низкий уровень вовлеченности значительной части периферии в инновационное экономическое развитие.** Это в первую очередь касается сельских муниципальных районов и городских округов, расположенных в восточной, северной и отчасти центральной частях края. Отсутствие таких предпосылок предполагает заведомо «аутсайдерские» позиции этих территорий и диспропорции в территориальном и градостроительном развитии края.

### **Выводы**

Проведенное исследование позволяет заключить, что для целей стратегического и территориального планирования Ставропольского края анализ особенностей пространственно-планировочной организации территории имеет большое значение, поскольку позволяет определить территориальные потенциалы в виде ареалов и точек роста. Анализ внутренних различий пространственно-планировочного развития территории Ставропольского

края свидетельствует о существенной внутрорегиональной дифференциации, высокой степени географической контрастности и поляризации территории. Это порождает асимметрию регионального развития и смещение социально-экономических и градостроительных центров тяжести в западном и южном направлениях в сторону главных агломераций региона – Ставропольской и КМВ. Разработанная в рамках исследования структурная модель градостроительного развития показывает необходимость учета роли и потенциалов низовых сельских населенных пунктов, которые фактически «стираются» в условиях новой муниципальной реформы и образования больших городских и муниципальных округов. Решение проблем устойчивого развития территорий (в первую очередь сельских и, особенно, периферийных) невозможно без системных научных исследований и мониторинга пространственно-планировочной организации территории и ее элементов – линейных, узловых, ареальных (площадных).

**Исследование выполнено за счет гранта Российского  
научного фонда № 22-27-20117, <https://rscf.ru/project/22-27-20117/>**

### **Библиографический список**

1. Белозеров В.С., Панин А.Н., Приходько Р.А., Чихичин В.В. Миграционные процессы на Ставрополье: тенденции и современная ситуация // Наука. Инновации. Технологии. 2014. №4. С. 96–108.
2. Вильнер, М.Я. Методологические подходы и некоторые методики анализа и комплексной оценки территории в территориальном планировании // Вестник «Зодчий. 21 век». 2009. № 1 (30). С. 16–23.
3. Панин А.Н., Эшроков В.М., Махмудов Р.К., Верозуб Н.В. Геоинформационный анализ агломерации Кавказских Минеральных Вод: градостроительные и функционально-планировочные аспекты // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий // Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2020. Т. 26. Ч. 2. С. 79–94.
4. Перцик Е.Н. Основы районной планировки. Курс лекций. М.: Изд-во Московского университета, 1971. 190 с.

5. Полян П.М. Методика выделения и анализа опорного каркаса расселения: монография. М.: Институт географии АН СССР, 1988. Ч. 1. 220 с.
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2010 года №928 «О перечне автомобильных дорог общего пользования федерального значения».
7. Протокол заседания экспертного совета при Правительстве Российской Федерации от 30 мая 1994 г. №3 (5).
8. Соловьев И.А. Динамика внутрирегиональных особенностей миграции населения Ставропольского края // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2022. Т. 67. №1. С. 156–180.
9. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года. С. 3.
10. Тикунов В.С., Белозеров В.С., Панин А.Н., Черкасов А.А. Полимасштабный геоинформационный мониторинг миграционных процессов: общие подходы // Наука. Инновации. Технологии. 2014. №1. С. 135–144.
11. Трейвиш А.И. Географическая полимасштабность развития России (город, район, страна и мир): автореф. дис. ... доктора географических наук / Ин-т географии РАН. Москва, 2006. 50 с.
12. Турун П.П., Чернова И.В. Геоинформационный анализ эволюции расселения республик Северного Кавказа // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 2015. Т. 21. С. 149–153.
13. Турун П.П. Малые города в системе расселения Ставропольского края. Глобальные и региональные аспекты устойчивого развития: современные реалии // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Грозный, 2020. С. 67–72.
14. Турун П.П. Районные центры в системе расселения Ставропольского края. Возможности развития социально-экономического пространства сибирского макрорегиона в условиях глобальной нестабильности // Материалы Научных чтений памяти сибирских географов. Иркутск, 2021. С. 136–138.
15. Научно-исследовательская работа: «Внесение изменений в схему территориального планирования Ставропольского края». Т. 2. Материалы по обоснованию. Кн. 1. Концепция пространственного (градостроительного) планирования Ставропольского края. Концепция Ставропольской

- агломерации. Концепция агломерации КМВ. Ставрополь, 2018. 395 с.
16. Черкасов А.А., Чернова И.В., Сопнев Н.В. Геоинформационно-картографическое моделирование расселения народов в России // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 298–307. DOI: 10.35595/2414–9179–2019–1–25–298–307.
  17. Черкасов А.А., Махмудов Р.К., Сопнев Н.В. Пространственный анализ городов и агломераций: интеграция технологий ГИС и Big Data // Наука. Инновации. Технологии. 2021. №4. С. 95–112.
  18. Черкасов А.А., Сопнев Н.В., Панин А.Н. ГИС-мониторинг современного демографического развития регионов и больших городов Юга Европейской части России // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий // Материалы Междунар. конф. М.: Географический факультет МГУ, 2021. Т. 27. Ч. 4. С. 347–360. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-347-360.
  19. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2020 года. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). М., 2020. Табл. 25.
  20. Graser A., Mearns B., Mandel A., Ferrero V.O., Bruy A. QGIS: Becoming a GIS Power User. 2017. 819 p.

### References

1. Belozеров V.S., Panin A.N., Prikhodko R.A., Chikhichin V.V. Migration processes in the Stavropol Territory: meetings and the current situation Science. Innovation. Technology. 2014. No. 4. P. 96–108. (In Russian).
2. Vilner, M. Ya. Methodological approaches and some methods of analysis and comprehensive assessment of the territory in territorial planning. M. Ya. Vilner // Bulletin "Architect. 21 century". 2009. No. 1 (30). P. 16–23. (in Russian).
3. Panin A.N., Eshrokov V.M., Makhmudov R.K., Verozub N.V. Geoinformation analysis of agglomeration of the Caucasian Mineral Waters: architectural and functional planning aspects // ИнтерКарто. ИнтерГИС. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Mos-

- cow: Moscow University Press, 2020. V. 26. Part 2. P. 79–94. (in Russian).
4. Pertsik E.N. Fundamentals of regional planning. Lecture course. Moscow: Publishing House of Moscow University, 1971. 190 p. (in Russian).
  5. Polyan P.M. Methods of selection and analysis of the supporting frame of settlement: monograph. M.: Institute of Geography of the Academy of Sciences of the USSR, 1988. Part 1. 220 p. (in Russian).
  6. Decree of the Government of the Russian Federation of November 17, 2010. No. 928 “On the list of public roads of federal significance”. (In Russian)
  7. Minutes of the meeting of the expert council under the Government of the Russian Federation dated May 30, 1994 No. 3 (5). (In Russian).
  8. Solovyov I.A. Dynamics of intra-regional features of migration of the population of the Stavropol Territory. Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences. 2022. V. 67. No. 1. P. 156–180. (In Russian).
  9. Strategy for the spatial development of the Russian Federation for the period up to 2025. P. 3. (In Russian).
  10. Tikunov V.S., Belozerov V.S., Panin A.N., Cherkasov A.A. Polyscale geoinformation monitoring of migration processes: general approaches. The science. Innovation. Technology. 2014. No. 1. P. 135-144. (In Russian)
  11. Treivish A.I. Geographic polyscale development of Russia (city, district, country and world). Abstract dis. ...Doctors of Geographical Sciences: 25.00.24 / Institute of Geography RAS. Moscow, 2006. 50 p. (in Russian).
  12. Turun P.P., Chernova I.V. Geoinformation analysis of the evolution of the settlement of the republics of the North Caucasus // Proceedings of the International Conference “InterCarto. InterGIS”. 2015. V. 21. P. 149–153. (In Russian).
  13. Turun P.P. Small towns in the settlement system of the Stavropol Territory. Global and regional aspects of sustainable development: modern realities. Collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference. Grozny, 2020. P. 67–72. (In Russian).
  14. Turun P.P. Regional centers in the settlement system of the Stavropol Territory Opportunities for the development of the socio-economic space of the Siberian macro-region in the context of global instability // Materials of Scientific readings in



- memory of Siberian geographers. Irkutsk, 2021. P. 136–138. (In Russian).
15. Research work: «Introduction of changes in the scheme of territorial planning of the Stavropol Territory» Volume 2. Substantiation materials. Book 1. The concept of spatial (urban planning) planning of the Stavropol Territory. The concept of the Stavropol agglomeration. The concept of the CMS agglomeration. Stavropol, 2018. 395 p. (In Russian).
  16. Cherkasov A.A., Chernova I.V., Sopnev N.V. GIS and cartographic modeling of people's dispersion in Russia InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 1. P. 298–307. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-298-307 (In Russian).
  17. Cherkasov A.A., Makhmudov R.K., Sopnev N.V. Spatial analysis of cities and agglomerations: integration of GIS and Big Data technologies. The science. Innovation. Technology. 2021. No. 4. P. 95-112. (In Russian).
  18. Cherkasov A.A., Makhmudov R.K., Sopnev N.V. Spatial analysis of cities and agglomerations: integration of GIS and Big Data technologies. The science. Innovation. Technology. 2021. No. 4. P. 95-112. (In Russian).
  19. Population of the Russian Federation by municipalities as of January 1, 2020. Federal State Statistics Service (Rosstat). M., 2020. Tab. 25. (In Russian).
  20. Graser A., Mearns B., Mandel A., Ferrero V.O., Bruy A. QGIS: Becoming a GIS Power User. 2017. 819 p.

**Поступило в редакцию 07.08.2022,  
принята к публикации 17.09.2022.**

### **Об авторах**

**Эшроков** Виталий Мурадинович, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и кадастров Северо-Кавказского федерального университета.  
Scopus ID: 6504346545. Тел. +7(903) 441-88-66.  
E-mail: eshrokov@mail.ru

**Черкасов** Александр Александрович, кандидат географических наук, заведующий кафедрой картографии и геоинформатики

Северо-Кавказского федерального университета. Scopus ID: 57192379694. Researcher ID: 57192379694.

Тел. +7(906) 460-99-98. E-mail: cherkasov\_stav@mail.ru

**Махмудов** Рахим Камилевич, кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики Северо-Кавказского федерального университета.

Scopus ID: 57211744797. Тел. +7 (909) 773–31-00.

E-mail: rakimkam@mail.ru

**Верозуб** Наталья Владимировна, аспирант кафедры экологии и природопользования Северо-Кавказского федерального университета. Тел. +7 (905) 499-18-83.

E-mail: verozub\_95@mail.ru

### **About the authors**

**Eshrokov** Vitaly Muradinovich, Candidate of geographical sciences, Associate Professor of the Department of physical geography and cadastres of the North-Caucasus federal university. Scopus ID: 6504346545, Phone: +7(903) 441-88-66.

E-mail: eshrokov@mail.ru

**Cherkasov** Alexander Alexandrovich, Candidate of geographical sciences, Head of the department of cartography and geoinformatics of the North-Caucasus federal university. Scopus ID: 57192859694, Researcher ID: H-4988-2016, Phone: +7(906) 460-99-98. E-mail: cherkasov\_stav@mail.ru

**Makhmudov** Rakim Kamilovich, Candidate of geographical sciences, Associate Professor of the Department of Cartography and Geoinformatics of the North-Caucasus federal university. Scopus ID: 57211744797, Phone: +7 (909) 773-31-00.

E-mail: rakimkam@mail.ru

**Verozub** Natalya Vladimirovna, Postgraduate at the Department of ecology and environmental management of the North-Caucasus federal university. Scopus ID: Phone: +7 (905) 499-18-83.

E-mail: verozub\_95@mail.ru

25.00.30  
УДК 591.594

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ  
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ)

**Зекорев Р.Х.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Высокогорный геофизический институт» г. Нальчик, Россия  
zeri54@mail.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ В РАЙОНЕ КАРЬЕРА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТОК**

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.3.7

Введение.

Выбросы промышленных предприятий, открытых горных разработок, автотранспорта и др. способны изменить электрические свойства приземного слоя атмосферы и иметь нежелательные экологические последствия для окружающей среды и технических объектов. Исследования электрического состояния атмосферы в ясную погоду проводились в районе Мукуланского карьера на Северном Кавказе. В ходе исследования наблюдались повышенные значения напряженности электрического поля, обусловленные по-видимому процессом электризации аэрозольных частиц разных размеров, образующихся в процессе механического разрушения и дробления частиц горной породы.

Материалы и методы исследований.

Измерения напряженности электрического поля атмосферы, который является одним из важных параметров атмосферного электричества, проводились с помощью флюксметра ротационного типа, на высоте 2542 м. При этом особое внимание уделялось достоверности полученных результатов в ходе этих измерений. Применялась методика проведения атмосферно-электрических измерений, исключающая ошибки, вносимые различными факторами, такими как способ размещения измерительной аппаратуры, неоднородность рельефа местности, метеоусловия пункта наблюдения, который находился в слое обмена воздушных масс и турбулентной диффузии.

