

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

ISSN 2308–4758

Выпуск № 2, 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», №2, 2022

25.00.17 (2.8.4)	РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	
	Ваганов Е.В., Сохошко С.К., Саранча А.В., Левитина Е.Е., Краснов И.И., Харитонов Т.А. Результаты ликвидации притоков воды в скважинах, дренирующих газоконденсатные залежи	7
	Vaganov E.V., Sokhoshko S.K., Sarancha A.V., Levitina E.E., Krasnov I.I., Kharitonov T.A. Results of Water Inflow Elimination in Wells Draining Gas Condensate Deposits	8
	Инякина Е.И., Добролюбова Р.К., Томский К.О., Инякин В.В., Елисеева М.И. Результаты экспериментального мо- делирования разработки залежей берегового мес- торождения	25
	Inyakina E.I., Dobrolyubova R.K., Tomskiy K.O., Inyakin V.V., Eliseeva M.I. Results of Experimental Simulation of the Development of Gas Condensate Deposits of the Coastal Field	26
	Колев Ж. М., Мамчистова Е. И., Скареднов А. А., Грачева С.К., Рогозина Т.В. Обоснование применения скважин с волнообразным горизонтальным окончанием для условий Среднеботуобинского месторождения.	47

	Kolev Zh. M., Mamchistova E. I., Skarednov A. A., Gracheva S.K., Rogozina T.V.	
	Rationale for the Application of Wells with a Wave-Shaped Horizontal Termination for the Condi- tions of the Srednebotuobinskoye Field	48
25.00.23 (1.6.12)	ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ	
	Дегтярева Т.В., Соляник Е.Н., Мельничук В.В., Ляшенко Е.А.	
	Формирование микроэлементного состава почв полупустынных ландшафтов Ставро- польского края	73
	Degtyareva T.V., Solyannik E.N., Melnychuk V.V., Lyashenko E.A.	
	Formation of Microelement Composi- tion of Soils of Semi-desert Landscapes of Stavropol Territory	74
	Герасименко Е.В., Газиева А.Ю., Халидов А.Х., Кесьян А.А.	
	Биотопическое распределение мел- ких мышевидных грызунов в Прикаспийском-песча- ном природном очаге чумы	89
	Gerasimenko E.V., Gazieva A.Yu., Khalidov A.H., Kesyan A.A.	
	Biotopic distribution of small mouse-like rodents in the Caspian-sandy natural plague center	90
25.00.30	МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ (ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ)	
	Кагермазов А.Х., Созаева Л.Т.	
	Прогноз града и оценка его макси- мального размера по выходным данным глобаль- ной модели атмосферы с заблаговременностью до трех суток	103

	Kagermazov A. Kh., Sozaeva L.T.	
	Hail Forecast and Estimation of Its Maximum Size on the Output Data of the Global Atmo- spheric Model with Tree-Day Lead Time	104
25.00.35	ГЕОИНФОРМАТИКА	
	Ерёмченко Е.Н., Колосов В.А., Тикун В.С.	
	Интегральная методология в гео- пространственных исследованиях	121
	Eremchenko E.N., Kolosov V.A., Tikunov V.S.	
	Integral Methodology in Geospatial Researches	122
	Каторгин И.Ю., Роман А.Н.	
	Картографирование и простран- ственный анализ развития административных границ Ставрополя за 1785–2021 годы	139
	Katorgin I.Yu., Roman A.N.	
	Mapping and Spatial Analysis of the Development of the Administrative Borders of Stavropol Region in 1785–2021	140

25.00.17 (2.8.4)
УДК 622.279.51

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Ваганов Е.В.,
Сохошко С.К.,
Саранча А.В.,
Левитина Е.Е.,
Краснов И.И.,
Харитонов Т.А.**

ООО «Газпром недра»
Тюменский индустриальный университет
Тюменский индустриальный университет
Тюменский индустриальный университет
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова
Тюменский индустриальный университет

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПРИТОКОВ ВОДЫ В СКВАЖИНАХ, ДРЕНИРУЮЩИХ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫЕ ЗАЛЕЖИ

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.2.1

Введение.

Сложные геолого-физические и технологические условия разработки газоконденсатных месторождений Крайнего Севера приводят к тому, что они преждевременно обводняются пластовыми водами. Одним из факторов, влияющих на процесс обводнения «валанжинских» скважин, является качество цементирования. Выявлено, что основное обводнение скважин происходит по причине нарушения герметичности заколонного пространства. На основании результатов работ по ликвидации водопритоков в скважинах Берегового и Уренгойского месторождений опробована двух- и трех композиционная технология доказавшая повышение успешности ВИР.

Материалы и методы исследований.

Промысловая практика проведения мероприятий по ликвидации притоков воды (ЛПВ) в скважинах показала эффективность технологии по двух-трехсоставной схеме. На начальном этапе выполнения ЛПВ применяется гидрофобизирующий реагент, обладающий избирательной фильтруемостью в наиболее проницаемые и обводненные интервалы пласта. Затем закачивается водоблокирующий состав с высокой термостабильностью на основе силикатов щелочных металлов (жидкое стекло) или составы на основе полиакриламида и др. К составам с различными физико-химическими свойствами предъявляются требования надежной изоляции прорыва пластовой воды. На заключительном этапе первые две композиции закрепляются составом с высокой адгезионной способностью к породе (на цементной основе с различными композиционными добавками) для усиления водоизоляционного экрана.

Результаты исследований и их обсуждение.

Для ликвидации водопритоков в скважинах несмотря на разницу геологического строения между Уренгойским и Береговым месторождениями, применяемые композиции обладают текучестью (низкой вязкостью) с сохранением ее стабильности в процессе выполнения полного цикла мероприятий. Опыт работ показал перспективность технологии, направленной на успешность ЛПВ в «валанжинских» скважинах. Период гелеобразования регулируется и составы устойчивы к разбавлению пластовыми водами. Результа-

Выводы.

ты предыдущих ремонтов скважин в 2015 году Уренгойским УИРС показали низкую успешность около 30%. Малая эффективность связана с недостаточным давлением закачки на конечном этапе изоляционного состава в пласт и др. Проведение ЛПВ в «валанжинских» скважинах по внедряемой технологии с применением многокомпонентной добавки на основе биополимеров показала эффективность. При этом происходит сохранение естественной проницаемости продуктивного пласта. Так в 2016 году успешность ВИР увеличилась и составила 70%. Получен эффект от выполнения по этой же технологии ВИР на скважине №252 Берегового месторождения с применением комплексной добавки.

Ключевые слова:

Таким образом, на основе результатов ликвидации притоков воды в скважинах, дренирующих валанжинские газоконденсатные залежи Берегового и Уренгойского месторождений усовершенствованная двух- и трех композиционная технология доказала успешность. Также определены перспективные изоляционные композиции направленные на результативность ЛПВ. Применение технологии с многокомпонентной добавкой на основе биополимеров доказало свою эффективность. Так в 2016 году успешность ВИР на «валанжинских» скважинах Уренгойского месторождения увеличилась и составила 70%. По данной технологии были выполнены ВИР на скважине №252 Берегового месторождения. В результате ликвидации заколонных перетоков из нижележащего водоносного горизонта получен положительный эффект. Данная скважина в настоящее время работает в газосборный коллектор.

Уренгойское нефтегазоконденсатное месторождение, прорыв воды по заколонному пространству, водоизоляционные работы, газоконденсатная залежь, газоводяной контакт, структурирующая добавка, пластовая вода, эксплуатационная колонна, водоизоляционная композиция, цементный раствор.

**Vaganov E.V.,
Sokhoshko S.K.,
Sarancha A.V.,
Levitina E.E.,
Krasnov I.I.,
Kharitonova T.A.**

Gazprom Nedra LLC
Tyumen industrial University
Tyumen industrial University
Tyumen industrial University
Northeastern Federal University
Tyumen industrial University

Results of Water Inflow Elimination in Wells Draining Gas Condensate Deposits

Introduction.

The difficult geological, physical and technological conditions for the development of gas condensate fields in the Far North lead to the fact that they are prematurely flooded with formation waters. One of the factors influencing the process of flooding «Valanginian» wells is the quality of cementing. It was revealed that the main watering of wells occurs due to a violation of the tightness of the annulus. Based on the results of work to eliminate water inflows in the wells of the Beregovoy and Urengoy fields, a two- and three-composite technology was tested, which proved an increase in the success of VIR.

Materials and methods
of research.

The field practice of carrying out measures to eliminate water inflows (WLI) in wells has shown the effectiveness of the technology according to a two-three-component scheme. At the initial stage of LPW implementation, a water-repellent agent is used, which has selective filterability in the most permeable and watered reservoir intervals. Then, a water-blocking composition with high thermal stability based on alkali metal silicates (liquid glass) or compositions based on polyacrylamide, etc. is pumped. The requirements for reliable isolation of formation water breakthrough are imposed on compositions with different physical and chemical properties. At the final stage, the first two compositions are fixed with a composition with high adhesion to the rock (cement-based with various composition additives) to reinforce the waterproofing screen.

Results and
Discussion.

To eliminate water inflows in wells, despite the difference in the geological structure between the Urengoy and Beregovoye fields, the compositions used have fluidity (low viscosity) while maintaining its stability in the process of performing a full cycle of activities. The work experience has shown the prospects of the technology aimed at the success of LSP in the «Valanginian» wells. The gelation period is adjustable and the formulations are resistant to formation water dilution. The results of previous well workovers in 2015 by the Urengoy UIRS showed a low success rate of about 30%. The low efficiency is associated with insufficient injection pressure at the final stage of the insulating composition into the reservoir, etc. The implementation of LSP in the «Valanginian» wells according to the implemented technology using a multicomponent additive based on biopolymers has shown effectiveness. At the same time, the natural permeability of the reservoir is preserved. So in 2016, the success of VIR increased and amounted to 70%. The effect was obtained from the implementation of the same technology of VIR at well No. 252 of the Beregovoye field with the use of a complex additive.

Conclusion.

Thus, based on the results of the liquidation of water inflows in wells draining the Valanginian gas condensate deposits of the Beregovoy and Urengoy fields, the improved two- and three-component technology proved to be successful. Also, promising insulating compositions aimed at the effectiveness of LPV have been identified. The use of technology with a multi-component additive based on biopolymers has proven its effectiveness. Thus, in 2016, the success of VIR at the «Valanginian» wells of the Urengoy field increased and amounted to 70%. This technology was used to perform a design and survey work at well No. 252 of the Beregovoye field. As a result of the elimination of behind-the-casing flows from the underlying aquifer, a positive effect was obtained. This well is currently working in a gas gathering reservoir.

Key words:

Urengoy oil and gas condensate field, water breakthrough through the annulus, waterproofing works, gas condensate deposit, gas-water contact, structuring additive, formation water, production string, water-insulating compositions, cement mortar.

Введение

Сложные геолого-физические и технологические условия разработки газоконденсатных месторождений Крайнего Севера приводят к тому, что они преждевременно обводняются пластовыми водами. Одним из факторов, влияющих на процесс обводнения «валанжинских» скважин, является качество цементирования. Выявлено, что основное обводнение скважин происходит по причине нарушения герметичности заколонного пространства. На основании накопленного опыта выявлено, что основное обводнение скважин Берегового месторождения происходит по причине нарушения герметичности заколонного пространства. В процессе длительной разработки газоконденсатных залежей Уренгойского месторождения скорость движения поверхности раздела ГВК превышает скорость, при которой происходит подтягивание контура газоносности. Подъём уровня газовой контактной поверхности (ГВК) наблюдается в целом по месторождению и в зоне отдельных эксплуатационных объектов, что служит причиной ряда технологических осложнений. На основании результатов работ по ликвидации водопритоков в скважинах Берегового и Уренгойского месторождений опробована двух- и трехкомпозиционная технология доказавшая повышение успешности ВИР [1, 2].

Материалы и методы исследований

Проведение работ по ликвидации притоков воды (ЛПВ) в скважинах, дренирующих газоконденсатные залежи Уренгойского и Берегового месторождений доказала эффективность технологии по двух-трехсоставной схеме. На начальном этапе выполнения ЛПВ применяется гидрофобизирующий реагент, обладающий избирательной фильтруемостью в наиболее проницаемые и обводненные интервалы пласта. Затем закачивается в водоблокирующий состав с высокой термостабильностью на основе силикатов щелочных металлов (жидкое стекло), составы на основе полиакриламида и др. К составам с различными физико-химическими свойствами предъявляются требования надежной изоляции прорыва пластовой воды. На заключительном

этапе первые две композиции закрепляются составом с высокой адгезионной способностью к породе (на цементной основе с различными композиционными добавками) для усиления водоизоляционного экрана [3, 4].

В ООО «Газпром подземремонт Уренгой» для изоляции водопритоков применяет композиции на основе силикатов щелочных металлов. Они при взаимодействии с ионами поливалентных металлов образуют гелеобразную систему. Данная композиция обладает низкой токсичностью, несложная в приготовлении и хорошо фильтруется в пласт [5, 6].

Результаты исследований и их обсуждение

Для ликвидации водопритоков в скважинах несмотря на разницу геологического строения между Уренгойским и Береговым месторождениями, применяемые композиции обладают текучестью (низкой вязкостью) с сохранением ее стабильности в процессе выполнения полного цикла мероприятий. Опыт работ показал перспективность композиций, направленных на успешность ЛПВ в «валанжинских» скважинах. Период гелеобразования составов регулируется и они устойчивы к разбавлению пластовыми водами.

Анализ геологического строения при разработке газоконденсатных залежей позволяет определить причины возникновения и развития обводненности продукции. Он базируется на изучении путей поступления пластовых вод к скважине из водоносного горизонта. Поэтому на стадии строительства скважин необходимо уделять внимание положению газоводяного контакта (ГВК). При подъеме ГВК пластовая вода может проявиться также и в скважинах, пробуренных в границах внутреннего контура газоносности залежи. Так необходимо отличать причины водопритоков в скважины из-за подъема ГВК, в результате чего залежь становится на определенном участке водоплавающей, от прорыва пластовой воды в скважину по наиболее проницаемым пропласткам в подошвенной области [7]. Также специалисты, занимающиеся изучением причин обводненности скважин, в частности в вследствие конусообразо-

вания, отмечают, что граница ГВК претерпевает перепад давления из-за разницы давлений в водоносной части пласта и пониженного давления на забое скважины [8, 9].

В геологическом отношении Уренгойское месторождение имеет мощность продуктивных пластов от 10 до 40 метров. Отличительной особенностью его является обводнение скважин подошвенными водами из-за подъема газовой контактной воды. Геологический разрез валанжинских газоконденсатных залежей представлен терригенными песчано-глинистыми отложениями. Иногда в разрабатываемом интервале отмечаются тонкие, локально развитые пласты песчаников и алевролитов. В разрезе нижнемеловых отложений выделяются пять эксплуатационных объектов (29 продуктивных пластов):

- I эксплуатационный объект (пласты БУ₀ – БУ₆ и др.) – 20 газоконденсатных залежей;
- II эксплуатационный объект (пласты БУ₈ – БУ₉) – 17 залежей;
- III объект (пласты БУ₁₀ – БУ₁₂) – 38 залежей;
- IV объект (пласты БУ₁₂ – БУ₁₄) – 21 залежь;
- V объект (пласты БУ₁₆⁰ – БУ₁₆¹⁻³) – 7 залежей. Основные запасы углеводородов содержатся в пластах БУ₈– БУ₁₄.

Залежь пласта БУ₈ на Северном куполе основная – пластовая структурная тектонически экранированная. С юга ограничена тектоническим экраном по линии скважин №293-№109-№180. По фазовому составу – газоконденсатная. В скважине №559, расположенной на северо-западе залежи, по результатам испытания пласта в интервале а.о. от минус 2676,8 м до минус 2685,8 м получена нефть дебитом 82,3 м³/сут на 8 мм штуцере. По данным интерпретации ГИС пласт в этой скважине газонасыщен до а.о. минус 2675,5 м. В скважине №575 по данным ГИС газовой контактной воды установлен на а.о. минус 2675,4 м. В горизонте БУ₁₄ с учетом результатов испытания, данных ГИС и различия флюидных контактов для нижней и верхней частей выделено три объекта – пласты БУ₁₄¹, БУ₁₄¹⁻¹ и БУ₁₄². Пласт БУ₁₄¹ залегает на а.о. от минус 2975 до минус

3115 м и имеет сложное литологическое строение с обширными зонами глинизации.

Он разбит разломами на блоки, внутри которых располагаются газоконденсатнонефтяные залежи. Залежь Центральной зоны с севера литологически ограничена зоной глинизации коллекторов и разломами. Залежь на ЦПЗ, основная – по размерам и запасам является основной в этом пласте. По фазовому составу – газоконденсатная, по типу – пластовая сводовая тектонически ограниченная с севера и юга. По результатам испытаний в скважинах № 117, № 504 газоводяной контакт принят на а.о. минус 2987 м. Залежь в районе скважин № 176, № 137 является пластовой тектонически ограниченной с запада, по составу флюидов – нефтегазоконденсатная. В скважине № 176 в интервале а.о. от минус 2989,9 м до минус 2997,9 м получен приток нефти 88,2 м³/сут при диаметре штуцера 8 мм. Нефть с газом также получена в скважине № 137. Таким образом, газонефтяной контакт в залежи принят на а.о. минус 2987 м. Водонефтяной контакт находится на а.о. минус 2998,7 м и является горизонтальным.

Южный купол пласта, в связи с принятием блочной модели, разделен на 3 залежи. Залежь на Южном куполе, основная – газоконденсатная пластовая сводовая тектонически экранированная. Дебиты газа колеблются от 278,4 до 435 тыс. м³/сут на 18–30 мм штуцерах. ГВК принят по данным испытания и ГИС на а. о. минус 2978 м. Залежь, район скважины № 555 является газоконденсатной пластовой тектонически экранированной. Отделяется от основной залежи разломами, что объясняет различное положение флюидальных контактов.

В пласте БУ₁₄² на севере ЦПЗ выделяется, основная – пластовая сводовая тектонически экранированная. По фазовому составу – газоконденсатная. По данным интерпретации ГИС газоводяной контакт достаточно чётко прослеживается на а.о. минус 2965 м. Ключевые скважины, на основе которых проводилось обоснование контакта, – № 728, № 5281, № 5287. Размеры залежи 7,9 км на 8,1 км, высота – около 23 м. Флюиды объектов представляют газоконденсатную смесь с присутствием пластовой взвешенной воды (более 10 %).

В настоящее время пластовые давления по эксплуатационным объектам варьируются от 8,93 до 26,0 МПа в зависимости от выработки скважин. Поступлению воды в валанжинские продуктивные залежи происходит из вышележащих неокомских отложений и нижележащих ачимовских отложений. По данным лабораторных анализов керна установлено, что пористость и проницаемость коллекторов первого эксплуатационного объекта существенно выше, чем аналогичные параметры остальных объектов. Преобладающие значения пористости коллекторов первого объекта составляют 18–22 %, среднее 20,5%. Значения пористости коллекторов второго – четвертого объектов существенно не отличаются между собой. Величины проницаемости, определенные параллельно и перпендикулярно напластованию, незначительно отличаются друг от друга. Коэффициент анизотропии в основном изменяется в пределах от 1,5 до 2.

Проблему водопритоков в скважинах ликвидируют закачкой составов, позволяющих изолировать обводненные интервалы. Необходимо учитывать источники поступления воды, которые могут быть по причине негерметичности цементного камня или подтягивания газовой контакта (ГВК). Зная причину притока воды подбираются изолирующие композиции. Интерес представляют следующие составы: неорганические гелеобразующие составы; вязкоупругие составы на основе полимеров; составы на основе силикатов щелочных металлов; осадкообразующие составы; отверждающиеся составы; композиции на углеводородной основе.

Практика проведения мероприятий по ликвидации притоков воды (ЛПВ) в скважинах Уренгойского и Берегового месторождений показала эффективность технологии по двух-трехсоставной схеме. На начальном этапе выполнения ЛПВ применяется гидрофобизирующий реагент, обладающий избирательной фильтруемостью в наиболее проницаемые и обводненные интервалы пласта. Затем закачивается водоблокирующий состав с высокой термостабильностью на основе силикатов щелочных металлов (жидкое стекло) или составы на основе полиакриламида и др. К составам с различными физико-химическими свойствами предъявляются требования

Таблица 1. РЕЗУЛЬТАТЫ МЕРОПРИЯТИЙ НА СКВАЖИНЕ № 5285 (пласт БУ14)
Table 1. Results of activities at well № 5285 (layer BU14)

Наименование показателей	До проведения РИР	После проведения РИР
Приведённый радиус скважины, м	0,389	198,4
Пьезопроводность пласта, см ² /с	67,6	309,2
Гидропроводность пласта, Д см/сПа	16,34	69,3
Проницаемость удаленной зоны пласта, мД	0,98	3,35

надежной изоляции прорыва пластовой воды. Особенностью технологии в отличие от применяемых ранее является до закрепления в прискваженной зоне гелеобразующих составов. Так на заключительном этапе первые две композиции закрепляются составом с высокой адгезионной способностью к породе (на цементной основе с различными композиционными добавками) для усиления водоизоляционного экрана.

Результаты проведения работ Уренгойским УИРС в 2016 году показали, что применение технологии по двух-трехсоставной схеме на валанжинских скважинах до 70% увеличили успешность. Данный метод дает положительный эффект за счет большой мощности продуктивного пласта. Следует отметить, что в основном значительное снижение эффективности ВИР связано с технологическими причинами: низкие давления в конце продавки изоляционного состава (нет прокачки в полном объеме). Сравнение результатов до и после проведения работ по ликвидации водопритокков выполнено на основании обработки ГДИ [10].

Перспективность применения изоляционных технологий на Береговом месторождении обосновывается геолого-техническими условиями эксплуатации. Необходимо отметить, что выбор конкретной композиции сопровождается лабораторными исследованиями, в том числе проведением фильтрационных исследований. Они позволяют определению коэффициента проницаемости до и после воздействия реагентов, а также его влиянию на газо- и водонасыщенные интервалы [11]. Промышленная нефтегазоносность на Береговом месторождении представлена валанжинским комплексом (пласты БТ₁₀, БТ₁₁ – газоконденсатные залежи). Залежи подстилаются пластовыми водами изначально, и с падением пластового давления в процессе их разработки на истощение происходит обводнение пластовыми водами. В пределах контура залежи пласта БТ₁₀ абсолютные отметки кровли пласта изменяются от -2957,1 м по скважинным (скважина № 261) до -3009,5 м (скважина № 64). В скважине № 22 при испытании пласта в интервале 3028–3032 м (а.о. -2978,5–2982,5 м) получен фонтан газоконденсатной смеси. Дебит газа сепарации составил 48,61 тыс. м³/сут. на 14,1 мм штуцере, стабильного конденсата – 18,6 м³/сут. на 10 мм штуцере. После повторной перфорации и дострела интервала 3028–3037 м (а.о. -2982,5–2987,5 м) получили газоконденсатоводяной фонтан дебитами: газа сепарации 46,6 тыс. м³/сут., конденсата стабильного – 11,6 м³/сут., пластовой воды – 12,5 м³/сут. По результатам интерпретации ГИС в скважине № 22 вскрыт ГВК на а.о. – 2986,6 м. Результаты испытания не противоречат результатам интерпретации ГИС. В скважине № 156 при испытании в интервале 3017–3022 м (а.о. -2975,1 -2980,1 м) получен фонтан газоконденсатной смеси: дебит газа сепарации составил 130,2 тыс. м³/сут. на штуцере 20 мм, стабильного конденсата – 104,6 м³/сут. на штуцере 12 мм. По результатам интерпретации ГИС коллекторы пласта продуктивны до а.о. -2985,3 м, а с а.о. -2987,6 м – водонасыщены.

ГВК в целом по залежи принят на а.о.-2986.6 м по результатам интерпретации ГИС в скважинах №№ 22, 156, 11, 152 и подтвержден опробованием в скважинах №№ 22, 156, 11, 152, в которых отметки нижних отверстий перфорации изменялись от – 2979.5 м (скважина № 152) до 2985,1 м (скважина № 11). Залежь в пределах

Таблица 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННОГО КОМПЛЕКСА ГИС
Table 2. Results of the executed GIS complex

Пласт	Интервал перфорации	Работающие интервалы	Характер притока	Примечание
БТ10	3274,4–3278,2	3274,4–3278,2	ГАЗ + вода (ГЖС) Газожидкостная смесь	По данным термометрии и методам состава притока, перфорированная мощность пласта интенсивно работает газо-жидкостной смесью с высоким газовым фактором.
		3278.2-3328.0 Интервал ЗКЦ		По данным термометрии (на разных режимах исследований) отмечается работа неперфорированной мощности до глубины 3328 м (подошвы пласта БТ10). Работает по заколонному пространству снизу вверх с выходом пластового флюида через нижние отверстия перфорации. По данным ГИС бурения, ниже глубины 3286 м.
Источник обводнения связан с заколонным движением пластового флюида (пластовая вода) из водонасыщенной подошвы пласта БТ10.				

принятого ГВК имеет размеры 25×19 км, ее высота 26,6 метров, по типу пластово-сводовая.

Газонасыщенные толщины по скважинным данным изменяются от 2,6 м и в среднем по пласту составляют порядка 10,6 метра. Основные количественные характеристики неоднородности:

- коэффициент песчанистости – 0,676 д. ед. (при изменении по скважинам от 0,556 до 0,783 д. ед.);
- расчлененность – 11,0.

Геофизические исследования в 252 скважине проводились для определения технического состояния и места поступления воды. По результатам выполненного комплекса ГИС на режимах исследований в динамике по НКТ (штуцер – 11 мм) и в статике (при 3-х временных замерах), работающие интервалы исследуемого пласта БТ₁₀ [12, 13].

В результате выполненной обработки и интерпретации данных после ПГИ выявлены заколонные перетоки. Наличие положительной термоаномалии в интервале свидетельствует о признаках поступления пластовой воды из нижележащих водонасыщенных горизонтов по заколонному пространству. Результаты ГИС в открытом стволе показали что залежь газоконденсатонасыщенная, а ниже водонасыщенная. Определение наиболее точной нижней границы ЗКЦ невозможно, ввиду искаженности кривых ниже из-за влияния вязкого осадка и загрязнения зумпфа [14].

Для ликвидации притока пластовой воды из нижележащего водоносного горизонта по заколонному пространству в скважине №252 были выполнены водоизоляционные работы по усовершенствованной технологии. Мероприятия по ликвидации заколонной циркуляции на скважине №252 выполнялись ООО «Уренгой-ремстройдобыча» [15, 16]. При проведении работ в скважине на штуцере 14 мм закачали через теплообменник в затрубное пространство жидкость глушения в объеме 27,8 м³. Затем в трубное пространство последовательно закачивался на поглощение блок-состав в объеме 3,8 м³, с продавкой жидкостью глушения в объеме до 10 м³. Обратной промывкой производилось глушение скважины в режиме циркуляции, с противодавлением в объеме промывки до 130 м³.

Ликвидация заколонных перетоков в скважине №252 проводилась составом на основе «жидкого стекла» и биополимерной жидкости в объеме 2,7 м³, с до закреплением цементным раствором с композиционной добавкой до 2,0 м³. Таким образом, на основании результатов проведенных мероприятий по ликвидации водопритоков по заколонному пространству получен эффект в виде притока газоконденсатной смеси с отработкой в газосборный коллектор.

Выводы

Таким образом, на основе результатов ликвидации притоков воды в скважинах, дренирующих валанжинские газоконденсатные залежи Берегового и Уренгойского месторождений усовершенствованная двух- и трех композиционная техноло-

гия доказала успешность. Также определены перспективные композиции и технологические решения, направленные на результативность ЛПВ. Применение технологии с многокомпонентной добавкой на основе биополимеров доказало эффективность. Так в 2016 году успешность ВИР на «валанжинских» скважинах Уренгойского месторождения увеличилась и составила 70%. По данной технологии были выполнены ВИР на скважине №252 Берегового месторождения. В результате ликвидации заколонных перетоков из нижележащего водоносного горизонта получен положительный эффект. Данная скважина в настоящее время работает в газосборный коллектор.