Результаты исследования и их обсуждение.

Анализ полученных результатов в дни с невозмущенной ясной погодой показал, что единственным фактором, влияющим на унитарный ход напряженности поля на такой высоте, остается карьер открытых горных разработок, где в такие дни постоянно идет интенсивное пылеобразование и связанная с ним электризация аэрозольных частиц разных размеров. Если процессы электризации протекают достаточно интенсивно и длительно, то в приземном слое атмосферы накапливается избыточный объемный заряд, который способствует формированию повышенных значений электрического поля у поверхности земли. Среднее значение напряженности электрического поля составил 600-700 В/м, которая превышает на порядок, результаты измерений, проведенные на таких высотах другими исследователями в условиях невозмущен-

ной погоды. Отмечены также локальные изменения напряженности поля при подходе к измерительной площадке, визуально наблюдаемого облака пыли, что проявилось в синхронных изменениях напряженности поля, при котором ее значение снижается и достигает иногда отрицательных значений и восстанавливается через некоторое время до своих средних значений. Локальные изменения поля вызваны действием отрицательного объемного заряда сосредоточенного в облаке пыли, состоящим из крупных частиц, средний размер которых оценивался по скорости оседания аэрозольных частиц и составил около 30 мкм. Обнаружено, что существует прямая связь между напряженностью поля и концентрацией аэрозольных частиц, образующихся при механическом разрушении горных пород, в результате которого происходит электризация частиц.

Выводы.

Исследования электрического состояния, проведенные в районе Мукуланского карьера, показали, что в условиях хорошей погоды наблюдается электризация в приземном слое атмосферы. Аэрозольные частицы приобретают заряд в процессе механического разрушения частиц горных пород и нарушения контакта между ними. Одновременно происходит селективная зарядка и захват легких аэроионов воздуха в зависимости от их размеров и макроразделение в поле гравитационных сил, с одной стороны, быстрое оседание крупных частиц, заряженных отрицательно на поверхность земли, а с другой стороны мелкие частицы, которые могут сутками находится во взвешенном состоянии в атмосфере, заряженные положительным знаком, что приводит к уменьшению проводимости воздуха и соответственно росту напряженности поля в районе карьера.

Ключевые слова:

Атмосферное электричество, электризация, напряженность поля, флюксметр, объемный заряд, карьер, аэрозольные частицы, горная порода.

Zekoreev R.KH.

Federal state budgetary institution  
«High Mountain Geophysical institute».  
Russian, Nalchik

### **Investigation of the state of the electric field of the atmosphere in the area of open pit mining**

Introduction.

Emissions from industrial enterprises, open pit mining, vehicles, etc. can change the electrical properties of the surface layer of the atmosphere and have undesirable environmental consequences for the environment and technical facilities. Studies of the electrical state of the atmosphere in clear weather were carried out in the area of the Mukulan quarry in the North Caucasus. In the course of the study, increased values of the electric field strength were observed, apparently due to the process of electrization of aerosol particles of different sizes, formed in the process of mechanical destruction and crushing of rock particles.

**Materials and research methods.**

Measurements of the electric field strength of the atmosphere, which is one of the important parameters of atmospheric electricity, were carried out using a rotary type fluxmeter at an altitude of 2542 m. At the same time, special attention was paid to the reliability of the results obtained during these measurements. A technique was used for conducting atmospheric-electrical measurements, which excludes errors introduced by various factors, such as the method of placing the measuring equipment, the heterogeneity of the terrain, the weather conditions of the observation point, which was located in the layer of air mass exchange and turbulent diffusion.

**Results of the study and their discussion.**

An analysis of the results obtained on days with undisturbed clear weather showed that the only factor influencing the unitary course of the field strength at such a height remains the open pit mining, where on such days there is constant intense dust formation and the associated electrization of aerosol particles of different sizes. If the processes of electrification proceed intensively and for a long time, then an excess space charge accumulates in the surface layer of the atmosphere, which contributes to the formation of increased values of the electric field near the earth's surface. The average value of the electric field strength was 600-700 V/m, which exceeds by an order of magnitude the results of measurements carried out at such heights by other researchers in undisturbed weather conditions. Local changes in the field strength were also noted when approaching the measuring site, a visually observed cloud of dust, which manifested itself in synchronous changes in the field strength, at which its value decreases and sometimes reaches negative values and recovers after some time to its average values. Local changes in the field are caused by the action of a negative space charge concentrated in a dust cloud consisting of large particles, the average size of which was estimated from the settling rate of aerosol particles and amounted to about 30  $\mu\text{m}$ . It was found that there is a direct relationship between the field strength and the concentration of aerosol particles formed during the mechanical destruction of rocks, as a result of which the particles are electrified.

**Conclusions.**

Studies of the electrical state carried out in the area of the Mukulan quarry showed that in good weather conditions, electrization is observed in the surface layer of the atmosphere. Aerosol particles acquire a charge in the process of mechanical destruction of rock particles and disruption of contact between them. At the same time, selective charging and capture of light air ions, depending on their size, and macroseparation in the field of gravitational forces occur, on the one hand, the rapid settling of large particles charged negatively on the earth's surface, and on the other hand, small particles that can be in suspension for days in the atmosphere, charged with a positive sign, which leads to a decrease in air conductivity and, accordingly, an increase in the field strength in the quarry area.

**Key words:**

Atmospheric electricity, electrization, field strength, fluxmeter, space charge, quarry, aerosol particles, mountain breed.

## Введение

Исследования процессов атмосферного электричества происходящих в приземном слое атмосферы продолжает привлекать внимание исследователей и практиков в связи с тем, что не во всем ясна природа атмосферно-электрических явлений и процессов. Данные и методы атмосферного электричества могут использоваться в разных областях науки и техники таких, как физика атмосферы, метеорология, сейсмология, разработка горнорудных месторождений и др. Так эффективная защита объектов народного хозяйства от статического электричества и грозových разрядов требует все более лучшего понимания взаимодействия объекта со средой, все более точного знания параметров атмосферного электричества. Исследования показали, что выбросы промышленных предприятий, открытых горных разработок, автотранспорта и др. способны изменить электрические свойства приземного слоя атмосферы.

Одним из важных электрических параметров приземного слоя атмосферы является напряженность электрического поля, которая легче всего поддается измерению по сравнению с другими параметрами, например, как объемный заряд. Электрическое поле атмосферы в приземном слое в отсутствие нарушений погоды, т.е. при отсутствии грозы, дождя, тумана, облачности принимается однородным, и в этих условиях обычно рассматривается вертикальная составляющая вектора напряженности электрического поля. Так напряженность поля в ясные дни с невозмущенной погодой у поверхности земли максимальна и достигает в среднем 120-130 В/м и убывает с высотой. Значения напряженности поля испытывают регулярные суточные изменения и это происходит по всему земному шару, и эти изменения получили название унитарной вариации электрического поля у поверхности Земли [5]. Кроме регулярных колебаний, напряженность поля даже в условиях хорошей погоды испытывает довольно значительные нерегулярные изменения, связанные с изменением состояния атмосферы, различными аэрозольными включениями и т.д. На величину напряженности поля оказывает влияние концентрация ионов, аэрозольных частиц и турбулентное состояние атмосферы [7].

Образованию заряженных областей в приземном слое атмосферы предшествуют процессы, приводящие к электризации атмос-

ферного воздуха и аэрозоля всегда присутствующих в нем. Если процессы электризации будут протекать достаточно интенсивно и длительно, а процессы рекомбинации зарядов и их диссипации – сравнительно медленно, возможно накопление объемного заряда в приземном слое атмосферы, которое способствует формированию электрического поля у поверхности земли. Несмотря на большое внимание, уделяемое данному вопросу, до сих пор окончательно не установлен механизм формирования электрического поля в нижней атмосфере. Представляется вероятным, что существует не одна, а ряд причин, по которым происходит электризация и формирование электрического поля в нижней атмосфере.

Все многообразие процессов электризации частиц оказалось можно свести к двум физическим процессам: электризации связанной с захватом частицами аэроионов и электризации, связанной с процессом обмена зарядами между частицами, возникающая либо после разрыва контакта между ними, либо после их разрушения [4].

Электризация, связанная с захватом частицами аэроионов может возникать, если потоки положительных или отрицательных аэроионов на частицу при ее нулевом заряде не равны. Причиной неравенства могут быть, во-первых, разная концентрация и разная подвижность положительных и отрицательных аэроионов и во-вторых, различная способность частицы данного вида захватывать аэроионы разных полярностей. Кроме того, электризация частицы возникает также потому, что сам процесс захвата аэроиона частицей носит случайный характер. Условия равновесия наступают при некотором определенном распределении зарядов на частицах. Этот процесс электризации наиболее подробно исследован теоретически, при ряде упрощающих предположений об условиях на границе частица-воздух и о равномерном распределении концентрации аэроионов в пространстве вблизи частицы [12, 16]. Справедливость полученного выражения проверялась в лабораторных условиях и оказалось, что для частиц микронных размеров оно справедливо. Однако многочисленные измерения зарядов частиц в слоистых облаках и туманах, проведенные в основном советскими исследователями показали, что абсолютные средние значения зарядов примерно на порядок больше предсказываемых теорией.

Применив теорию случайных блужданий к задаче о накоплении заряда на частицах и предположив возможность коагуляции одноименно заряженных в микронном диапазоне их размеров авторы [6, 14] указали путь расширения дисперсии в распределении зарядов на частицах и, таким образом, путь роста среднего абсолютного заряда на частицах.

Представляет интерес непосредственное или косвенное измерение электрических зарядов на частицах. Заряды частиц радиусом 10–100 мкм практически не измерялись. Однако именно в этом диапазоне размеров происходит переход от сравнительно небольших значений зарядов на мелких частицах к достаточно большим зарядам частиц нижнего слоя атмосферы. Величины этих зарядов на частицах невозможно объяснить только электризацией за счет захвата аэроионов.

Исследования в этой области показали, что наряду с вышеуказанным механизмом в приземном слое атмосферы идет процесс электризации связанный с обменом зарядами между частицами при нарушении контакта между ними или разрушении частиц приводит к появлению зарядов на частицах, участвующих в данном акте. Величина зарядов, возникающих на частицах при нарушении контакта между ними или разрушении частиц, пропорциональны разности химических потенциалов, емкости между ними в момент разрыва контакта и зависят от соотношения размеров частиц, их электропроводности и скорости разделения аэрозольных частиц в пространстве.

В пользу контактной электризации говорят наблюдения, проведенные во время пылевых бурь в некоторых тропических областях, в результате которых выявлены значительные эффекты. Показано, что напряженность электрического поля зависит от химической природы пыли [2]. Так, кислотная пыль вызывает образование отрицательного значения напряженности поля, а щелочная пыль – положительного. Эффект возникает вследствие разделения в пространстве, с одной стороны, крупных частиц пыли, заряженных одним знаком электричества, а с другой – мелких частиц пыли или воздуха, заряженных другим знаком. Такие эффекты, описанные выше, могут возникать при открытых разработках горных пород, за счет сильной запыленности в районе карьера.



В литературе существует достаточное количество исследований величин атмосферного электричества в приземном слое воздуха в различных регионах. В нашей стране в течение 1957-1984гг. была организована сеть пунктов наблюдения на базе существующей наземной метеорологической сети, на которых проводились измерения напряженности поля и полярной электропроводности воздуха [18]. Анализ результатов этих исследований за этот период показывает, что значения напряженности поля, характерные для данного пункта, за последние 20 лет практически не изменились, а среднегодовые значения электропроводности воздуха за тот же период испытали существенное уменьшение, за исключением пункта наблюдения в Душети. Уменьшение электропроводности воздуха может быть интерпретировано как соответствующее увеличение концентрации в воздухе аэрозольных частиц субоптического диапазона размеров (радиус 0,01–0,2 мкм). В работе также отмечается, что отсутствие регулярных измерений напряженности поля и электропроводности воздуха в свободной атмосфере затрудняет полную интерпретацию результатов измерений в приземном слое атмосферы.

Также на протяжении нескольких десятилетий проводятся комплексные исследования атмосферно-электрических параметров в приземном слое атмосферы на территории Ростовской области. Предметом исследований являлось изучение влияния загрязнения воздушного бассейна г. Ростов-на-Дону и других территорий на атмосферно-электрические характеристики с целью использования этих характеристик как индикаторов общего загрязнения атмосферы [8]. При исследовании влияния аэрозольного загрязнения атмосферы на электрические характеристики было отмечено уменьшение полярных электропроводностей при увеличении содержания аэрозолей. На основании данных автоматизированных измерений исследовались временные вариации напряженности поля и полярных электропроводностей атмосферы при различных периодах осреднения. При этом обнаружены существование разных периодичностей в полученных спектрограммах, например, периодичность соответствующая 2,5 часам. В работе также отмечается, что экспериментальные данные могут быть использованы при моделировании

электродного слоя, что позволит сократить некоторое несоответствие между теорией и экспериментом.