Библиографический список

1. Алиев З.С., Марakov Д.А. Влияние гидродинамической связи между пропластками неоднородного по толщине пласта на размещение горизонтального ствола // Нефть и газ: опыт и инновации. 2020. Т. 4. № 1. С. 24-31.
2. Ваганов Е.В., Левитина Е.Е. и др. Опыт проведения ВИР на скважинах, эксплуатирующих газоконденсатные залежи Берегового месторождения // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 1. С. 27–38.
3. Иванова М.С., Инякина Е.И., Краснов И.И., Инякин В.В. Влияние горно-геологических условий на отработку запасов углеводородов // Горный журнал. 2019. №2. С. 10–12.
4. Краснов И.И., Ваганов Е.В. и др. Диагностика источников водопритока и перспективы технологий ограничения прорыва воды в скважины // Нефть и газ: опыт и инновации. 2019. № 1. С. 20-34.
5. Леонтьев Д.С., Клещенко И.И. и др. Технология проведения водоизоляционных работ в газодобывающей скважине с применением колтюбинга // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2020. №6. С. 75–85.
6. Инякина Е.И., Катанова Р.К. и др. Изучение влияния остаточной нефти на пластовые потери конденсата на Среднеботуобинском нефтегазоконденсатном месторождении // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 1. С. 39–52.

7. Колев Ж.М., Краснов И.И., Ваганов Е.В. Моделирование и обоснование ограничения водогазопритоков в скважины, эксплуатирующие нефтегазовые залежи // Нефть и газ: опыт и инновации. 2021. Т. 5. №1. С. 3–21.
8. Лакупчик А.В., Ишков А.А., Сохошко С.К. Технология изоляции межпластовых перетоков в условиях горизонтального ствола нефтяных скважин // Нефть и газ: технологии и инновации: материалы Национальной научно-практической конференции. В 2 т. Тюмень, 2021. С. 143–146.
9. Саранча А.В., Левитина Е.Е., Есиков С.Н. Применение различных технологий эксплуатации самопроизвольно останавливающихся газовых скважин на месторождениях Крайнего Севера // Наука. Инновации. Технологии. 2019. №3. С. 7–18.
10. Сингуров А.А., Нифантов В.И., Пищухин В.М., Гильфанова Е.В. Технологии и составы для водоизоляционных работ в газовых скважинах // Вести газовой науки. 2014. №4 (20). С. 75–80.
11. Сохошко С.К. Профиль притока к пологому стволу газовой скважины на стационарном режим // Нефтепромысловое дело. 2016. №5. С. 26–29.
12. Томская Л.А., Краснов И.И., Мараков Д.А. и др. Изоляционные технологии ограничения газопритоков в нефтяных скважинах месторождений Западной Сибири // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2016. №3 (53). С. 50–60.
13. Vaganov E.V., Tomskaya V.F., Krasnov I.I., Alsheikhly M.J.Z. Experience in developing oil and gas deposits with horizontal wells located near the gas processing plant // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Сер. «International Conference on Extraction, Transport, Storage and Processing of Hydrocarbons and Materials, ETSaP 2020», 2020. Vol. 952(1), P. 012035.
14. Meleshkin A.V., Elistratov D.S. Influence of the water level in the work area on the hydrate formation process // MATEC Web of Conferences : 2018 Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment, HMTTSC 2018, Tomsk, 24–26 апреля 2018 года. Tomsk: EDP Sciences, 2018. P. 01038. DOI 10.1051/mateconf/201819401038.
15. Gadjev D., Kochetkov I., Rustanov A. Mathematical Modeling

of Gas and Water Cone Formation at an Oil Well // *Advances in Intelligent Systems and Computing* (см. в книгах). 2020. Vol. 1116 AISC. P. 758–772. DOI 10.1007/978-3-030-37919-3_75.

16. Solovyov N.A., Valeev A.F., Salikhov A.O. Automated system for substantiation of commercial production recovery from water-flooded gas wells // *International Review of Automatic Control*. 2018. Vol. 11. No. 3. P. 107–112. DOI 10.15866/irea-co.v11i3.13670.

References

1. Aliev Z.S., Marakov D.A. Influence of hydrodynamic connection between interlayers of a formation that is heterogeneous in thickness on the placement of a horizontal wellbore // *Oil and gas: experience and innovation*. 2020. V. 4. No. 1. P. 24–31.
2. Vaganov E.V., Levitina E.E. and others. Experience in carrying out VIR on wells operating gas condensate deposits of the Beregovoye field // *The science. Innovation. Technology*. 2021. No. 1. P. 27–38.
3. Ivanova M.S., Inyakina E.I., Krasnov I.I., Inyakin V.V. Influence of mining and geological conditions on the development of hydrocarbon reserves. // *Mining journal*. 2019. No. 2. P. 10–12.
4. Krasnov I.I., Vaganov E.V. Diagnostics of water inflow sources and prospects of technologies for limiting water breakthrough into wells // *Oil and gas: experience and innovations*. 2019. No. 1. P. 20–34.
5. Leontiev D.S., Kleshchenko I.I. Technology of waterproofing works in a gas producing well using coiled tubing. *News of higher educational institutions // Oil and gas*. 2020. No. 6. P. 75–85.
6. Inyakina E.I., Katanova R.K. Study of the influence of residual oil on reservoir losses of condensate at the Srednebotuobinskoye oil and gas condensate field // *The science. Innovation. Technology*. 2021. No. 1. P. 39–52.
7. Kolev Zh.M., Krasnov I.I., Vaganov E.V. Modeling and substantiation of limitation of water and gas inflows into wells exploiting oil and gas deposits // *Oil and gas: experience and innovation*. 2021. V. 5. No. 1. P. 3–21.
8. Lakupchik A.V., Ishkov A.A., Sokhoshko S.K. Technology of

isolation of interlayer crossflows in the conditions of a horizontal wellbore of oil wells // Oil and gas: technologies and innovations. materials of the National scientific-practical conference. In 2 volumes. Tyumen, 2021. P. 143–146.

9. Sarancha A.V., Levitina E.E., Esikov S.N. Application of various technologies for the operation of spontaneously stopping gas wells in the fields of the Far North // The science. Innovation. Technology. 2019. No. 3. P. 7–18.
10. Singurov A.A., Nifantov V.I., Pishchukhin V.M., Gilfanova E.V. Technologies and compositions for waterproofing works in gas wells // News of gas science. 2014. No. 4 (20). P. 75–80.
11. Sokhoshko S.K. Profile of the inflow to the flat bore of a gas well in a stationary mode // Oilfield business. 2016. No. 5. P. 26–29.
12. Tomskaya L.A., Krasnov I.I., Marakov D.A. Izoljatsionnye tekhnologii obrazheniia gazopropritokov v nefteznykh skvazhnikov neftepor Zapadnoy Sibiri // Bulletin of the North-Eastern Federal University. M.K. Ammosov. 2016. No. 3 (53). P. 50–60.
13. Vaganov E.V., Tomskaya V.F., Krasnov I.I., Alsheikhly M.J.Z. Experience in developing oil and gas deposits with horizontal wells located near the gas processing plant // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Ser. «International Conference on Extraction, Transport, Storage and Processing of Hydrocarbons and Materials, ETSaP 2020». 2020. Vol. 952(1), P. 012035.
14. Meleshkin A.V., Elistratov D.S. Influence of the water level in the work area on the hydrate formation process // MATEC Web of Conferences : 2018 Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment, HMTTSC 2018, Tomsk, April 24–26, 2018. Tomsk: EDP Sciences, 2018. P. 01038. DOI 10.1051/matec-conf/201819401038.
15. Gadjev D., Kochetkov I., Rustanov A. Mathematical Modeling of Gas and Water Cone Formation at an Oil Well // Advances in Intelligent Systems and Computing (see in books). 2020. Vol. 1116 AISC. P. 758-772. DOI 10.1007/978-3-030-37919-3_75.
16. Solovyov N.A., Valeev A.F., Salikhov A.O. Automated system for substantiation of commercial production recovery from water-flooded gas wells // International Review of Automatic

Control. 2018. Vol. 11. No. 3. P. 107–112. DOI 10.15866/irea-co.v11i3.13670.

Поступило в редакцию 24.12.2021,
принята к публикации 22.02.2022.

Об авторах

- Ваганов** Евгений Викторович, заместитель начальника управления, ООО «Газпром недра». Тел. 89088566633.
E-mail: e.v.vaganov@icloud.com
- Сохошко** Сергей Константинович, д.т.н. профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Тюменского индустриального университета.
Тел. 89123969856.
E-mail: sohoshkosk@tyuiu.ru
- Саранча** Алексей Васильевич, к.т.н. доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Тюменского индустриального университета.
Тел. 89829270878. E-mail: saranchaav@tyuiu.ru
- Левитина** Екатерина Евгеньевна, к.т.н. доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Тюменского индустриального университета.
Тел. 89044934964. E-mail: levitinaee@tyuiu.ru
- Краснов** Иван Игнатьевич, к.т.н., доцент базовой кафедры «Нефтегазовое дело», МПТИ (ф) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова».
Тел. 89123968607. E-mail: iikrasnov17@gmail.com
- Харитоновна** Татьяна Александровна, к.т.н. доцент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» Тюменского индустриального университета. Тел. 89220450369.
E-mail: haritonovata@tyuiu.ru

About the authors

- Vaganov** Evgeniy, Deputy Head of Department, Gazprom Nedra LLC.
Tel. 89088566633.
E-mail: e.v.vaganov@icloud.com
- Sokhoshko** Sergey, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department “Development and Operation of Oil and Gas Fields” of Tyumen Industrial University.
Tel. 89123969856. E-mail: sohoshkosk@tyuiu.ru
- Sarancha** Alexey, Ph.D., associate Professor of the Department “Development and Operation of Oil and Gas Fields” of Tyumen Industrial University.
Tel. 89829270878. E-mail: saranchaav@tyuiu.ru
- Levitina** Ekaterina, Ph.D., associate Professor of the Department “Development and Operation of Oil and Gas Fields” of Tyumen Industrial University.
Tel. 89044934964. E-mail: levitinaee@tyuiu.ru
- Krasnov** Ivan, Ph.D., associate professor of the Base Department of Oil and Gas, Mirny Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University.
Tel. 89123968607. E-mail: iikrasnov17@gmail.com
- Kharitonova** Tatiana, associate Professor of the Department «Drilling oil and gas wells» of Tyumen industrial University.
Tel. 89220450369, E-mail: haritonovata@tyuiu.ru

25.00.17 (2.8.4)
УДК 622.279.51

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Инякина Е.И.,
Добролюбова Р.К.,
Томский К.О.,
Инякин В.В.,
Елисеева М.И.**

Тюменский индустриальный университет
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова
Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова
Тюменский индустриальный университет
Международный инновационный университет

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ ЗАЛЕЖЕЙ БЕРЕГОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.2.2

Введение.

Экспериментальное моделирование разработки выполняется для прогнозирования потерь конденсата в залежи при начальных пластовых условиях и в процессе эксплуатации месторождения. Оценка газоконденсатных характеристик в лабораторных условиях осуществлялась на пробах продукции скважин Берегового месторождения. Исследования проводились ступенчатым отбором из PVT-ячейки газовой фазы при сохранении равновесных условий пластовой системы. При начальных термобарических условиях определялось давление начала и максимальной конденсации изучаемой углеводородной смеси. На заключительной стадии эксперимента при полном истощении пластовой энергии (стандартные условия) были рассчитаны суммарные потери углеводородов для условий Берегового нефтегазоконденсатного месторождения и коэффициент извлечения конденсата.

Материалы и методы исследований.

В качестве моделей пластовой газоконденсатной системы использовались пробы газа сепарации и насыщенного конденсата. Серия экспериментов выполнялась с использованием рекомбинированных проб в соответствии с конденсатогазовым фактором ($\text{см}^3/\text{м}^3$). Сепарационные пробы отобраны при промысловых исследованиях скважин Берегового месторождения. Опыты проводились методом контактной и дифференциальной конденсации (при постоянной температуре) на PVT-установке высокого давления. Данные моделирования позволили построить диаграммы в координатах «давление – пластовые потери конденсата» и определить потери углеводородов на весь период разработки месторождения.

Результаты исследований и их обсуждение.

Экспериментальные исследования продукции газоконденсатных скважин Берегового месторождения показали, что при различных термобарических условиях, отбираемые пробы изучаемого флюида отличаются составом и его свойствами. Результаты исследования проб пластового газа (одна из которых отобрана из скважины Р-77, при совместном испытании пластов показали, что давления начала конденсации газоконденсатной смеси сильно различается (от 16,62 до 25,25 МПа). Причина возможного расхождения обусловлена условиями отбора сепарационных проб. Так проба из скважины Р-77 находилась в двух фазном состоянии, что возможно из-за негеметичности контейнера или недостоверного определения промыслового конденсатогазового фактора (КГФ). Для скважины Р-46 давление

начала конденсации составило 19,58 МПа и соответствует пластовому давлению. При исследовании данной газоконденсатной смеси и построении изотерм в области давления максимальной конденсации наблюдался процесс как конденсации, так и испарения. Полученные изотермы являются основой диаграммы в координатах «давление – пластовые потери конденсата», на которой фиксируется критическая точка перехода. Также на основании моделирования свойств углеводородных смесей показаны особенности перехода газоконденсатной системы из газового состояния в жидкое. Дополнительно для расчета КИК определялась плотность конденсата, оставшегося после исследований в PVT-ячейке. По результатам измерения плотность конденсата отобранного из скважины Р-46 составила 0,7913 г/см³, а плотность конденсата по скважине Р-77 ниже и равна 0,7792 г/см³. Рассчитанные коэффициенты извлечения конденсата из недр по данным пробам составили, соответственно – 0,76 и 0,72.

Выводы. Таким образом, на основе результатов исследований проб продукции скважин с различными термобарическими условиями, составом и свойствами пластового флюида Берегового месторождения определено давление начала и максимальной конденсации. В результате на основе полученной информации о составе сепараторных пробах создана рекомбинированная смесь, которая использовалась для экспериментального моделирования фазовых процессов пластовой системы. По результатам опыта методом контактной конденсации установлено, что давление начала конденсации составляет соответствует начальному пластовому давлению. Определены факторы, влияющие на изменение конденсатоголового фактора при условиях сепарации. Полученные данные успешно используются для адаптации PVT-моделей, а также других моделей, используемых для расчета системы промысловой сепарации в ходе разработки месторождения.

Ключевые слова: PVT–установка, давления максимальной конденсации, газоконденсатная система, коэффициент извлечения конденсата, Береговое нефтегазоконденсатное месторождение, конденсатоголовый фактор, прогнозные потери конденсат, пробы газа сепарации.

Inyakina E.I., Tyumen Industrial University
Dobrolyubova R.K., North-Eastern Federal University
Tomskiy K.O., North-Eastern Federal University
Inyakin V.V., Tyumen Industrial University
Eliseeva M.I. International Innovation University

Results of Experimental Simulation of the Development of Gas Condensate Deposits of the Coastal Field

Introduction. Experimental development modeling is performed to predict condensate losses in the reservoir under initial reservoir conditions and during field operation. The assessment of gas condensate characteristics in laboratory conditions was carried out on samples of production from the wells of the Beregovoe field. The studies were carried out by stepwise extraction from the PVT-cell of the gas phase while maintaining the equilibrium conditions of the reservoir system. Under the initial thermobaric conditions, the pressure of the onset and maximum condensation of the studied hydrocarbon mixture was determined. At the final stage of the experiment, with the com-

	<p>plete depletion of reservoir energy (standard conditions), the total hydrocarbon losses were calculated for the conditions of the Beregovoye oil and gas condensate field and the condensate recovery factor.</p>
Materials and methods of research.	<p>Separation gas and saturated condensate samples were used as reservoir gas condensate system models. A series of experiments was carried out using recombined samples according to gas-condensate ratio (cm³/m³). Separation samples were taken during field studies of the wells of the Beregovoe field. The experiments were carried out by the method of contact and differential condensation (at a constant temperature) on a high-pressure PVT installation. Modeling data made it possible to build diagrams in the coordinates "pressure - reservoir condensate loss" and determine the loss of hydrocarbons for the entire period of field development.</p>
Results and Discussion.	<p>Experimental studies of the production of gas condensate wells of the Beregovoye field have shown that under various temperature and pressure conditions, the samples of the studied fluid differ in composition and its properties. The results of the study of formation gas samples (one of which was taken from the well R-77, during the joint testing of the PK191 and PK192 formations showed that the pressure of the start of condensation of the gas condensate mixture varies greatly (from 16.62 to 25.25 MPa). The reason for the possible discrepancy is due to the conditions. For well R-77, the sample from well R-77 was in a two-phase state, which is possible due to the non-heightness of the container or the unreliable determination of the field condensate-gas factor (CGR). pressure. In the study of this gas condensate mixture and the construction of isotherms in the area of maximum condensation pressure, the process of both condensation and evaporation was observed. The resulting isotherms are the basis of the diagram in the coordinates "pressure — formation condensate loss", on which the critical transition point is fixed. Also based on the simulation properties of hydrocarbon mixtures and shows the features of the transition of the gas condensate system from the gas state to the liquid state. Additionally, to calculate the CFC, the density of the condensate remaining after the studies in the PVT cell was determined. According to the measurement results, the density of the condensate taken from the well R-46 was 0.7913 g/cm³, and the density of the condensate from the well R-77 was lower and equal to 0.7792 g/cm³. The calculated coefficients of condensate recovery from the subsoil according to these samples were 0.76 and 0.72, respectively.</p>
Conclusion.	<p>Thus, based on the results of studies of well production samples with different thermobaric conditions, composition and properties of the formation fluid of the Beregovoe field, the pressure of the onset and maximum condensation was determined. As a result, based on the obtained information about the composition of the separator samples, a recombined mixture was created, which was used for experimental modeling of the phase processes of the reservoir system. According to the results of the experiment by the method of contact condensation, it was found that the pressure of the beginning of condensation is consistent with the initial reservoir pressure. The factors influencing the change in the condensate-gas factor under separation conditions are determined. The obtained data are successfully used to adapt PVT-models, as well as other models used to calculate the field separation system during field development.</p>
Key words:	<p>PVT-installation, pressures of maximum condensation, gas condensate system, condensate recovery factor, Beregovoye oil and gas condensate field, gas condensate factor, predicted condensate losses, separation gas samples.</p>

Введение

При разработке газовых и газоконденсатных месторождений определение фазовых процессов является важной составляющей, так как все технологические процессы, происходящие в залежи и в системе сбора промысловой подготовки газа взаимосвязаны. В реальных условиях в продукции скважин имеется определенное количество тяжелых компонентов углеводородов, влияющих на конденсатоотдачу. Изменение термобарических условий, увеличение количества жидкой фазы за счет выделения конденсата и паров воды приводят к увеличению пластовых потерь углеводородов. Экспериментальное моделирование разработки позволяет прогнозировать потери конденсата в залежи при начальных пластовых условиях и в процессе эксплуатации месторождения. Оценка газоконденсатных характеристик в лабораторных условиях осуществлялась на пробах продукции скважин Берегового месторождения. Исследования проводились ступенчатым отбором из PVT-ячейки газовой фазы при сохранении равновесных условий пластовой системы. При начальных термобарических условиях определялось давление начала и максимальной конденсации изучаемой углеводородной смеси. На заключительной стадии эксперимента при полном истощении пластовой энергии (стандартные условия) были рассчитаны суммарные потери углеводородов для условий Берегового нефтегазоконденсатного месторождения и коэффициент извлечения конденсата [1, 2].

Материалы и методы исследований

В качестве моделей пластовой газоконденсатной системы использовались пробы газа сепарации и насыщенного конденсата. Серия экспериментов выполнялась с использованием рекомбинированных проб в соответствии с конденсатогазовым фактором ($\text{см}^3/\text{м}^3$). Сепарационные пробы отобраны при промысловых исследованиях скважин Берегового месторождения. Опыты проводились методом контактной и дифференциальной конденсации (при постоянной температуре) на PVT-установке высокого давления. Данные моделирования позволили построить диаграммы в координатах «давление – пластовые потери кон-

денсата» и определить потери углеводородов на весь период разработки месторождения [3, 4].

Дополнительно в процессе экспериментальных исследований получена наиболее полная информация о прогнозе состава пластовой системы при снижении давления. При проведении исследований был применен метод сепарации газовой фазы при выпуске ее на ступенях опыта контактно-дифференциальной конденсации. Это позволило получить детальные составы конденсата при снижении давления в ходе моделирования разработки залежи на режиме естественного истощения [5,6].

Результаты исследований и их обсуждение

Экспериментальные исследования продукции газоконденсатных скважин Берегового месторождения показали, что при различных термобарических условиях, отбираемые пробы изучаемого флюида отличаются составом и его свойствами. Так начальное фазовое состояние углеводородной системы пласта БТ₁₀ определено по пробам из скважин П-11, Р-152, Р-156 и Р-507.

Исследования рекомбинированной пробы, отобранной из скважины П-11 (интервал вскрытия пласта 3020-3024 м) показали, что давление начала выпадения жидкой углеводородной фазы составило 29,57 МПа при начальном пластовом давлении 29,71 МПа. При пластовом давлении и температуре газоконденсатная система по скважине П-11 находилось в однофазном состоянии. Плотность конденсата, оставшегося после исследований составила 0,7748 г/см³. Коэффициент извлечения конденсата рассчитан на уровне 0,470.

На основе полученной информации о составе и свойствах пластовой системы и сепараторных пробах, отобранных из скважины Р-156 была создана рекомбинированная газоконденсатная смесь. Она использовалась для экспериментального моделирования фазового поведения пластовой углеводородной системы пласта БТ₁₀ Берегового месторождения. По результатам опыта контактной конденсации установлено, что давление начала конденсации составляет 30,19 МПа и соответствует текущему пластовому давлению.

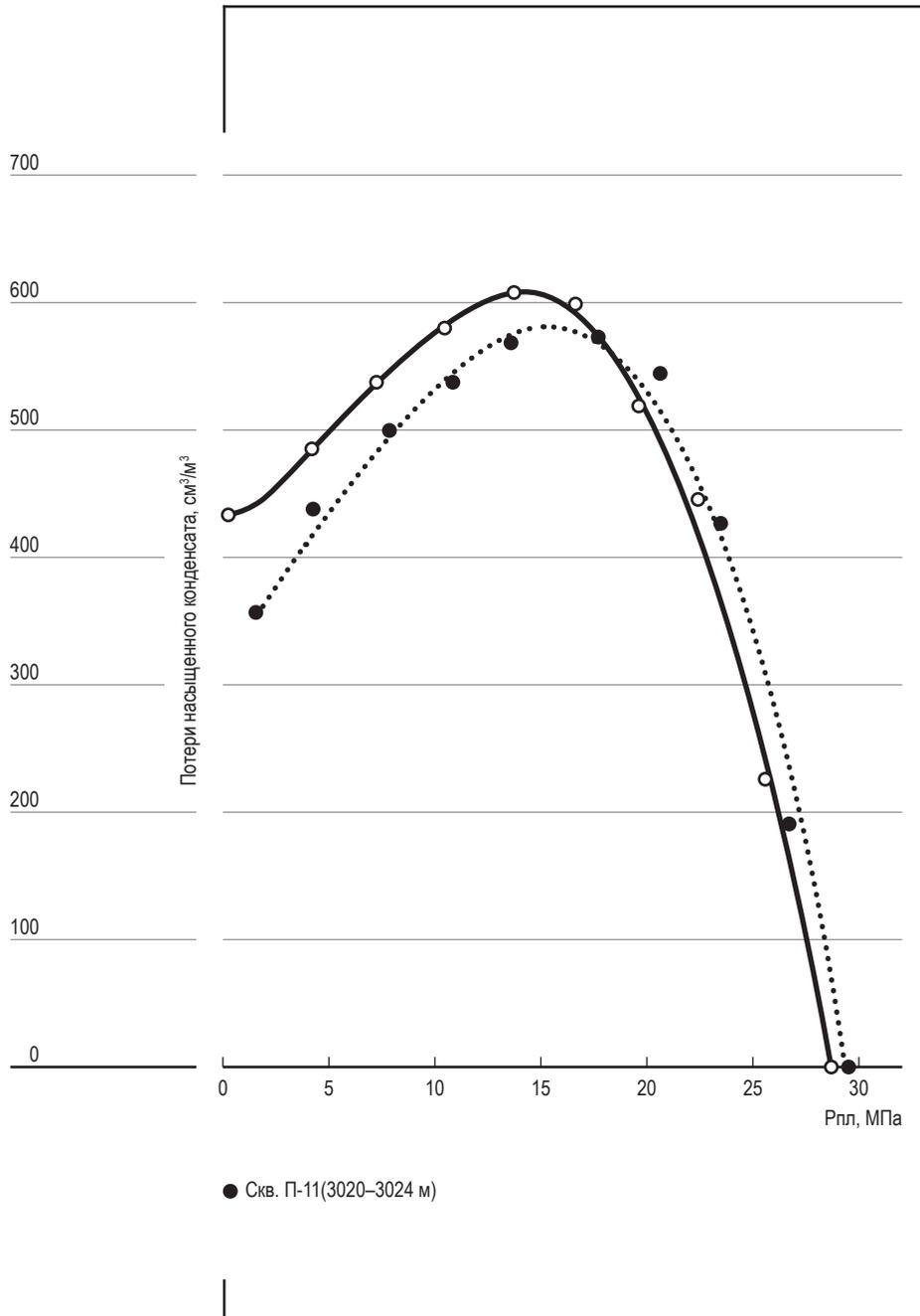


Рис. 1.

Динамика пластовых потерь углеводородов газоконденсатной системы залежи БТ₁₀ по скважин П-11 Берегового месторождения.

Fig. 1. Dynamics of reservoir losses of hydrocarbons in the gas condensate system of the БТ₁₀ deposit in wells P-11 of the Beregovoe field.

нию. Дополнительно исследования были направлены на получение наиболее полной информации о прогнозе компонентного состава пластовой системы при снижении давления. При проведении опытов был применен метод сепарации газовой фазы при ее выпуске контактно-дифференциальным способом. Это позволило получить детальные составы выпавшего конденсата в ходе моделирования процесса разработки залежи на режиме истощения. На основании результатов исследований установлено, что молярная масса добываемого конденсата уменьшается от 129 г/моль при начальном пластовом давлении (давления начала конденсации) до 119 г/моль при давлении максимальной конденсации. Плотность конденсата соответственно изменяется от 778,6 кг/м³ до 765,5 кг/м³. Также изменяется конденсатогазовый фактор при условиях сепарации. Балансовые расчеты, проведенные на основе данных эксперимента, позволили сделать прогноз потенциального содержания конденсата в составе пластового газа. При снижении давления ниже давления начала конденсации наблюдается снижение содержания конденсата в пластовом газе, а близком к давлению максимальной конденсации содержание углеводородов $C_{5+высш.}$ в составе пластового газа составило 37 г/м³ [7, 8, 9].

Данные исследования пробы насыщенного конденсата, отобранной из скважины Р-156 (интервал пласта 3017-3022 м) при начальных термобарических условиях залежи показали, что она находилась в однофазном, газообразном состоянии. Результаты исследования газоконденсатной системы залежи БТ₁₀ по скважине Р-156 приведены на рисунке 2.