В настоящее время в исследованиях атмосферного электричества в приземном слое атмосферы уделяется внимание вопросам математического моделирования. Показано, что использование различных типов моделей дает определенное представление о закономерностях протекания электрических процессов в приземном слое атмосферы. Впервые стационарная модель электродного эффекта в случае присутствия в атмосфере аэрозольных частиц была построена в работах Швейдлера и Шольца [11]. Общим в этих работах являются допущения о равных подвижностях положительных и отрицательных ионов и постоянной интенсивности ионообразования, а также пренебрежение рекомбинацией легких ионов и ограничения на значения коэффициентов взаимодействия легких ионов с тяжелыми ядрами. Для преодоления физических допущений, упрощающих математическую модель Хоппель применил численный метод для решения уравнений, описывающие стационарный электродный эффект, при этом он отказался от условия, что количество тяжелых ионов превышает число легких ионов и не отбросил рекомбинационный член. В работе [19] был рассмотрен случай турбулентного электродного эффекта при наличии аэрозольных частиц в атмосфере, что существенно сокращает несоответствие теории и эксперимента. В исследовании проведенной в работе [11] также отмечается, что наличие в атмосфере концентрации аэрозольных частиц более  $5 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$  оказывает заметное влияние на распределение электрических характеристик вблизи поверхности земли. Объемный заряд, создаваемый тяжелыми ионами, образовавшимися за счет соединения аэрозоля с аэроионами, начинает оказывать существенное влияние при концентрациях, превышающих  $10^9 \text{ м}^{-3}$ .

Исследования элементов атмосферного электричества также проводились в горных районах в нашей стране с 50-х годов в Приэльбрусье: на пике Терскол, Ледовой базе и пике Чегет. Эти наблюдательные пункты являются глобально-репрезентативными в электрическом отношении, то есть пунктами наблюдения, на которых в условиях невозмущенной погоды проявляется унитарная вариация напряженности поля. Обычно выбор таких пунктов наблюдения

обусловлен отсутствием поблизости постоянных источников антропогенного загрязнения атмосферы. Из анализа результатов круглосуточной регистрации напряженности поля на станции Терскол (высота 2200 м) летом в ясную погоду видно, что средние значения поля составляют 30 В/м [9]. Результаты измерений параметров атмосферного электричества, проводившиеся на пике Чегет (высота 3040 м) показывают, что суточный ход напряженности поля хорошо коррелирует с унитарной вариацией атмосферного потенциала и мало отличается от измеренных значений поля на таких же высотах, за исключением тех случаев, когда ветер имеет северное или северо-восточное направление, где на расстоянии около 40 км расположен промышленный объект [1], который оказывает влияние на значения напряженности поля. Исследования, проведенные в Восточной Сибири [15], также показывают, что наибольшие значения напряженности поля наблюдаются на карьере открытых разработок мрамора (Слюдянка), где загрязненность воздуха аэрозольными частицами весьма велика.

Из вышеизложенного следует, что многофакторность процессов, происходящих в приземном слое атмосферы усложняет их описание и интерпретацию экспериментальных данных. Поэтому при проведении исследований по атмосферному электричеству важны обоснованная систематизация полученных материалов и отбор однородных массивов данных. Опыт исследований многих авторов показывает, что крайне важно учитывать термодинамическую устойчивость нижних слоев атмосферы, а также присутствие и концентрацию аэрозольных частиц в этом слое.

### **Материалы и методы исследований**

Наши исследования состояния электрического поля проводились на промышленном объекте, на которую указывают авторы [1], этим объектом является Мукуланский карьер на Северном Кавказе, где ведутся открытые горные разработки вольфрамowo-молибденвых руд, который расположен на высоте около 2500 м над уровнем моря. Пункт наблюдения находился в непосредственной близости от карьера открытых разработок, на территории КРП-2, на высоте 2542м, где происходят интенсивные процессы пылеоб-

разования, что оказывает заметное влияние на электрическое состояние атмосферы в районе карьера.

Проводились измерения напряженности электрического поля, как одного из важных параметров атмосферного электричества в приземном слое атмосферы. Для контроля электрического состояния атмосферы в районе карьера использовался электростатический флюксметр ротационного типа, который размещался на специально подобранной ровной площадке размером 5x5 м, для исключения влияния неоднородностей поверхности на результаты измерений. Измерительная пластина флюксметра располагалась на одном уровне с измерительной площадкой, для исключения влияния искажений поля, вносимый самим флюксметром. Для исключения влияния помех различного происхождения измерительный блок имел надежное заземление, также измерительная пластина флюксметра протиралась периодически спиртом, что позволило исключать ошибки измерения, возникающие за счет оседания аэрозольных частиц. Перед каждым измерением проводилась тщательная градуировка флюксметра и регистрирующего самопишущего прибора НЗ38-6П.

Ввиду того, что измерения проводились в горах, вертикальное электрическое поле, формируемое над криволинейной поверхностью, становится неоднородным, которое может отразиться на результатах измерений. Для исключения ошибки, вносимой за счет неоднородности рельефа местности, проводился эксперимент по определению коэффициента искажения. Эксперимент показал, что коэффициент искажения мало зависит от измеряемого поля, и ошибка измерения составляет около 5%, которая учитывается в результатах измерений. В связи с тем, что карьер находится в непосредственной близости к областям образования облачности, в слое обмена воздушных масс проводился ежедневный контроль за метеорологическим состоянием в районе карьера. Для определения основного фактора, формирующего повышенные значения напряженности поля в районе карьера, необходимо было проводить измерения в ясные дни с невозмущенной погодой, когда должна была проявляться, только унитарная вариация электрического поля на такой высоте.

### Результаты исследования и их обсуждение

Эксперименты проводились в летний сезон 1990 года в дни невозмущенной ясной погодой, например, такой день выдался на 25 июля. Погода над карьером 25 июля определялась переменной кучевой облачностью, нижняя граница которой находилась на высоте около 4 км, что оказывало заметное влияние на величину напряженности поля. До 12 часов значения поля составляли 900 В/м в среднем. После 12 и до 17 часов в районе карьера и непосредственно над карьером установилась ясная погода. При создавшихся условиях единственным фактором, влияющим на унитарный ход напряженности поля на такой высоте, остается карьер открытых разработок, где постоянно идет интенсивное пылеобразование и связанный с ним процесс электризации аэрозольных частиц. Из рисунка 1 видно, что значение напряженности поля после 12 часов уменьшается до 600–700 В/м в среднем, что эти значения на порядок и более выше значений поля, измеренных в работе [8].

Анализ результатов измерений, проведенных на Мукуланском карьере и результаты исследования в Восточной Сибири, показывают, что существует прямая связь между напряженностью поля и концентрацией аэрозольных частиц у поверхности земли. С ростом содержания аэрозольных частиц в атмосфере и, следовательно, с уменьшением концентрации легких аэроионов должна расти напряженность электрического поля, что и наблюдалось в ходе эксперимента. Известно, что плотность вертикального тока проводимости  $j = E\lambda$  в условиях невозмущенной погоды мало отличается от среднего значения [3]. Изменение удельной проводимости  $\lambda$  при неизменном значении  $j$  должно вызвать изменение напряженности поля  $E$  зависящее в этом случае от концентрации аэрозольных частиц  $Z$ . Аналитически коррелятивная зависимость между напряженностью поля  $E$  и концентрацией аэрозольных частиц определяется соотношением [1]:

$$E = \frac{2\pi Ddj}{ewI} Z$$

где  $D$  – коэффициент диффузии ( $\text{м}^2/\text{с}$ );  
 $d$  – средний диаметр аэрозольных частиц ( $\text{м}$ );

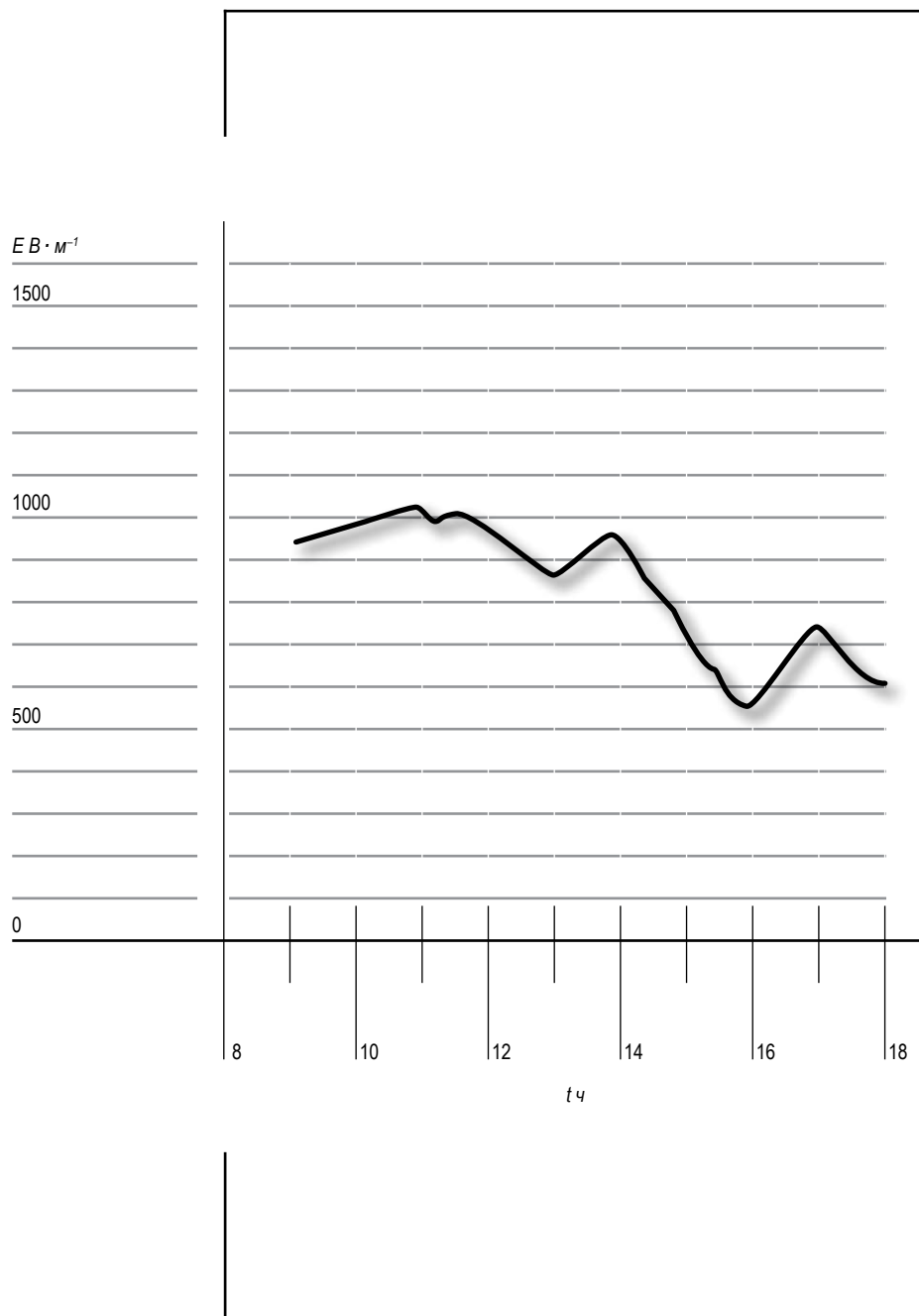


Рис. 1.

**Средний часовой ход напряженности электрического поля в районе Мукуланского карьера 25 июля 1990 г.**

Fig. 1. The average hourly variation of the electric field strength in the area of the Mukulan quarry on July 25, 1990

$e$ –	величина элементарного заряда (К);
$w$ –	средняя подвижность легких ионов ( $\text{м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ ); $I$ – интенсивность ионообразования ( $\text{м}^3\cdot\text{с}^{-1}$ );
$j$ –	плотность тока проводимости ( $\text{А}/\text{м}^2$ );
$Z$ –	концентрация аэрозольных частиц ( $\text{м}^{-3}$ ).

По экспериментальным данным полученным при непосредственных измерениях в горах и при самолетных зондированиях [1, 3] концентрация аэрозольных частиц, средний диаметр которых равен 0,25 мкм, составляет  $(1,5 - 3) \cdot 10^9 \text{м}^{-3}$ . Расчетное значение напряженности поля, при таких концентрациях аэрозольных частиц составила в среднем 675 В/м, что вполне согласуются с результатами измерения напряженности поля в районе карьера.