Из диаграммы видно, что равновесное состояние исследуемой газожидкостной смеси нарушается при давлении 30,19 МПа. Расчетный коэффициент извлечения конденсата на момент полного истощения пластовой энергии составил 0,482. Исследования газоконденсатной смеси из скважины Р-156 производилась пять раз: 18.05.2010 г., 16.03.2011 г., 14.04.2011 г., 14.04.2015 г. и 31.03.2016 годы. За время разработки пластовое давление снизилось с 30,19 МПа (2011 г) до 27,69 МПа (2016 г). Углеводородная система отреагировала на изменение термобарических условий, так плотность углеводородной жидкости, оставшейся в ячейке-PVT после исследова-

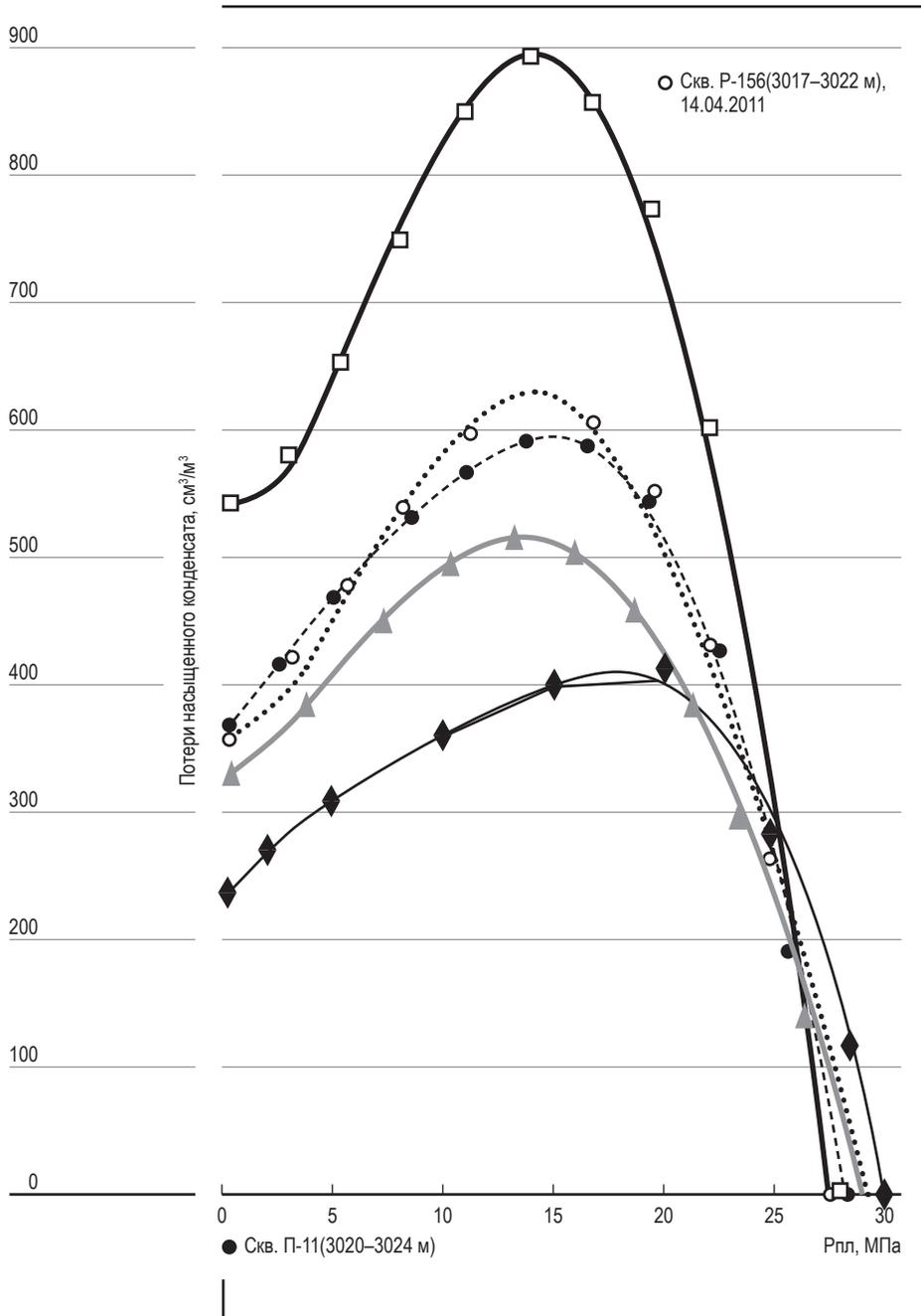


Рис 2.

Кривые пластовых потерь углеводородов газоконденсатной системы залежи BT_{10} по скважине Р-156 в процессе разработки.

Fig. 2. Reservoir loss curves of hydrocarbons in the gas condensate system of the BT_{10} deposit in the R-156 well during development.

дований, составила соответственно 0,7497–0,8024 г/см³. Зафиксированные величины коэффициентов конденсатоизвлечения изменились от 0,446; 0,408; 0,420; 0,4668 до 0,442.

В процессе разработки пласта БТ₁₀ также выполнены исследования проб из скважин Р-502, Р-267 и Р-503. По скважине Р-267 (2007 г.) давление начала конденсации составило 29,22 МПа при пластовом давлении 29,2 МПа. На рисунке 3 приведены результаты исследований газоконденсатной системы залежи БТ₁₀ по скважине Р-502 [10, 11, 12].

Плотность конденсата, оставшегося в ячейке, составила 0,7778 г/см³, коэффициент извлечения конденсата – 0,56. По скважине Р-502 (2014 г.) давление начала конденсации составило 29,22 МПа при пластовом давлении 23,73 МПа. Плотность углеводородной жидкости, оставшейся в ячейке, составила 0,7778 г/см³, коэффициент извлечения конденсата – 0,52. По скважине Р-503 (2013 г., 2014 г.) давление начала конденсации составило 27,27 и 26,24 МПа при пластовом давлении 27,44–24,41 МПа. Плотность конденсата, оставшегося в ячейке, составила 0,7879–0,7667 г/см³, коэффициент извлечения конденсата – 0,479–0,543.

Форма существования пластовой системы залежи пласта БТ₁₁ при изменении естественных термобарических условий ее нахождения изучалось по анализам проб продукции скважин П-11 (инт. 3064–3071 м), Р-260 (инт. 3066–3072 м) и Р-507 (инт. 3078,5–3081,5 м) Берегового месторождения. Анализ исследования рекомбинированной пробы из скважины П-11 показал, что загруженная в ячейку-РVT углеводородная смесь при пластовых давлении и температуре находится в гомогенном состоянии. Начало выделения конденсатообразующих компонентов в жидкую фазу произошло при давлении 30,5 МПа. При стандартных условиях доля извлечения конденсата от величины его потенциального содержания составила 0,462 [13, 14].

Оценка условий реализации фазовых превращений газоконденсатной смеси скважины Р-260 производилась четыре раза: в 1998 г., 2000 г., 2006 г. и 2007 г. Данные исследований газоконденсатной системы залежи БТ₁₁ по скважинам Р-260 и Р-261 приведены на рисунке 4.

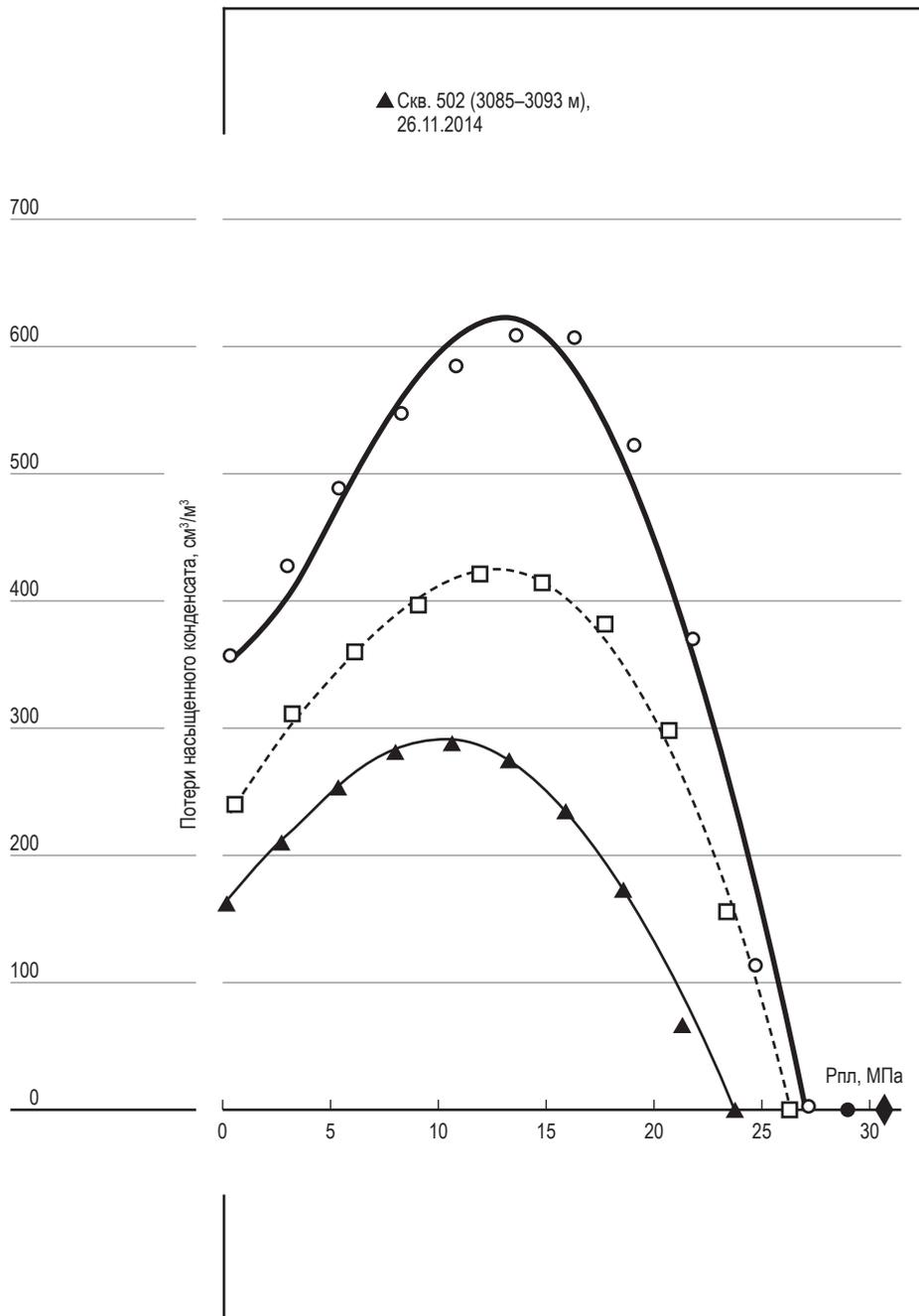


Рис. 3.

Кривые потерь углеводородов газоконденсатной системы залежи БТ₁₀ по скважин Р-502 в процессе разработки месторождения.

Fig. 3. Loss curves of hydrocarbons in the gas condensate system of the БТ₁₀ deposit for R-502 wells during field development.

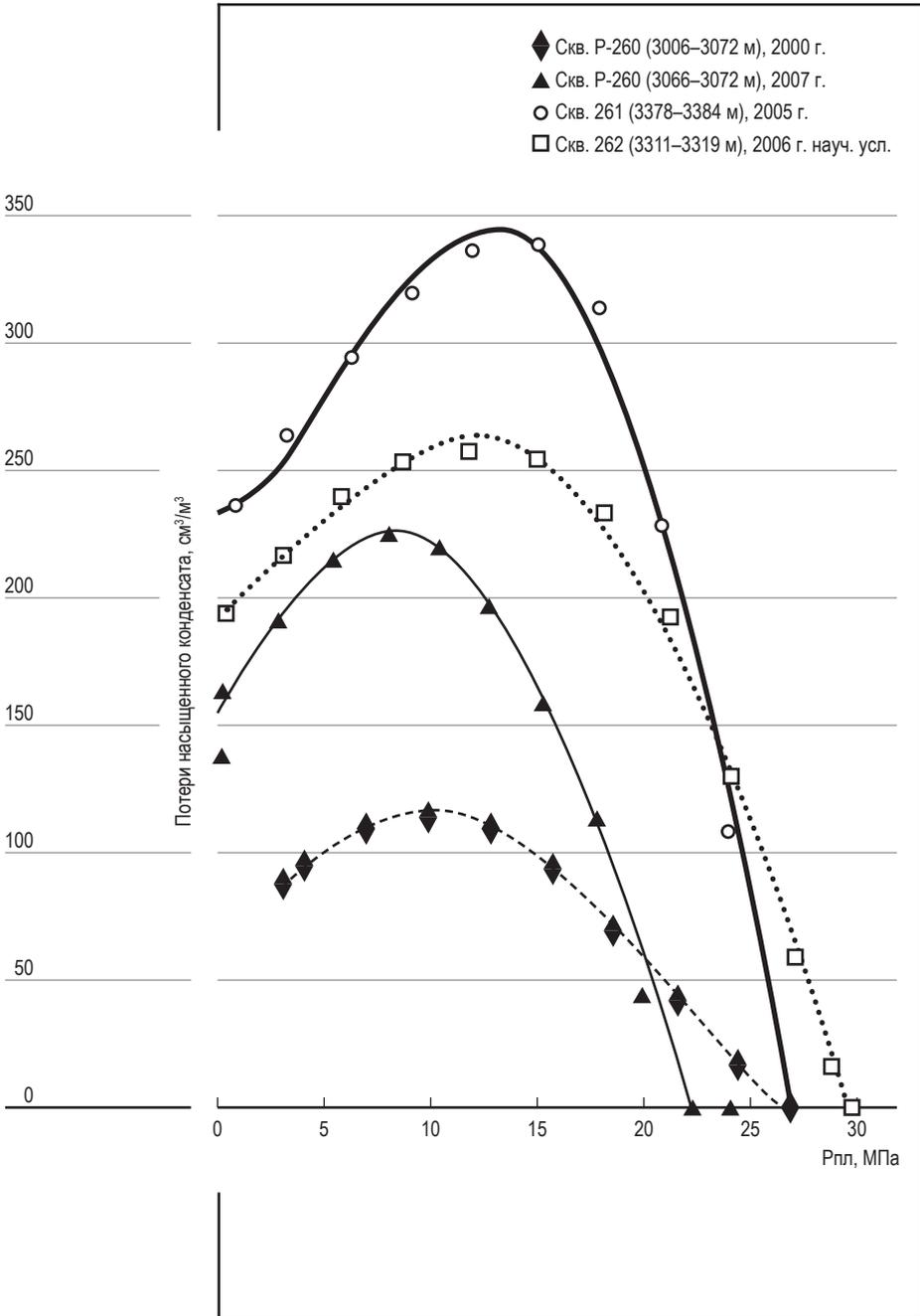


Рис.4.