Исследования, проведенные разными авторами, показывают, что разрушение частиц горной породы и нарушение контакта между ними приводит к электризации, т.е. к появлению зарядов на частицах. Величины зарядов на частицах пропорциональны разности их химических потенциалов, электропроводности и скорости разделения частиц в пространстве. Скорость оседания аэрозольных частиц зависит от размера этих частиц, например, по данным работы [10], частицы диаметром 0,1 мкм оседают со скоростью  $8,97 \cdot 10^{-5}$  см/с, а частицы диаметром 10 мкм оседают со скоростью  $3,03 \cdot 10^{-1}$  см/с. Средний диаметр аэрозольных частиц, образующихся в результате механического разрушения горных пород составляет 0,1-0,2 мкм, следовательно, такие мелкие заряженные частицы могут находиться в атмосфере длительное время, исчисляемое сутками. Исследования влияния пылевых бурь на напряженность поля у земли показали также, что знак поля зависит от химической природы пыли [20] и наблюдаемый нами положительный знак избыточного объемного заряда является следствием этого эффекта. Если частицы с разными химическими потенциалами не имеют систематического различия в размерах, то, хотя в атмосфере появляется множество заряженных частиц, макроразделение зарядов в пространстве не происходит. Существование же систематического различия в размерах приводит к появлению в атмосфере избыточных объемных зарядов [17]. Накопление объемного заряда в атмосфере в районе карьера происхо-

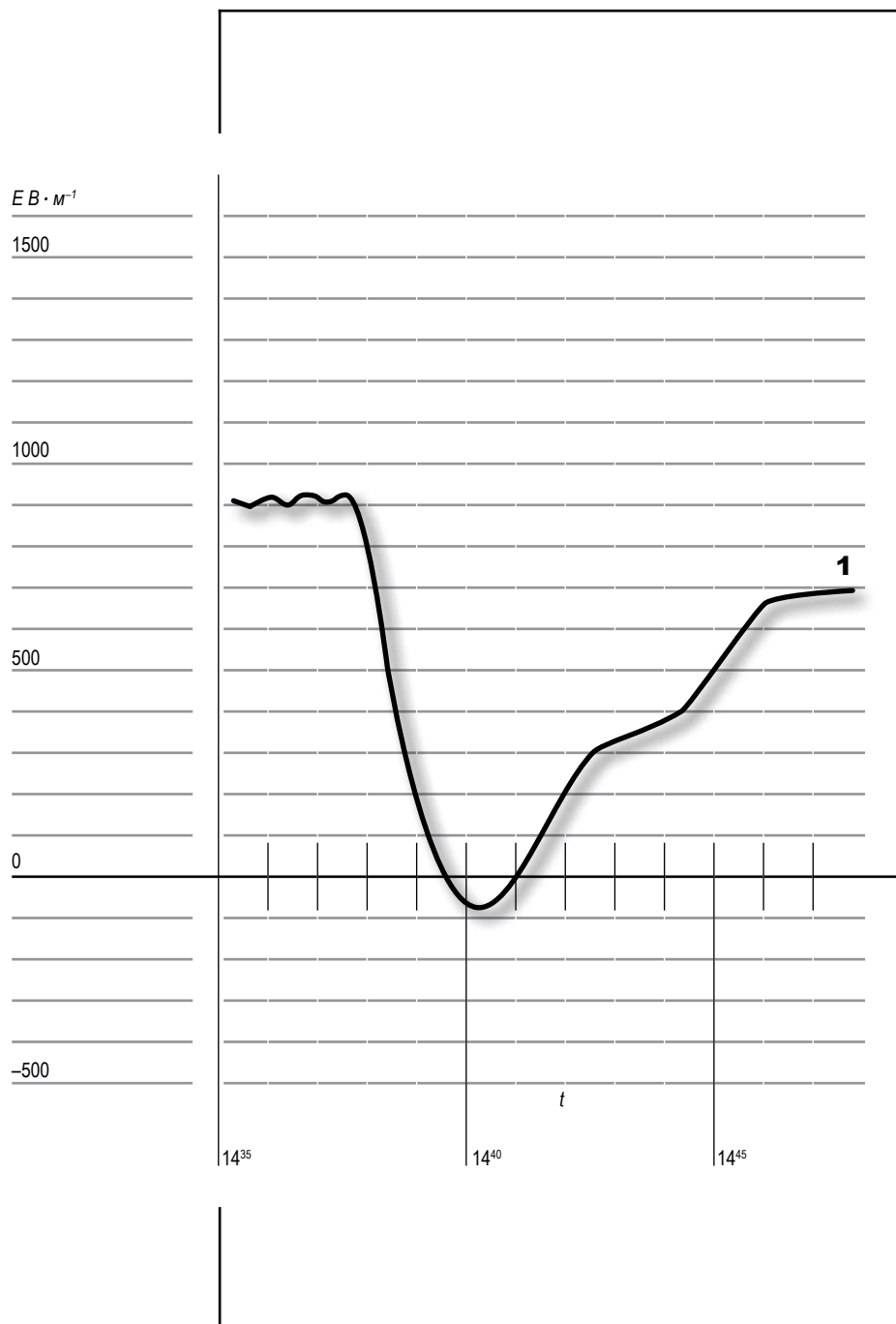


Рис. 2.

**Локальные изменения напряженности электрического поля 25 июля 1990 г.**

Fig. 2. Local changes in the electric field strength on July 25, 1990



дит за счет селективной зарядки аэрозольных частиц разных размеров, одновременно с этим процессом происходит захват легких аэроионов воздуха и макроразделение в поле гравитационных сил из-за различия скоростей оседания, с одной стороны, крупных частиц пыли, заряженных одним знаком электричества, а с другой стороны, мелких частиц пыли и воздуха, заряженных другим знаком, что приводит к уменьшению проводимости воздуха и росту напряженности электрического поля в районе Мукуланского карьера.

В ходе исследования наблюдалось локальное изменение напряженности поля 25 июля, которое происходило при подходе визуально наблюдаемого плотного облака пыли на расстояние около 15 м от флюксметра и поднявшись на высоту 5–6 м выше измерительной площадки и продержалось около 8 минут, что проявилось в синхронных изменениях напряженности поля на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2 при подходе облака пыли ближе к флюксметру напряженность поля сначала падает, успевая при этом поменять свой знак, а затем восстанавливается до своих средних значений, пока облако пыли не осядет ниже уровня измерительной площадки. Отсюда видно, что скорость оседания этих крупных частиц аэрозоля составляет около 3 см/с, и тогда согласно [10] размеры таких крупных частиц составляет около 30 мкм. Этот эффект подтверждает тезис о селективной зарядке аэрозольных частиц в зависимости от их размеров [13], т.е. крупные частицы аэрозоля заряжаются отрицательным знаком и оседают быстро на земную поверхность, а более мелкие частицы аэрозоля остаются сутками во взвешенном состоянии в воздухе и заряжены положительным знаком, образуя избыточный положительный объемный заряд в приземном слое атмосферы в районе Мукуланского карьера.

### **Выводы**

В ходе исследования были обнаружены повышенные средние значения напряженности поля в районе карьера, в ясные дни с невозмущенной погодой, которые составили 600–700 В/м, обусловленные наличием в приземном слое атмосферы избыточного объемного заряда, который формируется в процессе электризации аэрозольных частиц, при добыче и разработке горных пород.

Было выявлено, что процесс электризации протекает постоянно и происходит в результате механического разрушения и дробления горных пород на карьере. При этом одновременно с этим процессом происходит селективная зарядка аэрозольных частиц различных размеров разными знаками. Знак зарядки частиц зависит от размера и химической природы этих частиц, чему свидетельствует эффект, который проявился при локальных изменениях напряженности поля, при подходе и оседании визуально наблюдаемого облака пыли к измерительной площадке.

Дана оценка размера частиц пыли, по скорости оседания облака пыли, который составил около 30 мкм. Показано, что в приземном слое воздуха в районе действующего карьера, постоянно присутствуют мелкие частицы во взвешенном состоянии, размером 0,1–0,3 мкм, которые приобретают положительный заряд при разрушении, дроблении и за счет захвата легких аэроионов воздуха этими частицами, что приводит к уменьшению проводимости воздуха и росту напряженности поля, что и наблюдалось ходе измерений. Обнаружено, что существует прямая связь между напряженностью поля и концентрацией аэрозолей с систематическими различиями в размерах у поверхности земли, и что эти результаты хорошо согласуются с данными аналогичных исследований других авторов.

Измерение напряженности электрического поля в районе карьеров может представлять научный и практический интерес для оперативного контроля и своевременного предупреждения аэрозольного загрязнения атмосферы в районе карьеров и других промышленных объектов, которое представляет опасность для окружающей среды и некоторых технических средств и объектов.

#### **Библиографический список**

1. Аджиев А.Х., Вакалов И.А., Куповых Г.В., Мартынов А.А., Шварц Я.М. Наблюдения за атмосферным электричеством на высокогорном пункте пик Чегет // Тезисы докладов 4-го Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству. Нальчик, 1990. 380 с.
2. Зекореев Р.Х., Камбиев М.М., Машуков Х.Х. Некоторые результаты исследования параметров атмосферного элект-

- тричества в районе Мукуланского карьера (Северный Кавказ) // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 2010. Вып. 3. С. 43–46.
3. Имянитов И.М., Чубарина Е.В. Электричество свободной атмосферы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1965. 240 с.
  4. Имянитов И.М., Чубарина Е.В., Шварц Я.М. Электричество облаков. Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. 93 с.
  5. Колоколов В.П. и др. Измерения электрического поля над Атлантическим и Индийским океанами // Метеорологические исследования. Москва: Изд-во МГК, 1982. № 27. С. 10–16.
  6. Левин Л.М. Исследования по физике грубодисперсных аэрозолей. АН СССР. Москва: 1961. 267 с.
  7. Огуряева Л.В., Шварц Я.М. Анализ многолетнего хода величины атмосферного электричества в приземном слое. Регулярные измерения электропроводности воздуха // Метеорологические исследования. Москва: Изд-во МГК, 1982. № 27. С. 35–48.
  8. Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкин И.Н., Кудринская Т.В., Петров Н.А. Результаты многолетних экспедиционных атмосферно-электрических исследований в приземном слое // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 2010. Спецвыпуск. С. 73–76.
  9. Пудовкина И.Б. Некоторые результаты изучения аномалий электрического поля атмосферы в районе Баксанского ущелья // Труды Эльбрусской экспедиции. 1961. № 215.
  10. Райст П. Аэрозоли. Москва: Мир. 1987. С. 134–145.
  11. Редин А.А., Клово А.Г., Куповых Г.В., Морозов В.Н. Генерация объемного заряда вблизи поверхности земли с учетом взаимодействия аэрозольных частиц с аэроионами // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 2010. Спецвыпуск. С. 81–85.
  12. Седунов Ю.С. К теории диффузионного заряжения частиц произвольной формы // Инженерно-физический журнал. 1959. № 12. 57–63.
  13. Смирнов В.В. О физической природе эффекта селективного взаимодействия аэроионов и аэрозолей // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1990. Т. 26. № 6. С. 622–626.
  14. Степкина М.Ю., Кудряшова О.Б., Антонникова А.А. Экспериментальное исследование дисперсности заряженных

частиц в потоке и на поверхности при электростатическом распылении // Наука. Инновации. Технологии. 2016. № 3. С. 89–95.

15. Филиппов А.Х., Кречетов А.А., Зарифова Н.Г. Результаты исследования атмосферного электричества в Восточной Сибири // Труды 2-го Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1984. 279 с.
16. Фукс Н.А. О величине зарядов на частицах атмосферных аэроколлоидов // Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 1947. №4. С. 341–348.
17. Чалмерс Дж. А. Атмосферное электричество. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1974. 420 с.
18. Шварц Я.М., Огуряева Л.В. Многолетний ход величин атмосферного электричества в приземном слое // Метеорология и гидрология. 1987. № 7. С. 59–64.
19. Hoppel W.A., Gathman S.G. Determination of the eddy diffusion coefficients from atmospheric electrical measurements // J. Geoph. Res., 1971. Vol. 76. No. 6. P. 1467–1477.
20. Rudg W.A.D. On some sources of disturbance of the normal atmospheric potential gradient // Proc. Roy. soc. 1914. A. Vol. 90. P. 571–582.

### References

1. Adzhiev A.Kh., Vakalov I.A., Kupovyh G.V., Martynov A.A., Shvarts Ya.M. Observations of atmospheric electricity at the high-mountain point Cheget Peak // Abstracts of the 4th All-Union Symposium on Atmospheric Electricity. Nalchik. 1990, 380 p.
2. Zekoreev R.Kh., Kambiev M.M., Mashukov Kh.Kh. Some results of the study of the parameters of atmospheric electricity in the area of the Mukulan quarry (Northern Caucasus) // News of universities. North Caucasian region. Series: Natural Sciences, 2010. Issue 3. P. 43–46.
3. Imyanitov I.M., Chubarina E. V. Electricity of the free atmosphere. L., Gidrometeoizdat, 1965, 240 p.
4. Imyanitov I.M., Chubarina E.V., Shvarts Ya.M. Cloud electricity. L.; Gidrometeoizdat, 1971, 93 p.
5. Kolokolov V.P. and other Measurements of the electric field over the Atlantic and Indian oceans. In: Meteorological Research. M., MGK Publishing House, 1982, No. 27, p. 10–16.

6. Levin L.M. Research on the physics of coarse aerosols. Academy of Sciences of the USSR. M., 1961, 267 p.
7. Oguryaeva L.V., Shvarts Ya.M. Analysis of the long-term variation of atmospheric electricity in the surface layer. Regular measurements of the electrical conductivity of the air. In: Meteorological Research. M., MGK Publishing House, 1982. No. 27. P. 35–48.
8. Petrov A.I., Petrova G.G., Panchishkin I.N., Kudrinskaya T.V., Petrov N.A. Results of long-term expeditionary atmospheric-electrical research in the surface layer // News of universities. North Caucasian region. Series: Natural Sciences, 2010, Special issue. P. 73–76.
9. Pudovkina I.B. Some results of the study of the anomalies of the electric field of the atmosphere in the region of the Baksan Gorge // Proceedings of the Elbrus expedition. 1961. No. 215.
10. Raist P. Aerosols. M.: Mir, 1987. P. 134–145.
11. Redin A.A., Klovo A.G., Kupovyh G.V., Morozov V.N. Space charge generation near the earth's surface, taking into account the interaction of aerosol particles with air ions // News of universities. North Caucasian region. Series: Natural Sciences, 2010, Special issue, p. 81–85.
12. Sedunov Yu.S. On the theory of diffusion charging of particles of arbitrary shape. Engineering Physics Journal, 1959. No. 12. P. 57–63.
13. Smirnov V.V. On the physical nature of the effect of selective interaction of air ions and aerosols // Izvestiya AN SSSR. Physics of the atmosphere and ocean. 1990, t. 26. No. 6. P. 622–626.
14. Stepkina M.Yu., Kudryashova O.B., Antonnikova A.A. Experimental study of the dispersion of charged particles in a flow and on a surface during electrostatic spraying // The science. Innovation. Technologies., 2016. No. 3. P. 89–95.
15. Filippov A.Kh., Krechetov A.A., Zarifova N.G. Results of the study of atmospheric electricity in Eastern Siberia. Proceedings of the 2nd All-Union Symposium on Atmospheric Electricity. L., Gidrometeoizdat, 1984, 279 p.
16. Fuchs N.A. On the value of charges on particles of atmospheric aerocolloids. Izv. USSR Academy of Sciences, ser. geogr. i geofiz, 1947. No. 4. P. 341–348.
17. Chalmers J. A. Atmospheric electricity. L., Gidrometeoizdat, 1974, 420 p.

18. Shvarts Ya.M., Oguryaeva L.V. Long-term variation of atmospheric electricity values in the surface layer // *Meteorology and Hydrology*. 1987. No. 7. P. 59–64.
19. Hoppel W.A., Gathman S.G. Determination of the eddy diffusion coefficients from atmospheric electrical measurements // *J. Geoph. Res.*, 1971. Vol. 76. No. 6. P. 1467–1477.
20. Rudg W.A.D. On some sources of disturbance of the normal atmospheric potential gradient // *proc. Roy. soc.* 1914, a. Vol. 90. P. 571–582.

**Поступило в редакцию 30.05.2022,  
принята к публикации 11.07.2022.**

#### **Об авторе**

**Зекореев** Ризуан Хабилович, старший научный сотрудник лаборатории атмосферного электричества, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт». РФ, Кабардино-Лалкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 2.  
E-mail: zeri54@mail.ru.  
Тел. +7 (938) 694 66 74

#### **About the author**

**Zekoreev** Rizuan Khabilovich, Senior researcher, of the laboratory of atmospheric electricity of Federal state budgetary institution «High Mountain Geophysical institute». Russian Federation, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Lenin Ave, 2.  
Tel. +7 (938) 694 66 74

УДК: 910

ПУТЕВЫЕ ЗАМЕТКИ

**Чихичин В.В.,**  
**Соловьев И.А.,**  
**Зольникова Ю.Ф.,**  
**Овсянников Е.И.**

ФГАОУ ВО  
Северо-Кавказский федеральный университет,  
г. Ставрополь,  
Россия

### **ИВАНОВСКАЯ ГОРОДСКАЯ АГЛОМЕРАЦИЯ: МИНИ-ПОРТРЕТЫ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ (ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИИ)**

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.3.8

- Введение.** Коллектив авторов в октябре 2021 г. совершил экспедицию в Ивановскую область в целях изучения демографического развития городской агломерации, ядром которой является центр этого региона. На основе путевых наблюдений составлены общегеографические, с упором на социально-экономические процессы, мини-портреты городов Иваново, Кохмы, Шуи, Вичуги, Тейково, Гаврилова Посада, Плёса, пгт. Палеха и не входящей в агломерацию Кинешмы.
- Материалы и методы.** Ключевым методом исследования является визуальное наблюдение и опрос местного населения. В работе также использовались данные официальной статистики по численности населения населенных пунктов.
- Результаты и обсуждение.** В статье даются мини-портреты населенных пунктов в соответствии с классической схемой экономико-географической характеристики территории, а именно описываются: экономико-географическое положение, природные условия, история формирования, население, экономика, благоустройство.
- Выводы.** Сила взаимодействия населенных пунктов в пределах Ивановской городской агломерации не так велика, как во многих других агломерациях нашей страны. И причина этому – близость Москвы, которая во многом перетягивает на себя функции ядра. Образ депрессивной территории в ходе экспедиции в большой степени не оправдался. Города живут и пытаются развиваться. У одних это получается лучше, у других хуже.
- Ключевые слова:** экспедиция, путевые наблюдения, Иваново, Кохма, Шуя, Вичуга, Тейково, Гаврилов Посад, Палех, Плём, Кинешма.

Chikhichin V.V., North Caucasian Federal University,  
Soloviev I.A., Stavropol, Russia  
Zolnikova J.F.,  
Ovsyannikov E.I.

### **Ivanovo City Agglomeration: Mini-Portraits of Settlements (based on the materials of the expedition)**

- Introduction.** In October 2021, a team of authors made an expedition to the Ivanovo region in order to study the demographic development of the urban agglomeration, the core of which is the center of this region. On the basis of travel observations, general geographical, with an emphasis on socio-economic processes, mini-portraits of the cities of Ivanovo, Kokhma, Shuya, Vichuga, Teikovo, Gavrilov Posad, Plyosa, and the town. Palekh and Kineshma, which is not part of the agglomeration.
- Materials and methods.** The key research method is visual observation and a survey of the local population. The work also used official statistics on the population of settlements.
- Results and discussion.** The article gives mini-portraits of settlements in accordance with the classical scheme of the economic and geographical characteristics of the territory, namely, it describes: economic and geographical position, natural conditions, history of formation, population, economy, improvement.
- Conclusions.** The strength of the interaction of settlements within the Ivanovo urban agglomeration is not as great as in many other agglomerations of our country. And the reason for this is the proximity of Moscow, which in many ways pulls over the functions of the core. The image of the depressive territory during the expedition was not justified to a large extent. Cities are alive and trying to develop. Some do it better, others worse.
- Key words:** expedition, travel observations, Ivanovo, Kokhma, Shuya, Vichuga, Teikovo, Gavrilov Posad, Palekh, Ples, Kineshma.

#### **Введение**

Городская агломерация – сформирована населением через разного рода связи: экономические, транспортные, трудовые, рекреационные, социальные, семейные. В последнее время этим территориальным образованиям стали уделять особое внимание, в том числе на уровне управления, стратегического и территориального планирования. Например, границы Ивановской городской аг-



ломерации (далее – ИГА) обозначены в Стратегии социально-экономического развития Ивановской области до 2024 года [8]: городские округа Иваново, Кохма, Тейково, Шуя, Ивановский, Комсомольский, Лежневский, Приволжский, Родниковский, Савинский, Тейковский, Фурмановский, Шуйский муниципальные районы. Подчиняется ли реальность указаниям в высоких документах? Существует ли агломерационное взаимодействие между объединенными в документе муниципалитетами?

Ответить на эти вопросы можно разными способами, один из них – экспедиция. Благодаря гранту Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) авторам данной статьи, географам Северо-Кавказского федерального университета, удалось побывать в основных населённых пунктах Ивановской городской агломерации.

Полевые исследования проведены в период с 22 по 26 октября 2021 года. Основная их цель – изучение особенностей демографических и миграционных процессов в агломерации. А описание их географического фона представляем в данной экспедиционной статье.

### **Материалы и методы**

Перед отъездом в экспедицию наша команда провела подготовительную работу. Во-первых, мы определились с территорией исследования. В рамках проекта РФФИ, руководит которым заведующий кафедрой социально-экономической географии СКФУ профессор В.С. Белозеров, изучаются особенности демографических процессов в городских агломерациях Европейской части России. Ивановская агломерация была выбрана как депопулирующая, расположенная в Центральной России.

Во-вторых, необходимо было понять границы ИГА и определить перечень посещаемых населенных пунктов. В этом мы опирались на методику ИГАН, по которой границы агломерации определяются территорией в пределах 1,5-часовой транспортной доступности [9]. В соответствии с ней в состав ИГА входят: городские округа Иваново, Вичуга, Кохма, Тейково, Шуя, Гаврилово-Посадский, Ивановский, Ильинский, Комсомольский, Лежневский, Палехский, Приволжский, Родниковский, Савинский, Тейковский, Фурмановс-

кий, Шуйский муниципальные районы. В рамках экспедиции мы посетили пять указанных городских округов, а также Гаврилов Посад, Палех и Плёс (Приволжский район). Важно отметить, что этот состав отличается от обозначенного выше официального видения. Пользуясь случаем, мы не могли обойти вниманием Кинешму – второй город области, не входящий в состав Ивановской агломерации. Детальное планирование маршрута осуществлялось с помощью сервиса «ЯндексКарта».

В-третьих, нами был составлен методический инструментарий, с помощью которого возможно решить исследовательские задачи и накопить личные впечатления. Последние в основном и стали основой данной статьи. Но для ее написания мы использовали и другие (более научные) результаты нашей работы: материалы опросов жителей и экспертов (местных ученых, управленцев, работников учреждений культуры), результаты анализа статистических данных о населении. Для понимания транспортных связей внутри агломерации мы перемещались на взятом напрокат автомобиле.

В-четвертых, на бумаге экспедиционные впечатления мы представляем в виде мини-портретов посещенных населенных пунктов, составленных на основе классической схемы экономико-географической характеристики Н.Н. Баранского [3]. Немного адаптируя её, мы характеризовали территории по следующему плану:

- 1) введение, в том числе экономико-географическое положение;
- 2) природные условия;
- 3) историко-географический очерк;
- 4) население;
- 5) экономика;
- 6) внутренняя дифференциация и благоустройство.

Посещенные нами населенные пункты (кроме Иваново) описываются по парам, в которые они объединены, как минимум, по одному признаку (он вынесен в заголовок части текста о них).

## Результаты и обсуждение

### *Иваново – региональный центр и ядро агломерации.*

Когда собираешься в Иваново, невозможно не вспомнить, как минимум, две расхожие ассоциации, связанные с ним. Одна адресная, что он – город невест. Вторая – общая для всех территорий, входящих в непосредственное влияние Москвы: столица вытягивает население и потенциал, чем усиливает промышленную депрессивность. Забегая вперед, отметим, что в этих элементах образа города присутствуют и реальность, и стереотипы.

Издалека, например, из Ставрополя, в Иваново трудно попасть, минуя Москву. Исключение – личный автомобильный транспорт, но и в этом случае Яндекс.Карты прокладывают кратчайший маршрут через ближайшее Подмосковье. Аэропорт в Иваново есть, но география его прилетов/вылетов очень скудна – Санкт-Петербург, Сочи и Калининград. Из Москвы, от которой почти 300 км (не так уж и мало) удобно добираться на железнодорожном транспорте. Между городами курсирует современный электропоезд «Ласточка», который идет по маршруту 4 часа, часть пути от Владимира она едет на паровой тяге.

В природном плане Иваново не имеет запоминающихся маркеров. Типичный ландшафт всей области – слабохолмистые равнины со смешанными лесами и опольями. Некрупная река Уводь (приток Клязьмы), протекая с севера на юг разделяет город на две части. Кстати, в центре Иванова на набережной расположена забавная городская достопримечательность – утиный базар, который рекомендуем посетить для улучшения настроения. Водами Уводи пользовались первые текстильные предприятия, в первую очередь неработающая ныне Большая ивановская мануфактура.