Кривые дифференциальной конденсации углеводородной системы пласта БТ11 по скважинам Р-260, Р- 261, Р-262

Fig.4. Curves of differential condensation of the reservoir system of the BT11 formation for wells R-260, R-261, R-262

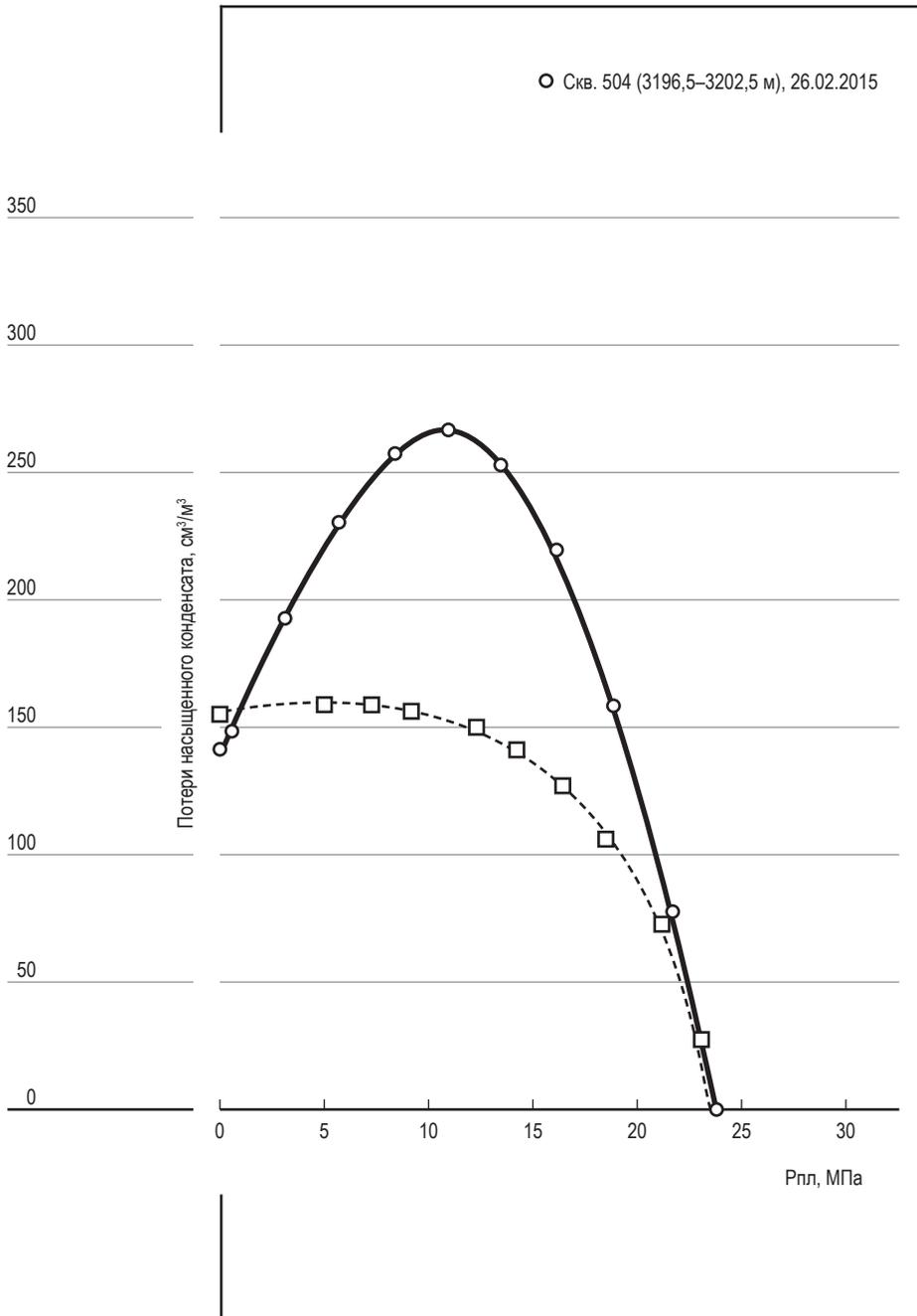


Рис 5.

Диаграммы экспериментального моделирования углеводородной системы пласта БТ₁₁ скважины № 504.

Fig.5. Diagrams of experimental modeling of the hydrocarbon system of the БТ₁₁ formation, well No. 504.

Результаты экспериментов показали, что изучаемая смесь в пластовых условиях находится в газообразном состоянии. За время разработки пластовое давление снизилось с 29,5 МПа (1998 г) до 23,78 МПа (2015 г). Углеводородная система отреагировала на изменение пластовых условий, давление начала конденсации уменьшилось с 29,01 МПа (1998 г.) до 24,72 МПа (2007 г.). Расчетные величины коэффициентов конденсатоизвлечения составили соответственно – 0,562; 0,600; 0,590; 0,53.

В процессе разработки пласта БТ₁₁ были выполнены исследования газоконденсатной смеси, отобранной из скважины № 504 (исследуемый интервал пласта 3196,5–3202,5 метров, 2015 г.). Экспериментальное моделирование проводилось для оценки состояния углеводородной системы, пластовых потерь насыщенного конденсата и коэффициента его извлечения методом контактной и дифференциальной конденсации [15, 16].

В скважине Р-504 проведены термодинамические исследования пластовой системы. В процессе контактной конденсации масса системы сохранялась постоянной, то есть не менялся состав смеси. Давление смеси менялось за счёт изменения объёма ячейки при постоянной температуре. Максимальные пластовые потери на газ сепарации составили 305,39 см³/м³ при текущем давлении 10,90 МПа. При исследовании методом дифференциальной конденсации отбиралась газовая фаза, а выпавшая в ячейке жидкая фаза нестабильного конденсата на протяжении эксперимента не извлекалась. Моделирование парожидкостного разделения пластовой смеси происходило изменение ее свойств и компонентного состава на каждом этапе изменения давления. Давление начала конденсации составило 23,90 МПа, а максимальной конденсации составило 10,90 МПа. Пластовые потери конденсата определялись методом дифференциальной конденсации пластовой углеводородной газоконденсатной смеси в рекомбинационной ячейке при снижении давления. Плотность конденсата, оставшегося в ячейке после PVT-исследований, при стандартных условиях составила 0,7746 г/см³. Коэффициент извлечения конденсата составил 0,56 [15, 16].

В результате проведенных в скважине Р-261 (инт. 3378–3384 м, 2005 г.) термодинамических исследований установлено следующее:

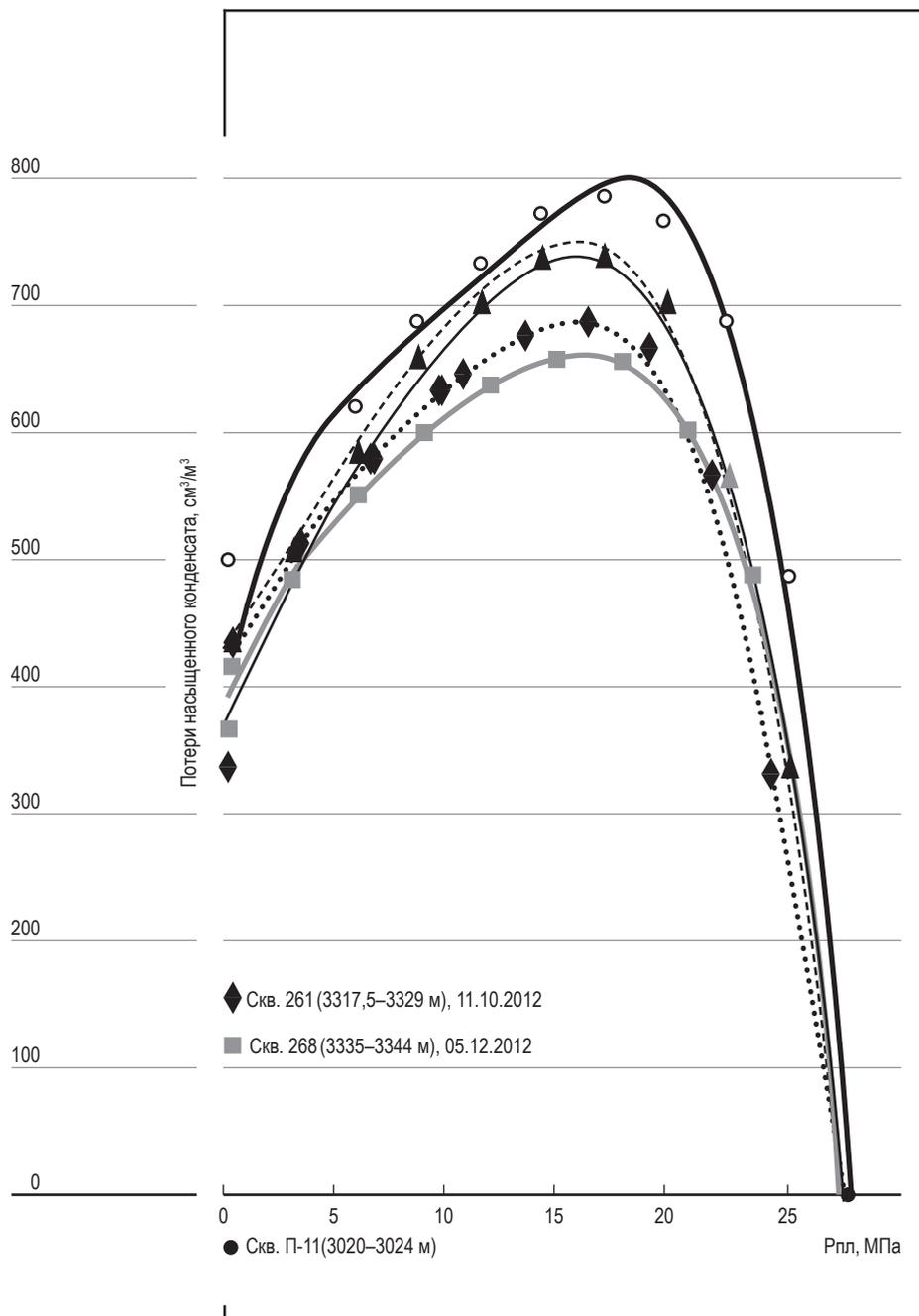


Рис 6.

Диаграммы экспериментального моделирования углеводородной системы совместно по пластам BT_{10} и BT_{11} по скважинам 261 и Р-268

Fig. 6. Diagrams of experimental modeling of the hydrocarbon system jointly for BT_{10} and BT_{11} reservoirs for wells 261 and R-268.

при начальных термодинамических условиях углеводородная система находилась в однофазном состоянии, давление начала конденсации равно 27,05 МПа. Пластовые потери насыщенного конденсата при моделировании разработки на истощение методом дифференциальной конденсации при давлении максимальной конденсации 11,96 МПа составили 337,51 см³/м³. Коэффициент конденсатоотдачи, полученный при этом, составил 0,520.

В результате комплекса исследований в скважине Р-262 (инт. 3311–3319 м, 2006 г.) выполнено: изучение растворимости конденсат при текущем давлении методом контактной конденсации; моделирование пластовой системы на начальные пластовые условия с последующим изучением процессов фазовых превращений пластовой углеводородной системы при разработке залежи методом падения пластового давления; определение величины КИК на конечной стадии разработки.

В результате проведенных экспериментов установлено, что при загрузке в бомбу PVT насыщенного конденсата в соответствии с величиной выхода конденсата на условия отбора проб – 430,4 см³/м³ пластовая система перешла в однофазное газовое состояние при давлении 26,19 МПа, что соответствует величине текущего пластового давления в зоне дренирования скважины. Пластовые потери насыщенного конденсата при моделировании разработки на истощение контактным методом при давлении максимальной конденсации 10,79 МПа составили 278,39 см³/м³.

В скважине 531 (инт. 3357–3360 м) экспериментальные исследования были направлены на получение наиболее полной информации об изменении состава пластовой системы при снижении давления. При проведении исследований был применен метод сепарации газовой фазы при выпуске ее на ступенях опыта контактно-дифференциальной конденсации. Это позволило получить детальные составы конденсата при снижении давления в ходе моделирования процесса разработки залежи на режиме истощения. При снижении давления ниже давления начала конденсации наблюдается снижение содержания конденсата в пластовом газе. Также была рассчитана динамика изменения коэффициента извлечения конденсата, максимальное его извлечение при давлении 0,1 МПа составило 0,473.

Результаты исследования проб пластового газа (одна из которых отобрана из скважины Р-77, при совместном испытании пластов ПК₁₉¹ и ПК₁₉² показали, что давления начала конденсации газоконденсатной смеси сильно различается (от 16,62 до 25,25 МПа). Причина возможного расхождения обусловлена условиями отбора сепарационных проб. Так проба из скважины Р-77 находилась в двух фазном состоянии, что возможно из-за негеметичности контейнера или недостоверного определения промыслового конденсатогазового фактора (КГФ). Для скважины Р-46 давление начала конденсации составило 19,58 МПа и соответствует пластовому давлению. При исследовании данной газоконденсатной смеси и построении изотерм в области давления максимальной конденсации наблюдался процесс как конденсации, так и испарения. Полученные изотермы являются основой диаграммы в координатах «давление – пластовые потери конденсата», на которой фиксируется критическая точка перехода. Также на основании моделирования свойств углеводородных смесей показаны особенности перехода газоконденсатной системы из газового состояния в жидкое. Дополнительно для расчета КИК определялась плотность конденсата, оставшегося после исследований в PVT-ячейке. По результатам измерения плотность конденсата отобранного из скважины Р-46 составила 0,7913 г/см³, а плотность конденсата по скважине Р-77 ниже и равна 0,7792 г/см³.

Выводы

Таким образом, на основе результатов исследований проб продукции скважин с различными термобарическими условиями, составом и свойствами пластового флюида Берегового месторождения определено давление начала и максимальной конденсации. В результате на основе полученной информации о составе сепараторных пробах создана рекомбинированная смесь, которая использовалась для экспериментального моделирования фазовых процессов пластовой системы. По результатам опыта методом контактной конденсации установлено, что давление начала конденсации составляет соответствует начальному пластовому давлению. Определены факторы, влияющие на изменение конденсатогазового

фактора при условиях сепарации. Также была рассчитана динамика изменения коэффициента извлечения конденсата, максимальное его значение при давлении 0,1 МПа составило 0,549. Полученные данные успешно используются для адаптации PVT-моделей, а также других моделей, используемых для расчета системы промышленной сепарации в ходе разработки месторождения.

Библиографический список

1. Грачев С.И., Краснова Е.И., Инякин В.В. и др. Прогнозирование добычи конденсата в рамках контроля за разработкой газоконденсатных залежей // Академический журнал Западной Сибири, 2014. Т. 10. №6 (55). С. 9–12.
2. Краснова Е.И., Грачев С.И. Результаты исследования фазового поведения углеводородов при наличии пластовой воды в газоконденсатной системе // Академический журнал Западной Сибири, 2012. №4. С. 10.
3. Краснова Е.И., Островская Т.Д. Оценка увеличения продуктивности газоконденсатных скважин на поздней стадии разработки месторождений // Академический журнал Западной Сибири, 2013. Т. 9. №6 (49). С. 31.
4. Иноземцева А.А., Инякин В.В., Краснов И.И. и др. Мероприятия по увеличению производительности скважин и ограничению притока пластовых вод // Материалы всероссийской конференции, 2015. С. 90–94.
5. Иванова М.С., Инякина Е.И., Краснов И.И., Инякин В.В. Влияние горно-геологических условий на отработку запасов углеводородов // Горный журнал, 2019. №2. С. 10–12.
6. Ваганов Е.В., Левитина Е.Е., Краснов И.И., Томская В.Ф. Опыт проведения ВИР на скважинах, эксплуатирующих газоконденсатные залежи Берегового месторождения // Наука. Инновации. Технологии, 2021. №1. С. 27–38.
7. Колев Ж.М., Краснов И.И., Ваганов Е.В. Моделирование и обоснование ограничения водо-газопритокров в скважины, эксплуатирующие нефтегазовые залежи // Нефть и газ: опыт и инновации, 2021. Т. 5. №1. С. 3–21.
8. Ваганов Е.В., Краснов И.И. Опыт проведения РИР на Береговом месторождении при разработке газоконденсатных залежей пласта БТ10 // Академический журнал Западной Сибири, 2020. Т. 16. №6 (89). С. 25–27.