Здесь логично немного рассказать об истории города. Скорее всего, мы не ошибемся, если скажем, что Иваново мало кто ассоциирует со знаменитым туристическим маршрутом «Золотое кольцо России», в состав которого входит. В этом городе почти не сохранились старые церкви и монастыри. В советское время большинство из них было снесено. С конца XX в. началось строительство новых религиозных объектов, в том числе на месте разрушенных.

В отличие от других пунктов Золотого кольца, у Иванова как у города довольно короткая история. В 1871 г. путем объединения села Иваново и Вознесенского посада был создан безуездный город Иваново-Вознесенск [1]. Для сравнения, входящая в агломерацию Шуя стала городом в 1539 г., а второй населенный пункт области Кинешма – в 1777 г. В 1932 г. Иваново-Вознесенск сократил свое название до современного.

Село Иваново ведет свою историю, как минимум, с XVII века. В том же веке начала зарождаться промышленность. Уже упомянутая Большая ивановская мануфактура была создана в 1751 г. История города хорошо просматривается в его внешнем облике. В центре много красивых, дореволюционных каменных особняков (редко деревянных), но линии связи, троллейбусные столбы и прочий визуальный «мусор» мешают их воспринимать. Много здесь зданий 20–30-х годов XX в., созданных в стиле «конструктивизм». В эпоху расцвета этого архитектурного стиля Иваново планировали превратить в образцовый социалистический город – третью пролетарскую столицу. В это время в городской застройке появляются знаменитые дома-метафоры, дома-коммуны, фабрики-кухни, единственный в стране конструктивистский вокзал и другие произведения архитектурного авангарда [4].

Промышленная специализация и постсоветский экономический кризис довольно заметно сказались на облике Иванова. Здание Большой ивановской мануфактуры расположена в центре города, более того оно является доминантным. С него начинается промышленная зона, нахождение которой в центральной части, тем более в виде развалин, портит впечатление. Помимо эклектики архитектурных стилей отмечается разная этажность застройки – от 2–3 до более 20 этажей. Это, а также отсутствие пешеходной улицы в городе, уменьшают его привлекательность для туристов.

На закате Советского Союза население Иванова почти достигло полумиллионного рубежа, но затем стало неуклонно сокращаться (рис. 1; 2; 3). К 2021 г. количество жителей уменьшилось до 401 тыс. чел., то есть почти на 17% [10]. Для сравнения численность населения центров соседних регионов с 1991 г. снизилась: Кострома – на 2%, Ярославля – на 6%, Нижнего Новгорода – на 14%, количество жителей Владимира увеличилось на 4%.

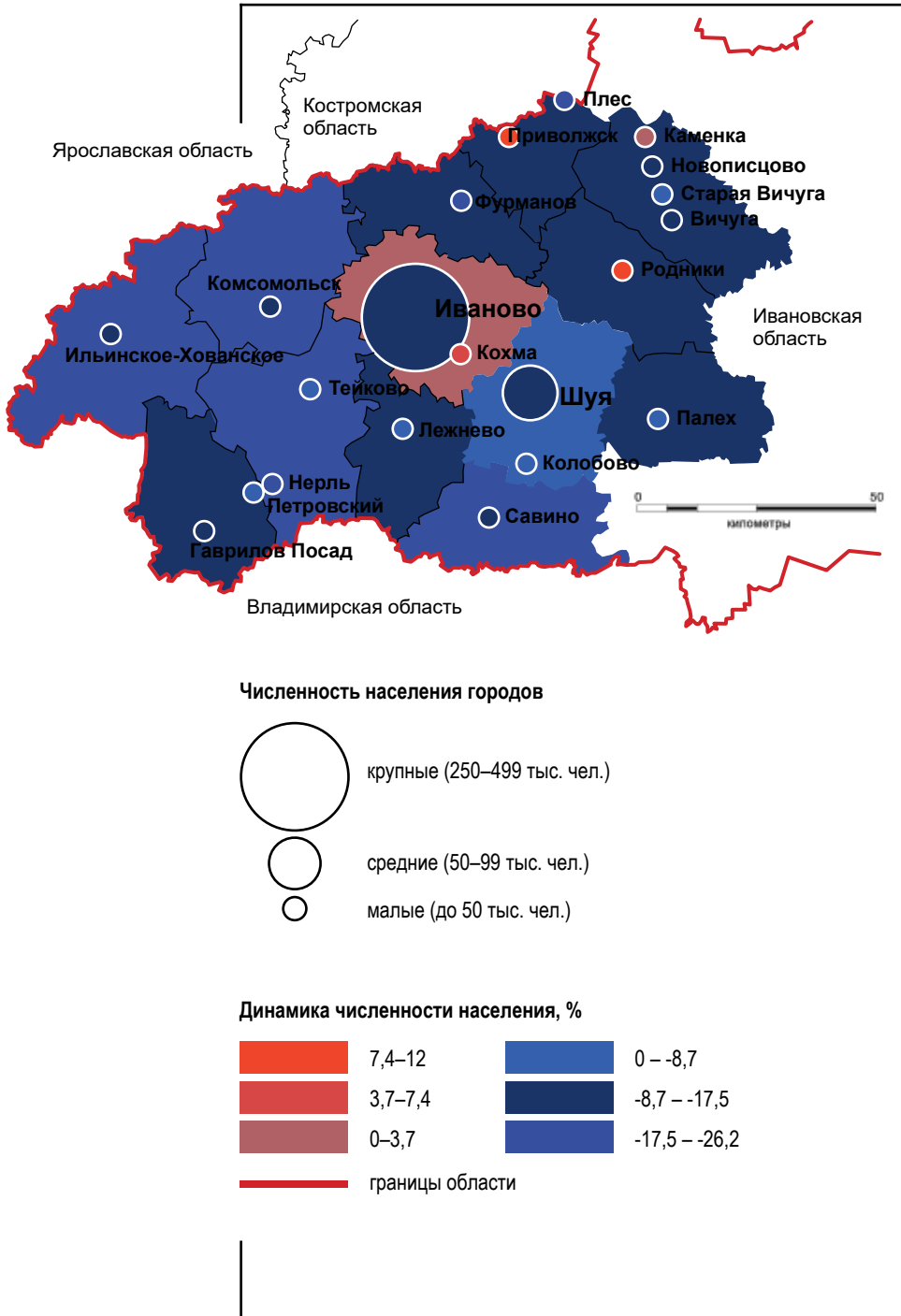
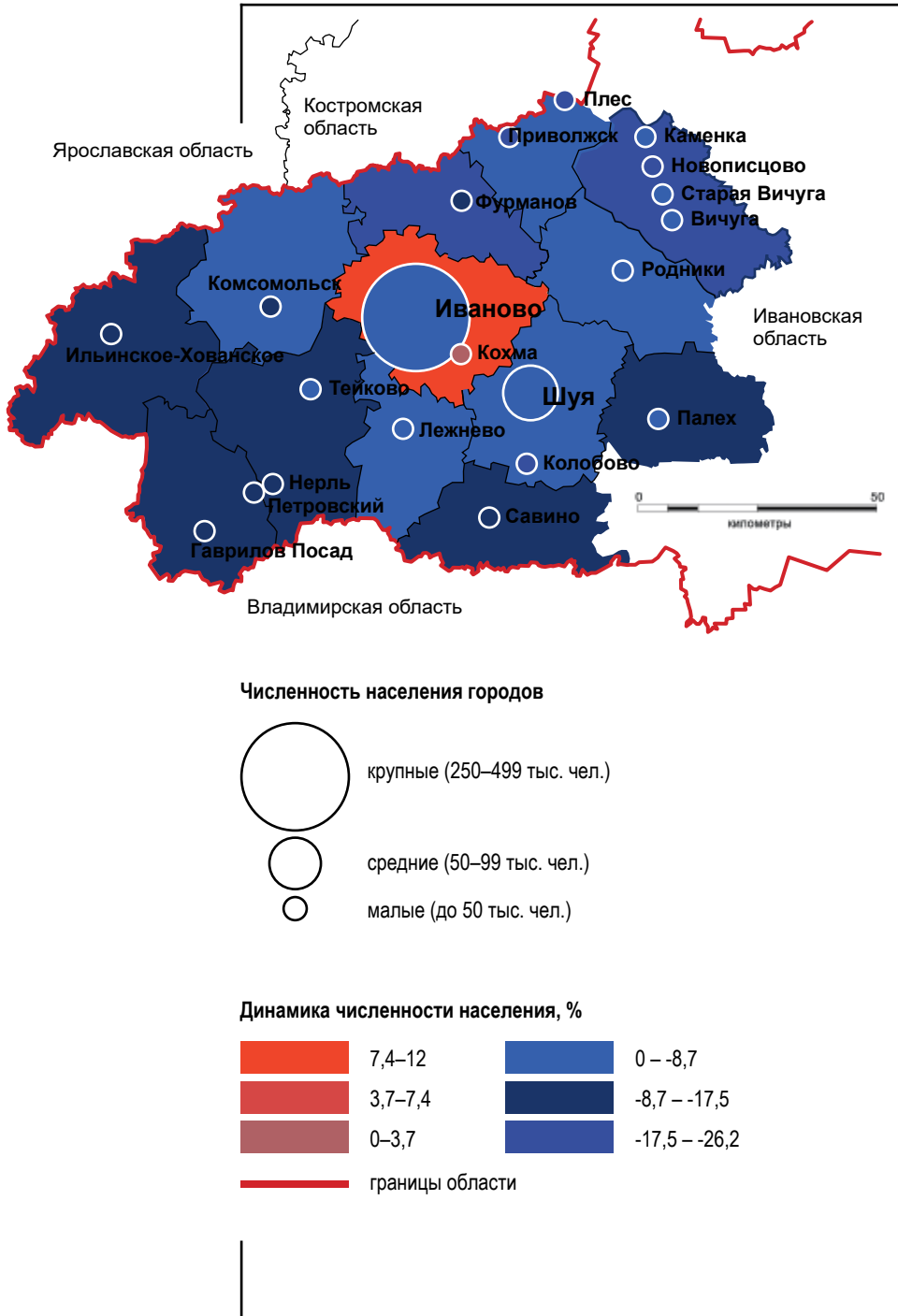


Рис. 1.

**Динамика численности населения территорий Ивановской городской агломерации в 1989–2002 гг., %**

Fig. 1. Dynamics of the population of the territories of the Ivanovo urban agglomeration in 1989–2002, %



**Рис. 2. Динамика численности населения территорий Ивановской городской агломерации в 2002–2010 гг., %**  
Fig. 2. Dynamics of the population of the territories of the Ivanovo urban agglomeration in 2002–2010, %

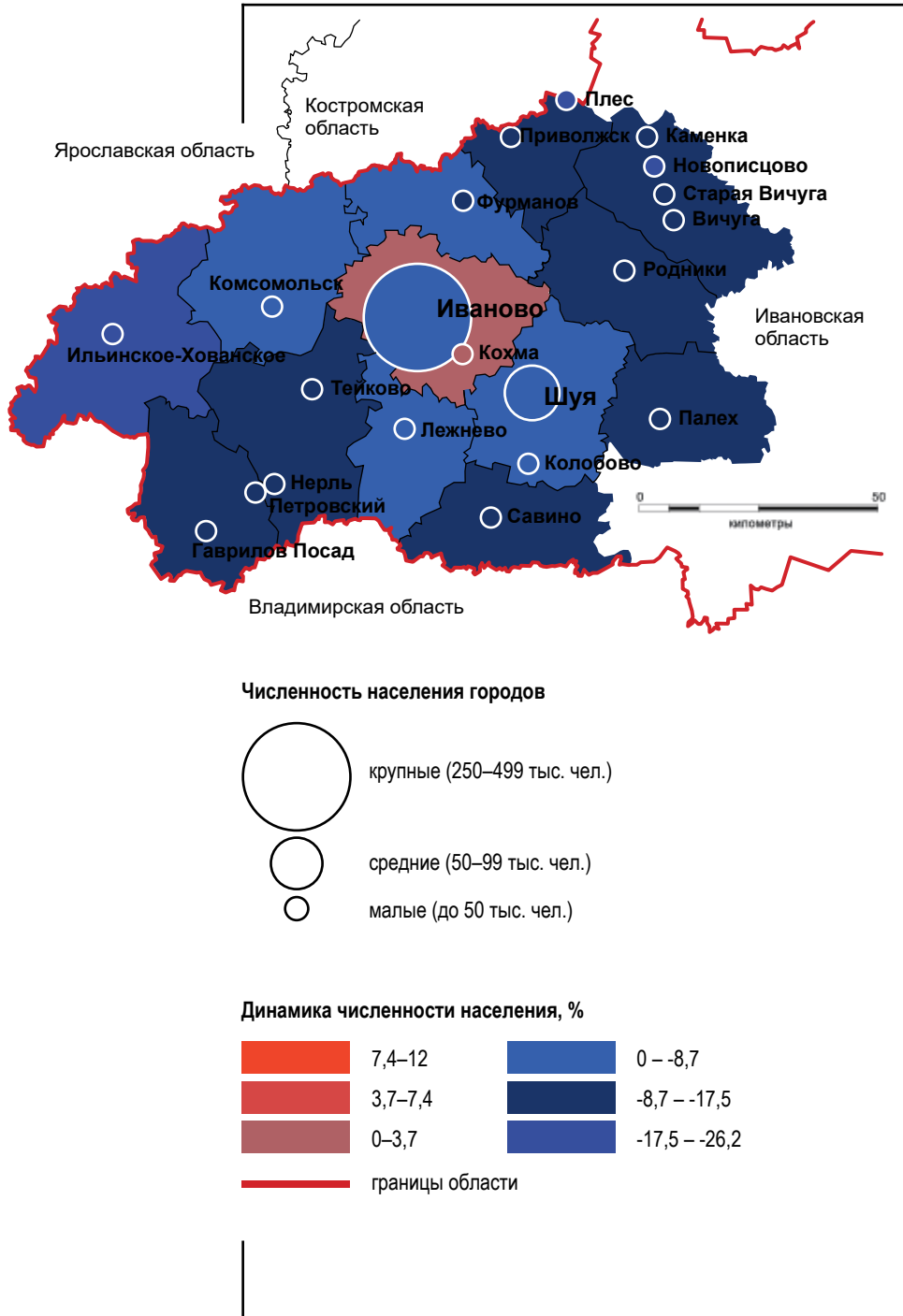


Рис. 3.