9. 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.
10. Vaganov E.V., Inyakin V.V., Krasnov I.I., Katanova R.K. Results of the study of the productive characteristics of wells in the development of gas condensate deposits // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. “International Science and Technology Conference “Earth Science”, ISTC EarthScience 2022. Chapter 2”. 2022. С. 1–7.
11. Краснов И.И., Иньякина Е.И. Перспективы разработки осложненных нефтегазовых залежей с применением геолого-технических мероприятий // Нефть и газ: опыт и инновации, 2018. Т. 2. № 2. С. 29–52.
12. Иньякина Е.И., Краснов И.И., Иньякин В.В. Опыт разработки нефтегазоконденсатных месторождений с осложненной геолого-физической характеристикой // Нефть и газ: опыт и инновации, 2017. Т. 1. №1. С. 41–66.
13. 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 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. “International Science and Technology Conference “Earth Science”, ISTC EarthScience 2022. Chapter 1”. 2022. С. 1–9.
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. Katanova R.K., Tomskiy K.O., Ivanova M.S., Inyakina E.I. Forecasting formation losses of hydrocarbons in the process of development of oil and gas condensate deposits // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. “International Science and Technology Conference “Earth Science”, ISTC EarthScience 2022. Chapter 2”. 2022. С. 1–8.
16. Катанова Р.К., Краснов И.И. Исследование PVT-свойств газоконденсатных залежей, контактирующих с остаточной

нефтью // Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса. материалы XI Международной научно-практической конференции обучающихся, аспирантов и ученых, посвященной 40-летию филиала ТИУ в г. Нижневартовске. Тюмень, 2021. С. 109–112.

References

1. Grachev S.I., Krasnova E.I., Inyakin V.V. Forecasting of condensate production as part of monitoring the development of gas condensate deposits // Academic journal of Western Siberia, 2014. V. 10. No. 6 (55). P. 9–12.
2. Krasnova E.I., Grachev S.I. The results of the study of the phase behavior of hydrocarbons in the presence of reservoir water in the gas condensate system // Academic journal of Western Siberia, 2012. No. 4. P. 10.
3. Krasnova E.I., Ostrovskaya T.D. Evaluation of the increase in the productivity of gas condensate wells at a late stage of field development. Academic journal of Western Siberia, 2013. V.9. No. 6 (49). P. 31.
4. Inozemtseva A.A., Inyakin V.V., Krasnov I.I. and other Measures to increase the productivity of wells and limit the inflow of formation waters. Materials of the All-Russian conference, 2015. P. 90–94.
5. Ivanova M.S., Inyakina E.I., Krasnov I.I., Inyakin V.V. Influence of mining and geological conditions on the development of hydrocarbon reserves // Mining journal, 2019. No. 2. P. 10–12.
6. Vaganov E.V., Levitina E.E., Krasnov I.I., Tomskaya V.F. Experience in conducting surveys at wells operating gas condensate deposits of the Beregovoye field // The science. Innovation. Technology, 2021. No. 1. P. 27–38.
7. Kolev Zh.M., Krasnov I.I., Vaganov E.V. Modeling and substantiation of limitation of water and gas inflows into wells exploiting oil and gas deposits // Oil and gas: experience and innovations, 2021. V. 5. No. 1. P. 3–21.
8. Vaganov E.V., Krasnov I.I. Experience in carrying out survey work at the Beregovoye field in the development of gas condensate deposits of the BT10 formation // Academic journal of Western Siberia, 2020. Vol. 16. No. 6 (89). P. 25–27.
9. Zeinalabideen M.J., Katanova R.K., Krasnov I.I., Inyakina E.I. Study of the effect of formation water during reserves estima-

- tion and designing hydrocarbon recovery of oil and gas condensate fields // Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 2020. V. 8. No. 4. P. 2029–2034.
10. Vaganov E.V., Inyakin V.V., Krasnov I.I., Katanova R.K. Results of the study of the productive characteristics of wells in the development of gas condensate deposits // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 – Chapter 2", 2022. P. 1–7.
 11. Krasnov I.I., Inyakina E.I. Prospects for the development of complicated oil and gas deposits using geological and technical measures // Oil and gas: experience and innovations, 2018. V. 2. No. 2. P. 29–52.
 12. Inyakina E.I., Krasnov I.I., Inyakin V.V. Experience in the development of oil and gas condensate fields with complicated geological and physical characteristics // Oil and gas: experience and innovations, 2017. V. 1. No. 1. P. 41–56.
 13. 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 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 – Chapter 1", 2022. P. 1–9.
 14. Inyakina E.I., Alsheikhly M.D.Z., Katanova R.K. Justification of condensate recovery during development of productive layers in Termokarstovoye field // In the 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., Tomskiy K.O., Ivanova M.S., Inyakina E.I. Forecasting formation losses of hydrocarbons in the process of development of oil and gas condensate deposits // In the collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 – Chapter 2", 2022. P. 1–8.
 16. Katanova R.K., Krasnov I.I. Study of PVT-properties of gas condensate deposits in contact with residual oil // Experience, current problems and prospects for the development of the oil and gas complex. materials of the XI International scientific

and practical conference of students, postgraduates and scientists dedicated to the 40th anniversary of the TIU branch in Nizhnevartovsk. Tyumen, 2021. P. 109–112.

**Поступило в редакцию 04.05.2022,
принята к публикации 10.06.2022.**

Об авторах

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

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

Томский Кирилл Олегович, к.т.н., доцент базовой кафедры «Нефтегазовое дело», МПТИ (ф) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова».
Тел. 89141109786.
E-mail: kirilltom@mail.ru

Инякин Владислав Витальевич, ассистент кафедры РЭНГ, Тюменский индустриальный университет.
Тел. 89220428466.
E-mail: injakinvv@tyuiu.ru

Елисеева Мария Ивановна, к.э.н., доцент кафедра экономики и управления, Международный инновационный университет в г. Сочи.
Тел. 89881829778.
E-mail: krasnovami@gmail.com

About the authors

Inyakina Ekaterina Ivanovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the RENG Department, Tyumen Industrial University.

Tel. 89220428466. E-mail: injakinaei@tyuiu.ru

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

Tomskiy Kirill Olegovich, Ph.D., associate professor of the Base Department of Oil and Gas, Mirny Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

Tel. 89141109786.

E-mail: kirilltom@mail.ru

Inyakin Vladislav Vitalievich, assistant of the RENG department, Tyumen Industrial University.

Tel. 89220428466.

E-mail: injakinvv@tyuiu.ru

Eliseeva Maria Ivanovna, Candidate of Economics, Associate Professor, Department of Economics and Management, International Innovation University in Sochi.

Tel. 89881829778.

E-mail: krasnovami@gmail.com

25.00.17 (2.8.4)
УДК 622.23.05

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ
И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Колев Ж. М.,
Мамчистова Е. И.,
Скарედнов А. А.,
Грачева С.К.,
Рогозина Т.В.**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»
АО Производственно-геологическое объединение
«Тюменьгеология»

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СКВАЖИН С ВОЛНООБРАЗНЫМ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ОКОНЧАНИЕМ ДЛЯ УСЛОВИЙ СРЕДНЕБОТУОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.2.3

Введение.

В настоящее время большинство разрабатываемых залежей нефти относятся к категории сложнопостроенных месторождений. Специфика и основные трудности разработки таких залежей определяются условиями залегания в продуктивном горизонте, резко различающихся анизотропией пласта, а также наличием подстилающей пластовой воды. Особенно остро стоит вопрос эксплуатации скважин сложной геометрии. В качестве модели предложена разработанная авторами математическая модель, позволяющая описать приток к добывающей скважине сложной геометрии. Полученные результаты при применении авторской модели и сравнение данных с известными формулами притока к горизонтальной скважине показали хорошую сходимость. Предложенная модель однофазного притока позволяет прогнозировать потенциальный дебит волнообразной скважины при разработке Среднеботубинского месторождения.

Материалы и методы
исследований.

В работе рассматривается разработанная авторами математическая модель, позволяющая описать приток к добывающей скважине сложной геометрии. Полученные результаты при применении авторской модели и сравнение данных с известными формулами притока к горизонтальной скважине показали хорошую сходимость. Показана зависимость производительности скважины с волнообразной траекторией от анизотропии и количества циклов синусоиды. Определена область применения скважин с волнообразной траекторией и применение предлагаемой модели однофазной фильтрации для прогнозирования продуктивности волнообразной скважины вскрывшей нефтяную оторочку ботубинского горизонта с газовой шапкой и подошвенной водой.

Результаты исследований

и их обсуждение.

Совместное решение уравнения распределения пластового давления и давления в стволе скважины позволяет получить систему уравнений, решением которой являются дебиты сегментов скважины. Горизонтальную скважину можно рассматривать как особую форму волнообразной скважины, поскольку индекс волнообразности равен нулю. В работе предложена численно-аналитическая модель для прогнозирования и оценки продуктивности волнообразных скважин. Полученные результаты при применении авторской модели и сравнение данных с известными формулами притока к горизонтальной скважине показали хорошую сходимость. Показана зависимость производительности скважины с волнообразной траекторией от анизотропии и количества циклов синусоиды. Также предложена численно-аналитическая модель для прогнозирования и оценки продуктивности волнообразных скважин.

Выводы.

Таким образом, путем численного моделирования в программном комплексе tNavigator обосновано применение скважин с волнообразным горизонтальным окончанием для условий разработки Среднеботуобинского месторождения. Установлено, что низкая вертикальная проницаемость существенно снижает скорость движения границы раздела фаз «нефть-газ» и «нефть-вода». Разработанная модель притока к скважине сложной геометрии позволяет учитывать вертикальную неоднородность коллектора, траекторию скважины. Показала хорошую сходимость результатов с известными формулами притока к горизонтальному окончанию нефтяной скважины.

Ключевые слова:

продуктивность скважины; скважина сложного профиля; анизотропия пласта; вертикальная проницаемость.

**Kolev Zh. M.,
Mamchistova E. I.,
Skarednov A. A.,
Gracheva S.K.,
Rogozina T.V.**

Tyumen industrial University
Tyumen industrial University
Tyumen industrial University
Tyumen industrial University
JSC Production and Geological Association "Tyumengeology"

Rationale for the Application of Wells with a Wave-Shaped Horizontal Termination for the Conditions of the Srednebotuobinskoye Field

Introduction.

Currently, most of the developed oil deposits are classified as complex fields. The specificity and main difficulties in the development of such deposits are determined by the conditions of occurrence in the productive horizon, which differ sharply in the formation anisotropy, as well as the presence of underlying formation water. The issue of operating wells of complex geometry is especially acute. As a model, a mathematical model developed by the authors is proposed, which

makes it possible to describe the inflow to a production well of complex geometry. The results obtained when applying the author's model and comparing the data with the known formulas for the inflow to a horizontal well showed good convergence. The proposed single-phase inflow model makes it possible to predict the potential flow rate of an undulating well during the development of the Srednebotuobinskoye field.

Materials and methods
of research.

The paper considers a mathematical model developed by the authors, which makes it possible to describe the inflow to a production well of complex geometry. The results obtained when applying the author's model and comparing the data with the known formulas for the inflow to a horizontal well showed good convergence. The dependence of well productivity with a wavy trajectory on the anisotropy and the number of sinusoid cycles is shown. The area of application of wells with an undulating trajectory and the application of the proposed single-phase filtration model for predicting the productivity of a undulating well that has penetrated the oil rim of the Botuobinsky horizon with a gas cap and bottom water are determined.

Results and
Discussion.

The joint solution of the equation for the distribution of reservoir pressure and pressure in the wellbore makes it possible to obtain a system of equations, the solution of which is the flow rates of the well segments. A horizontal well can be considered as a special form of undulating well as the undulation index is zero. The paper proposes a numerical-analytical model for predicting and evaluating the productivity of undulating wells. The results obtained when applying the author's model and comparing the data with the known formulas for the inflow to a horizontal well showed good convergence. The dependence of well productivity with a wavy trajectory on the anisotropy and the number of sinusoid cycles is shown. A numerical-analytical model is also proposed for predicting and evaluating the productivity of undulating wells.

Conclusion.

Таким образом, путем численного моделирования в программном комплексе tNavigator обосновано применение скважин с волнообразным горизонтальным окончанием для условий разработки Среднеботуобинского месторождения. Установлено, что низкая вертикальная проницаемость существенно снижает скорость движения границы раздела фаз «нефть-газ» и «нефть-вода». Разработанная модель притока к скважине сложной геометрии позволяет учитывать вертикальную неоднородность коллектора, траекторию скважины. Показала хорошую сходимость результатов с известными формулами притока к горизонтальному окончанию нефтяной скважины.

Key words:

well productivity; complex profile well; formation anisotropy; vertical permeability.

Введение

В настоящее время большинство разрабатываемых залежей нефти относятся к категории сложнопостроенных месторождений. Специфика и основные трудности разработки таких залежей определяются условиями их совместного залегания в продуктивном горизонте, резко различающихся по компонентному составу и физическим свойствам, а также наличием подстилающей пластовой воды.

При эксплуатации нефтегазовых залежей важным элементом является траектория и конструкция горизонтальной скважины. Актуальным является рассмотрение задач для конкретных условий разработки с использованием современных методических подходов к расчету. Выработка нефти с трудноизвлекаемыми запасами характеризуется рядом технических, технологических и экономических ограничений, создающих препятствия для освоения таких объектов, а также ставящих под сомнение эффективность продолжения эксплуатации технологических комплексов. Отсюда просматривается общая схема разработки трудноизвлекаемых запасов как сочетание детальной структуризации залежей, геолого-технологической систематизации запасов и целенаправленного подбора технологий к их разновидностям.