**Динамика численности населения территорий Ивановской городской агломерации в 2010–2020 гг., %**

Fig. 3. Dynamics of the population of the territories of the Ivanovo urban agglomeration in 2010–2020, %

Рисунок планировочной структуры Иванова приближен к прямоугольным пересечениям улиц, чему способствовал равнинный рельеф и относительная его молодость. В городе улицы широкие, преобладает многоэтажная застройка, что придает ему столичный статус. Отличительной чертой является отсутствие центральной площади. Вместо неё напротив местной администрации разбит небольшой сквер (Площадь революции), в котором есть церковь и памятники.

Ядром центра города служит зона отдыха, сформированная по берегам Уводи. Здесь расположены аттракционы, цирк, крупный торговый центр «Серебряный город», пешеходные мосты через реку, кафе и рестораны («Арагви», «Чайхана»), драматический театр, а также ведется точечная высотная застройка – жилищная и офисная. Ведется благоустройство этой территории. Ночью все строения набережной светятся огнями.

### ***Плѣс и Кинешма – туристические витрины региона.***

Оба города расположены на Волге, оба являются туристическими центрами и входят в круизные маршруты. Расстояние между ними по автомобильной дороге около 100 км. Плѣс – это часть Ивановской агломерации, Кинешма – нет. Так как первый, пожалуй, более известен в России, начнем описание с него.

Географическое положение Плѣса, конечно же, определяется Волгой, которая в какой-то степени способствует транспортной изолированности города: ближайшие автомобильные мосты построены далеко – в той же Кинешме и в Костроме. Ширина Волги – 650–700 метров. Железнодорожного сообщения нет. Но в данном случае – это, скорее позитивный фактор, так как он способствует сохранению размеренного образа жизни и аутентичного внешнего облика, что работает на устойчивую туристическую привлекательность.

По мнению историка К.Е. Балдина, Плѣс наряду с Юрьевцом – древнейшие города Ивановской области [1]. Не вдаваясь в исторические подробности, отметим, что при интенсивном развитии легкой промышленности в Иваново-Шуйском районе Плѣс вплоть до постройки в 1871 г. железной дороги «Иваново – Кинешма» оста-



вался основным портом всего текстильного края. Впоследствии утратил своё значение как перекрёсток транспортных путей и превратился в захолустный городок.

После распада СССР Плёс оказался в тяжёлом экономическом положении, что в первую очередь отразилось на численности его населения: в 1992 г. – 4 тыс. чел., в 2021 г. – 1,7 тыс. чел. (рис. 1; 2; 3) [10]. По количеству жителей Плёс входит в топ-10 самых маленьких городов России. Конечно, в курортный сезон, число людей в этом живописном городке на Волге увеличивается в разы.

По данным туристического портала ТурСтат, туристическая плотность Плёса составляет 170 туристов в год на 1 жителя [5], это самый большой показатель в России. Таким образом, общее количество отдыхающих здесь ежегодно – около 300 тыс. чел. По словам жителей Иванова, с которыми мы беседовали, в Плёсе много домов, принадлежащих москвичам и занимаемых ими всего несколько недель в году.

Несмотря на малочисленность населения Плёс – один из самых известных городов России. По данным того же ТурСтата он входит в четвёрку самых посещаемых туристами малых городов нашей страны [6].

Туризм – экономическая специализация Плёса. Это город, хорошо благоустроенный и сохранивший дореволюционный облик с частной уникальной деревянной застройкой. Каждый дом здесь хранит историю. Много музеев, памятников, скульптур и кафе. С высокого холмистого берега Волги открываются живописные виды. По высоким холмам проложены мощенные пешеходные дорожки. На Соборной горе обустроены смотровые площадки с видом на Волгу, её набережную, и гору Левитана, увенчанную деревянной Воскресенской церковью. Здесь среди огромных берёз приютился Собор Успения Пресвятой Богородицы.

Внизу вдоль Волги тянется купеческая улица с каменными малоэтажными особняками, над которой сияют золотом купола Церкви Воскресения Христова. На набережной ведётся бойкая торговля кофе, сувенирами, копченой, вяленой и соленой рыбой. К центральной площади примыкает пивоварня с рестораном. С историей Плеса связаны такие достопримечательности города как Мучные и

Мясные ряды. В настоящее время в них расположено много обычных магазинов с разными товарами.

В Плёсе можно насладиться тишиной и умиротворенностью. Этим он в свое время привлекал творческих людей. Самый известный гений этого «места силы» – художник Исаак Левитан. Скульптура «Палитра» изображает его за работой. Есть памятник Федору Шаляпину, на котором он изображен сидящим на лодке у Волги. Великий оперный певец имел в Плёсе дачу.

Кинешма – второй по численности город Ивановской области (80 тыс. чел.). Как и Плёс, расположен на правом берегу Волги, протянувшись вдоль него более чем на 11 километров. Имеет порт и железнодорожную станцию. В отличие от Плёса, у Кинешмы есть автомобильный мост через Волгу, который сооружался с 1986 по 2003 г. Ежедневно курсирует поезд «Кинешма – Москва», едущий в столицу почти 10 часов (расстояние – 400 км). Кстати, останавливается он почти во всех основных городах области: Вичуга, Иваново, Тейково, Гаврилов Посад. К волжской силе Кинешмы добавляется красота леса, переходного от смешанных пород к европейской тайге, что способствует развитию туризма.

Кинешма возникла в период монголо-татарского ига [2]. В 1778 году она, бывшая ранее слободой, получила статус уездного города. К концу XVIII века здесь действовали мануфактуры, которые выпускали различные разновидности текстильного полотна. К концу XIX века Кинешма с уездом стали одним из крупнейших центров текстильного производства. Советский период характеризуется бурным развитием промышленности и социальной сферы, постсоветский – как и для других территорий, экономическим кризисом. Главное доказательство – сокращение численности населения: 1991 г. – 105 тыс. чел., 2021 г. – 80 тыс., то есть на 24% [10].

В витринной части Кинешмы хорошо сохранился дореволюционный облик типичного купеческого города. Здесь много каменных малоэтажных отреставрированных особняков XIX века. Богатый культурный потенциал вкупе с величием Волги делают город важным центром притяжения туристов. Подавляющая часть из них приезжает на один день в рамках речных круизов. Особенно приятное место для прогулок – Волжский бульвар, обустроен-

ный на высоком берегу реки. Отсюда открываются весьма живописные виды.

На Волжском бульваре находится несколько достопримечательностей города (драматический театр им. А.Н. Островского, Троице-Успенский собор), а также красивые беседки, характерные для других волжских городов. В Кинешме имеются красивые церкви и соборы, музеи (в т. ч. частный музей валенок и ресторан-музей «Русская изба») и др. Однако за пределами центральной площади и набережной уже не все здания имеют опрятный вид, а застройка разбавлена советскими и современными домами.

### *Шуя и Кохма – ближайшие спутники Иваново.*

Шуя является третьим городом области по численности населения (56 тыс. чел.) и имеет более богатую историю, чем региональный центр. Последний факт сильно влияет на шуйскую идентичность, которая во многом основывается на обиде жителей города на то, что «какое-то там село Иваново» стало областной столицей, а не исторически гораздо более значимая Шуя. Небольшая речка Теза разделяет город на две примерно равные части. На более высоком левом берегу была построена деревянная крепость (Шуйский кремль), к которому примыкал посад.

Князь Андрей Михайлович Шуйский был главой боярского правительства России в 1542–1543 гг., а князь Василий Иванович Шуйский в 1606–1610 гг. был последним русским царем из рода Рюриковичей. С богатой историей города можно познакомиться в замечательном краеведческом музее. Ценнейшие коллекции здесь посвящены поэту Константину Бальмонту и актрисе Екатерине Мазуровой. В музее демонстрируется большая коллекция птичьих яиц и бабочек.

Численность населения Шуи за постсоветский период значительно сократилась (на 19%): 1989 г. – 69 тыс. чел., 2021 г. – 56 тыс. чел. (рис. 1; 2; 3) [10]. Для оживления экономики горожане предпринимают заметные меры по развитию туристического потенциала. История города, интересные архитектурные постройки различных стилей и эпох легли в основу разных туристических программ: «Шуя историческая», «Шуя православная», «Шуя литературная», «На роди-

не поэта Константина Бальмонта» и др. Здесь проводится много фестивалей. Отреставрировано здание железнодорожного вокзала. Из брендовых товаров отметим ликероводочные изделия Шуйского завода, при котором имеется небольшой музей шуйской водки.

В центре сохранился образ дореволюционной Шуи. Здесь преобладает одна-двухэтажная застройка с большим присутствием деревянных зданий. Однако многие дома нуждаются в реставрации. В целом для успешного развития туризма необходимо привести в порядок архитектуру и благоустроить в первую очередь центральную часть города.

Самая красивая улица является пешеходной. Это так называемый Шуйский Арбат (современное официальное название ул. Малахия Белова). Здесь сохранилась старинная застройка – каменные дома, усадьбы купцов, построенные в первой половине XIX века, гостиный двор и торговые ряды. Много магазинов, в том числе с сувенирами, где продают изделия и местных производителей.

Шуя знаменита также тем, что здесь построена одна из самых высоких отдельно стоящих колоколен в России. В городе сохранился уникальный памятник архитектуры – единственные мерные часы в центральной России первой половины XIX в.

Кохма – классический город-спутник областной столицы. От центра до центра двух городов всего 13 км, это расстояние можно преодолеть в том числе на троллейбусе, который курсирует между населенными пунктами. Скорее всего, это один из немногих подобных примеров в России. Таким образом, географическое положение Кохмы характеризуется в первую очередь близостью к региональному центру, через который осуществляются основные связи с внешним миром. Имеется железнодорожная станция, с нее можно уехать в Шую, Ковров, Фурманов и Нерехту.

Иваново и Кохма соединены между собой и природным объектом – рекой Уводь. Что касается истории, то в 1619 г. она упоминается как село Рождественское-Кохма, статус города получен в 1925 г. Его развитие связано с текстильной промышленностью, как и большинства городов Ивановской области.

Кохма – один из немногих населенных пунктов региона, численность населения которого за постсоветское время увеличилась:

1992 г. – 27 тыс., 2021 г. – 30,3 тыс. (рис. 1; 2; 3) [10]. Сказывается пригородное положение, которое приманивает сюда людей, желающих жить поближе к крупному городу, но не имеющих средств для покупки в нем жилья.

Визуальное знакомство с Кохмой особого удовольствия не вызвало. Центральная часть города выглядит уныло, за исключением здания администрации. Главная площадь не благоустроена, вокруг нее представлена малоэтажная каменная застройка, а на окраинах преобладают одноэтажные частные дома. Неподдалеку от площади расположен музей истории городского округа Кохма, в котором хранятся подлинные документы, письма, фотографии, предметы быта и другие экспонаты. Наряду с традиционными экспозициями, посвященными разным этапам развития города, в музее есть зал, в котором выставлены работы жителей Кохмы (например, авторские куклы Н.А. Ястребовой, картины – вышивки лентами и др.).

### ***Вичуга и Палех – к востоку от Иваново.***

Вичуга расположена от областного центра на довольно солидном расстоянии – 70 км, поэтому её отнесение к Ивановской агломерации не столь однозначно, как для Кохмы или для Шуи. Через Вичугу проходит железная дорога «Москва – Кинешма».

Город Вичуга образовался в 1925 г. путём объединения трёх десятков населённых пунктов. Развитые инфраструктуры вокруг трёх главных фабричных центров до сих пор сохраняют относительную самостоятельность, что является особенностью города. Распоряжением Правительства РФ от 29.07.2014 № 1398-р «Об утверждении перечня моногородов», Вичуга включена в список моногородов Российской Федерации с риском ухудшения социально-экономического положения. Основная специализация – текстильная промышленность. Отсюда и очень ошутимое сокращение численности населения. В 1980-е годы Вичуга являлась средним городом (1986 г. – 52 тыс. чел.), но ещё до распада СССР выбыла из этой группы поселений. С 1992 г. количество жителей сократилось на рекордные 33% (рис. 1; 2; 3) [10].

Вичуга не является туристическим городом, но здесь есть на что посмотреть, заехав сюда, перемещаясь из Иваново в Кинешму. Немало объектов и памятников архитектуры, которые связаны с жизнью и деятельностью семей городских фабрикантов. На их средства строились не только промышленные здания, но и социальные объекты. Особенно много красивых построек в городе связано с именем А.И. Коновалова. Им во второй половине XIX века был заложен центральный городской парк, на территории которого растут березы, дубы, липы, сосны, а также сибирские кедры. В советское время в парке были высажены новые деревья и поставлены скульптуры рабочих.

Также из достопримечательностей Вичуги можно выделить несколько религиозных объектов. Один из значимых – храм Воскресения Христова («Красная церковь»), он считается одним из крупнейших храмов в Центральной России и памятником русского церковного зодчества начала XX в. Еще один храм – Воскресенский был построен в 1904 г. в русско-византийском стиле. Необычным нам показалось то, что в центральном храме Вичуги прихожан заывают благовестом колоколов особенно долго.

Создан неплохой краеведческий музей, особенно удались природные экспозиции. На примере Вичуги заметны позитивные изменения в благоустройстве российских малых городов. По-хорошему впечатляют недавно отреставрированные центральная площадь и окружающие ее здания.

Поселок городского типа Палех известен почти также, как и Плѣс. Но больше не как удивительно умиротворяющее туристическое место, а как центр знаменитого народного промысла «лаковая миниатюра». Здесь создан уникальный музей, в котором демонстрируется наследие местных мастеров – иконы, шкатулки, картины, броши и др. В доме мастера И.И. Голикова представлены его личные вещи, фотографии, а также раскрывается технология художественного промысла.

Современный статус Палеху присвоен в 1947 г., тем самым было подчеркнута особое значение этого в общем-то небольшого населенного пункта на карте народных промыслов нашей страны. После распада Советского Союза количество жителей Палеха неук-

лонно снижается: 1989 г. – 6,2 тыс., 2021 г. – 4,6 тыс., то есть на 26% (рис. 1; 2; 3) [10].

На территории поселка расположено несколько религиозных объектов. Главный храм – Крестовоздвиженский собор со своей оригинальной архитектурой и уникальной росписью, часть которой делали местные мастера. Вокруг храма расположен сквер, в нем отдыхают местные жители и туристы. Дома здесь преимущественно деревянные, многие имеют вполне презентабельный вид, что является дополнительной приманкой для туристов, особенно для тех, которые приезжают сюда из местностей с другими типами сельских жилищ. Например, для нас – жителей Юга России.

### *Тейково и Гаврилов Посад – на пути в Москву.*

Эти города расположены на одной железнодорожной линии Александров – Иваново. Они еще ближе к российской столице: Тейково – 260 км, Гаврилов Посад – 240 км. В связи с этим, жители этих населенных пунктов, в первую очередь, молодежь сильнее ориентируются на Москву, как на место приложения труда. Этому способствует и поезд Кинешма – Москва, который курсирует ежедневно.

Город Тейково расположен на реке Вязьма (бассейн Оки), в 30 км от Иванова. В 1787 г. московским купцом И.П. Каретниковым здесь была основана ткацкая фабрика. Статус города Тейково получило в 1918 г. С 1961 г. является местом дислокации гвардейского соединения РВСН (54-я гвардейская ракетная дивизия).

Современная численность населения составляет 31,6 тыс. чел., по сравнению с 1992 г. она сократилась на 18% (рис. 1; 2; 3) [10]. В Тейково начали организовывать музей. Мы побывали в центральной части города. Главная площадь выглядит не так парадно, как в Вичуге, но достаточно симпатично. Здесь находятся дом культуры с колоннадой, памятник Ленину, здание администрации, торговый центр, а также жилой дом сталинских времен. В этой части города встречаются и старинные и современные постройки, имеются и несколько церквей. Ряд архитектурных объектов связан с деятельностью фабрикантов, основавших здесь ткацкое производство, которое и сейчас является ведущей специализацией.

Гаврилов Посад расположен на реке Ирмес (приток Нерли), в 85 км от Иванова. Географическое положение города достаточно удобное: 30 километров до Суздаля, 80 до областного центра и около 200 до Москвы.

Гаврилов Посад как село Гавриловское упоминается в 1434 г. История Гавриловского Посада и окружающих селений тесно связана с дворцовым конным заводом, по преданиям, основанным во времена Ивана Грозного. Статус города присвоен в 1789 г. В 1941 г. в Гаврилове Посаде размещался Государственный племенной коневодческий рассадник Наркомзема СССР по породам брабансон и клейдесдаль.

Гаврилов Посад имеют маленькую людность, современная численность его населения составляет 5,5 тыс. чел., по сравнению с 1992 г. она сократилась на 35% [10]. Гаврилов Посад знаменит конезаводом. Здесь выведена порода Владимирский тяжеловоз. В городе есть несколько каменных дореволюционных особняков и высоток. Основа архитектурного облика – разнотипная частная одноэтажная застройка.

К достопримечательностям Гаврилова Посада относится центральная Советская площадь с архитектурными объектами разных эпох, детской площадкой, «парящим» фонтаном. В 2019 г. она была включена журналом «Афиша» в число самых интересных городских пространств. Вокруг площади находятся торговые ряды, здания Дома культуры, краеведческого музея, пожарной части.

В городе действует церковь Михаила Архангела, также имеется храмовый комплекс Ильинское подворье с высокой Ильинской колокольней, которая видна из любой точки Гаврилова Посада. В свою очередь с нее открываются красивые виды на город и окрестности. Церкви на территории подворья являются памятниками архитектуры XVII–XVIII веков.

### **Выводы**

Экспедиция, конечно же, позволила нам прочувствовать территорию, лучше понять силу взаимодействия населенных пунктов в пределах Ивановской городской агломерации. И эта сила, по нашему ощущению, не такая центростремительная, как во



многих других агломерациях нашей страны. Например, в Архангельской городской агломерации, которую мы тоже посетили [7]. И дело здесь не в том, что ядро – Иваново – обладает слабым потенциалом, а в том, что притягивающая магия Москвы гораздо действеннее.

Существовавший в нашем сознании образ этой территории, как депрессивной с былой славой главного текстильного производителя Советского Союза, во многом не оправдался. Да, кризис налицо, убедительнее всего он доказывается заметным сокращением численности населения. Но ощущения тотального запустения у нас не возникло. Города живут, даже малые, постепенно благоустраиваются. Не все одинаково успешно развиваются, но в этом и нет ничего удивительного.

Притягивающая аура у посещенных нами мест имеется, особенно у Плёса и Палеха. Как ни странно, но хуже всего в плане благоустройства выглядят ближайшие к Иваново города – Кохма и Шуя. Последняя, на наш взгляд, очень сильно недоиспользует свой туристический потенциал, замешанный на серьезном историческом наследии.

### **Благодарности**

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00386 А.**

### **Библиографический список**

1. Балдин К.Е. Индустриальное развитие и образовательное пространство провинциального города в конце XIX – начале XX века (на примере Иваново-Вознесенска) // Лабиринт. 2014. № 1. С. 17–26.
2. Балашов Л. М. Кинешма прежде и теперь: Историко-краеведческий очерк. Кинешма, 1999. 56 с.
3. Баранский Н.Н. Очерки по школьной методике экономической географии. М.: Учпедгиз, 1954. 320 с.
4. Ивановский конструктивизм [Электронный ресурс]. URL: <https://visitivanovo.ru/ivanovo/ivanovskijkonstruktivizm> (дата обращения 05.09.2022).

5. Лучшие города России по числу туристов на жителя [Электронный ресурс]. URL: <http://turstat.com/populatowtravel-russia> (дата обращения 05.09.2022).
6. Лучшие малые туристические города России [Электронный ресурс]. URL: <http://turstat.com/bestsmalltownsrussia> (дата обращения 05.09.2022)
7. Соловьев И.А., Чихичин В.В., Овсянников Е.И., Зольникова Ю.Ф. Архангельская городская агломерация: мини-портреты населенных пунктов (на материалах путевых наблюдений) // Наука. Инновации. Технологии, 2022. №1. С. 127–143.
8. Стратегия социально-экономического развития Ивановской области до 2024 года. Электронный ресурс: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/3700202104300001> (Дата обращения: 10.03.2022 г.).
9. Полян П.М. Методика выделения и анализа опорного каркаса расселения. Ч.1. М.: ИГАН СССР, 1988. 220 с.
10. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Ивановской области [Электронный ресурс]. URL: <https://ivanovo.gks.ru/contacts> (дата обращения 05.09.2022).

### References

1. Baldin K.E. Industrial development and educational space of a provincial town in the late XIX – early XX centuries (on the example of Ivanovo-Voznesensk) // Labyrinth, 2014. No. 1. P. 17–26. (In Russ.).
2. Balashov L.M. Kineshma before and now: Historical and local history essay. Kineshma, 1999. 56 p. (In Russ.).
3. Baransky N.N. Essays on the school methodology of economic geography. M.: Uchpedgiz, 1954. 320 p. (In Russ.).
4. Ivanovo constructivism [Electronic resource]. URL: <https://visitivanovo.ru/ivanovo/ivanovskijkonstruktivizm> (Accessed 09.05.2022) (In Russ.).
5. The best cities of Russia in terms of the number of tourists per inhabitant [Electronic resource]. URL: <http://turstat.com/populatowtravelrussia> (Accessed 05.09.2022) (In Russ.).
6. The best small tourist cities of Russia [Electronic resource]. URL: <http://turstat.com/bestsmalltownsrussia> (Accessed 05.09.2022) (In Russ.).
7. Soloviev I.A., Chikhichin V.V., Ovsyannikov E.I., Zolnikova J.F. Arkhangelsk urban agglomeration: mini-portraits of settle-

- ments (based on travel observations) // Nauka. Innovation. Technologies, 2022. No. 1. P. 127–143. (In Russ.).
8. Strategy for socio-economic development of the Ivanovo region until 2024. Electronic resource: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/3700202104300001> (Accessed 03.10.2022). (In Russ.).
  9. Polyan P.M. Methods for isolating and analyzing the supporting frame of settlement. Part 1. M.: IGAN USSR, 1988. 220 p. (In Russ.).
  10. Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Ivanovo region [Electronic resource]. URL: <https://ivanovo.gks.ru/contacts> (Accessed 09.05.2022). (In Russ.).

**Поступило в редакцию 10.07.2022,  
принята к публикации 10.09.2022.**

#### **Об авторах**

**Чихичин** Василий Васильевич, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры социально-экономической географии Северо-Кавказского федерального университета.  
E-mail: wawachi@yandex.ru

**Соловьев** Иван Алексеевич, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры социально-экономической географии Северо-Кавказского федерального университета.  
E-mail: soloivan@mail.ru

**Овсянников** Евгений Игоревич, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры социально-экономической географии Северо-Кавказского федерального университета.  
E-mail: geni\_ovsyannikov@mail.ru

**Зольникова** Юлия Федоровна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры социально-экономической географии Северо-Кавказского федерального университета.  
E-mail: zolnst@mail.ru

#### **About the authors**

**Chikhichin** Vasily Vasilievich, Candidate of Geographical Sciences, As-

sociate Professor, Associate Professor of the Department of Socio-Economic Geography, North Caucasian Federal University.

E-mail: wawachi@yandex.ru

**Soloviev** Ivan Alekseevich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Socio-Economic Geography, North Caucasian Federal University.

E-mail: soloivan@mail.ru

**Ovsyannikov** Evgeniy Igorevich, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Socio-Economic Geography, North Caucasian Federal University.

E-mail: geni\_ovsyannikov@mail.ru

**Zolnikova** Julia Fedorovna, Candidate of Geography, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Socio-Economic Geography, North Caucasian Federal University.

E-mail: zolnst@mail.ru





# НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал  
Северо-Кавказского федерального  
университета

**Выпуск № 3, 2022 г.**

Т

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

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

Подписано в печать 27.09.2022 г. Выход в свет 28.09.2022 г.  
Формат 70 × 108 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага  
офсетная. Усл. печ. л. 15,93. Тираж 1000 экз. Цена 534 руб.

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