Материалы и методы исследований

Геологические критерии дифференциации разных групп трудноизвлекаемых запасов различны, при этом общая методология сводится к расчленению залежи как совокупности элементарных геологических тел на однородные элементы, поддающиеся опознанию и локализации посредством доступной и массовой информации. Волнообразные скважины являются одной из альтернатив горизонтальным скважинам при разработке пластов с низкой вертикальной проницаемостью или пластов в которых невозможно проведение гидроразрыва пласта. В случае волнообразной траектории скважины по продуктивному пласту, ствол скважины может вскрывать каждый из пропластков несколько раз [1]. Описание керна скважин Среднеботубинского месторождения осуществлялось геологами Средне-Ленской НГРЭ ПГО «Лена-

нефтегазгеология». Микроизучение керна и определения коллекторских свойств в основном выполнены в лабораториях ЯКТЭ и ЛЭИС ПГО «Ленанефтегазгеология» и ВНИИГИСа. Стандартные исследования керна пилотных стволов проводились институтом ИННГ СО РАН, специальные исследования ОАО «ТомскНИПИ-нефть ВНК» и ЗАО «НИПИНЕФТЕГАЗ». На основании рассмотренных данных появилась возможность применения скважин с синусоидальной траекторией ствола по продуктивному пласту, позволяющей увеличить площадь зоны дренирования в вертикальном направлении.

В работе рассматривается разработанная авторами математическая модель, позволяющая описать приток к добывающей скважине сложной геометрии. Полученные результаты при применении авторской модели и сравнение данных с известными формулами притока к горизонтальной скважине показали хорошую сходимость. Определена область применения скважин с волнообразной траекторией и применение предлагаемой модели однофазной фильтрации для прогнозирования продуктивности волнообразной скважины вскрывшей нефтяную оторочку ботуобинского горизонта с газовой шапкой и подошвенной водой.

Результаты исследований и их обсуждение

Геологические критерии дифференциации разных групп трудноизвлекаемых запасов всевозможные, при этом общая методология сводится к расчленению залежи как совокупности элементарных геологических тел на однородные элементы, поддающиеся опознанию и локализации посредством доступной и массовой информации. Волнообразные скважины являются одной из альтернатив горизонтальным скважинам при разработке пластов низкой вертикальной проницаемостью. Рассматривается подход к разработке залежей крупных газонефтяных месторождений Западной Якутии, где сложились предпосылки для его реализации. В результате обобщения информации об основных продуктивных пластах, содержащих нефтяные оторочки, получено представление об условиях залегания нефтесодержащих горизонтов. На основании рассмотренных данных исследований появилась возможность

установить закономерности физико-термодинамических процессов, происходящих в залежи, а также использовать результаты при обосновании коэффициента извлечения и выборе оптимального варианта разработки.

Среднеботуобинское месторождение расположено на территории Западной Якутии. В непосредственной близости от Среднеботуобинского месторождения разведаны и числятся на госбалансе Таас-Юряхское, Бес-Юряхское, Иреляхское, Мирнинское, Северо-Нилбинское, Хотого-Мурбайское нефтегазоконденсатные и нефтяные месторождения, находящиеся на различной стадии освоения или разработке. Для месторождения характерно интенсивное проявление блоковой тектоники, которая привела к формированию четырех крупных тектонических блоков: Центрального, Западного, Восточного и Северного, осложненных, в свою очередь, разломами более мелкого порядка. Все выделенные нарушения считаются гидродинамическими барьерами. Доказанная нефтегазоносность месторождения связана в первую очередь с отложениями ботуобинского горизонта, в котором содержится большинство запасов нефти.

Доказанная продуктивность Центрального тектонического блока Среднеботуобинского месторождения связана с отложениями ботуобинского горизонта венда и с нижнекембрийскими карбонатными отложениями билирской свиты – осинский горизонт, пласты О–I и О–II. Принимая во внимание о стратегии освоения месторождения, следует учитывать тот факт, что практика разработки нефтяных оторочек основана на организации барьерного заводнения, регулировании темпов отборов нефти и закачки воды с целью минимизации потерь. Современная практика разработки запасов оторочек нефти перекрываемых газовой шапкой и подстилающей водой, предполагает широкое применение горизонтальных скважин. Важным является экономический результат, который предопределяет порядок освоения запасов углеводородов, очередность и темпы разбуривания пластов, их статус: основной объект или объект возвратный. Таким образом, с точки зрения геолого-технологических условий, в пределах Центрального тектонического блока Среднеботуобинского месторождения объектами раз-

работки являются пласты Бт и О – I + II. Отбор керна проводился в процессе бурения с целью изучения литологии, стратиграфии, коллекторских свойств пород, выявления в разрезе возможно продуктивных пород. Наибольшее количество кернового материала отобрано в интервалах залегания осинского продуктивного горизонта билирской свиты и ботуобинского продуктивного горизонта бюксской свиты. Сведения о проходке с отбором керна, выносе керна из продуктивных пластов в скважинах Центрального блока и Курунгского ЛУ представлены в таблице 1.

Таблица 1. СВЕДЕНИЯ О ВЫНОСЕ КЕРНА ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ СРЕДНЕБОТУОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
Table 1. Information about core recovery from productive formations Srednebotuobinskoye field

Горизонт	Пласт	Залежь	Число скважин с отбором керна	Проходка, м	Линейный вынос керна, м	Вынос керна, %
Осинский	О-I		23	413,3	282,8	68,4
	О-II		18	252,2	168,1	66,7
Всего:			41	665,5	450,9	67,8
Ботуобинский	Бт	I	26	796,3	577,9	72,6
		II	8	178,1	119,8	67,3
		III	2	50,6	26,9	53,2
		IV	12	284,7	115,7	40,6
		V	7	189,7	153,7	81,0
Всего:			55	1499,4	994,0	66,3

Применение скважин с синусоидальной траекторией ствола по продуктивному нефтенасыщенному пласту позволяет увеличить площадь зоны дренирования в вертикальном направлении [2]. Вследствие чего зависимость их производительности от вертикальной проницаемости больше, чем в случае горизонтальных скважин. Для оценки их эксплуатационных характеристик предлагается множество стационарных и нестационарных моделей притока к горизонтальным скважинам в пласте замкнутой формы. Стационарные модели притока флюида, как правило, приводятся для резервуаров эллиптической или прямоугольной формы.

Существуют известные модели притока к горизонтальной скважине в однородном пласте: модель S.D. Joshi [3], представленная в 1988 году и модель Economides, M. J [4] (1996). S.D. Joshi разделил трехмерную задачу фильтрации на две двумерные задачи, чтобы получить модель притока к горизонтальному стволу.

Формула S. D. Joshi [5] для эллиптического пласта с границами применимости $L > h$ и $L < 1,8 R_k$ имеет вид:

$$Q = \frac{2\pi kh \Delta p}{\mu \left(\frac{\ln(a + \sqrt{a^2 - (0,5L)^2})}{0,5L} \right) + \frac{h}{L} \ln\left(\frac{h}{2\pi r_c}\right)}, \quad (1)$$

где Q – объемный дебит, м³/с;
 k – проницаемость однородного пласта, м²;
 h – мощность пласта, м;
 Δp – разность давлений на контуре питания и стенке скважины, Па;
 μ – динамическая вязкость пласта, Па·с;
 L – длина горизонтального окончания, м;
 r_c – радиус скважины, м;
 a – большая полуось зоны дренирования, м.

$$a = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \left(\frac{2R_k}{L}\right)^4}}. \quad (2)$$

Для прямоугольной формы модели притока были представлены Butler R.M.[4] и Furuji K. [6]. Хотя их модели получены различными методами, результаты, получаемые при при-

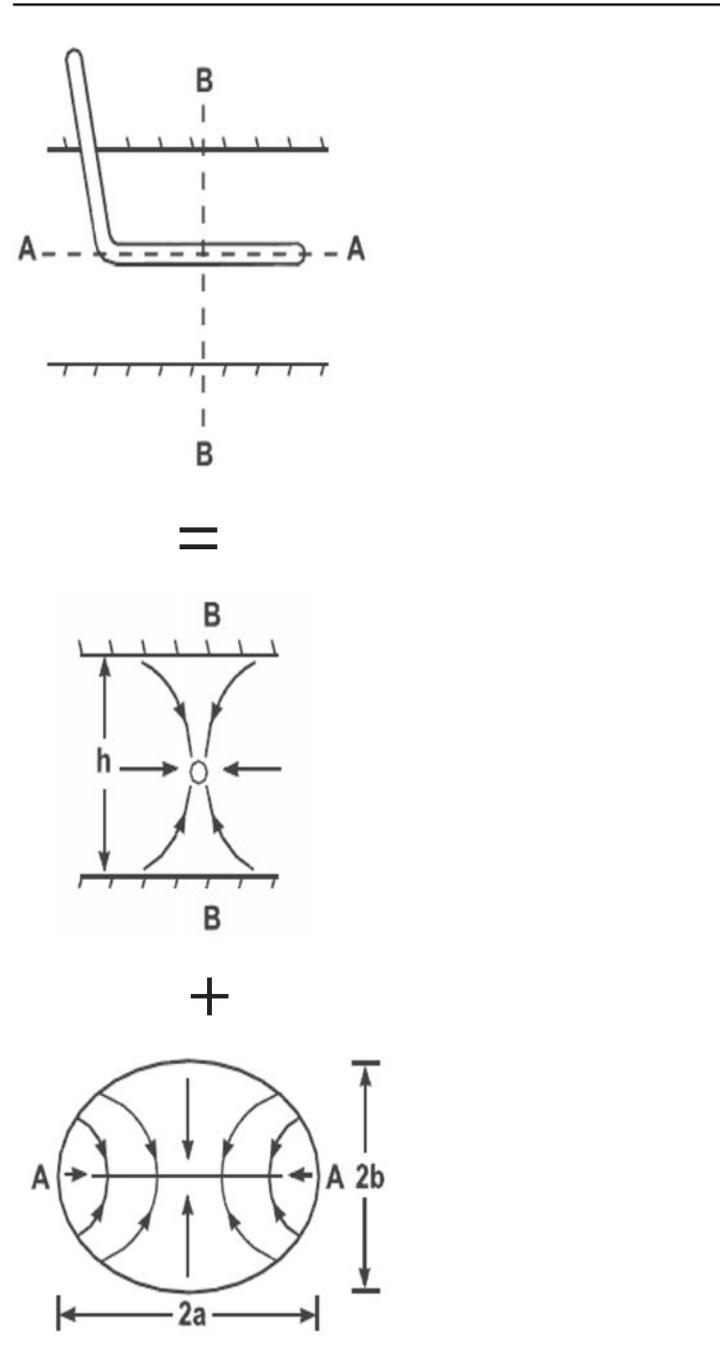


Рис 1.

Схема притока к ГС в вертикальном и горизонтальном плане по S.D. Joshi.

Fig 1. Scheme of inflow to HW in vertical and horizontal plan along S.D. Joshi.

менении этих моделей очень похожи. Модель Butler R.M. [5] была получена путем применения принципа суперпозиции и метода бесконечного отображения точечного стока относительно кровли и подошвы пласта, а модель Furuї K. основана на методе конечных элементов. Эти модели предполагают отсутствие границы потока в верхней и нижней частях пласта, направление z и постоянное давление в направлении x . Модель Butler R.M. позволяет при прогнозировании дебита горизонтальной скважины учитывать ее расположение относительно границ пласта в вертикальном направлении. В 2003 году Furuї K. [6] представила модель притока к горизонтальному стволу, разделив поток в горизонтальную скважину на два режима: радиальный поток вблизи ствола скважины и линейный поток вдали от ствола скважины. Модель притока к горизонтальному окончанию Babu D.K., Odeh A.S. [7] позволяет учитывать нестационарную фильтрацию в коллекторе в форме параллелограмма при условии, что ствол скважины параллелен оси y . Приведенные выше модели описывают однофазный приток к открытому горизонтальному стволу, вскрывающему однородно-анизотропный коллектор.

Как правило, модели притока к горизонтальным скважинам не учитывают эффект отклонения траектории скважины от прямолинейной, проходящей по середине продуктивного пласта, что в действительности не так. Обычно горизонтальная скважина не является строго горизонтальной, и почти каждая скважина имеет некоторое отклонение траектории ствола скважины по вертикали. Многими исследователями [8–10, 13] отмечается, что приток к горизонтальному волнообразному стволу нефтяной скважины имеет U-образную форму, то есть дебит участков в середине ствола ниже, чем участков на носке и пятке, а также меньше дебиты участков близких к границам пласта ниже, чем находящихся в середине пласта. Goktas B., Ertekin T. [10] показали, что поле пластового давления с большой амплитудой изменения траектории ствола по вертикали существенно отклоняются от создаваемого работой горизонтальной скважины, а, следовательно, прогнозирование производительности волнообразной скважины с помощью модели горизонтальной скважины дает ощутимую погрешность.

Скважины с волнообразной траекторией по продуктивному пласту нашли свое применение на месторождениях с низкой вертикальной проницаемостью. Для расчета профиля притока к скважинам сложного профиля авторами разработана методика для расчета траектории волнообразного ствола при длине горизонтального участка до 2000 м. Для сравнения приведем профиль притока к строго горизонтальному окончанию, размещенного в середине пласта с теми же фильтрационно-емкостными свойствами.

Для обеих траекторий по продуктивному пласту приток в носке и пятке выше чем в сегментах скважины посередине, так как сегменты на концах скважины имеют большую зону дренирования и для них отсутствует интерференция со стороны соседних сегментов. Как видно из рисунка 2, волнообразная скважина на всем протяжении вскрытия продуктивного пласта работает с большей производительностью, чем горизонтальная, потому что волнистость профиля дает возможность скважине вести добычу в вертикальном направлении при аномально низкой вертикальной проницаемости. Дебит волнообразной скважины составил 52,8 м³/сут, тогда как горизонтальной 34,6 м³/сут. В работе [12] показано, что при рассмотрении течения нефти по стволу скважины можно принять забойное давление постоянным по всей длине горизонтального окончания.

Оценим влияние анизотропии на эффективность применения волнообразной скважины. Произведем расчет притока к волнообразной скважине с двумя циклами и сравним результаты с горизонтальной скважиной той же длины, варьируя вертикальную проницаемость ($k_v = 0,07, 0,3, 15$ мД). Исходные данные приведены в таблице 2.

В однородном пласте $k_h = k_v = 0,15$ мД, дебиты волнообразной и горизонтальной скважин практически не различаются, однако с уменьшением вертикальной проницаемости дебиты сегментов волнообразной скважины на участках, удаленных от границ пласта, существенно выше.

На рисунке 4 показана зависимость отношения продуктивностей волнообразной и горизонтальной скважин при изменении анизотропии (вертикальной проницаемости k_v). При вертикальной проницаемости равной долям мД видно существенное увеличение де-

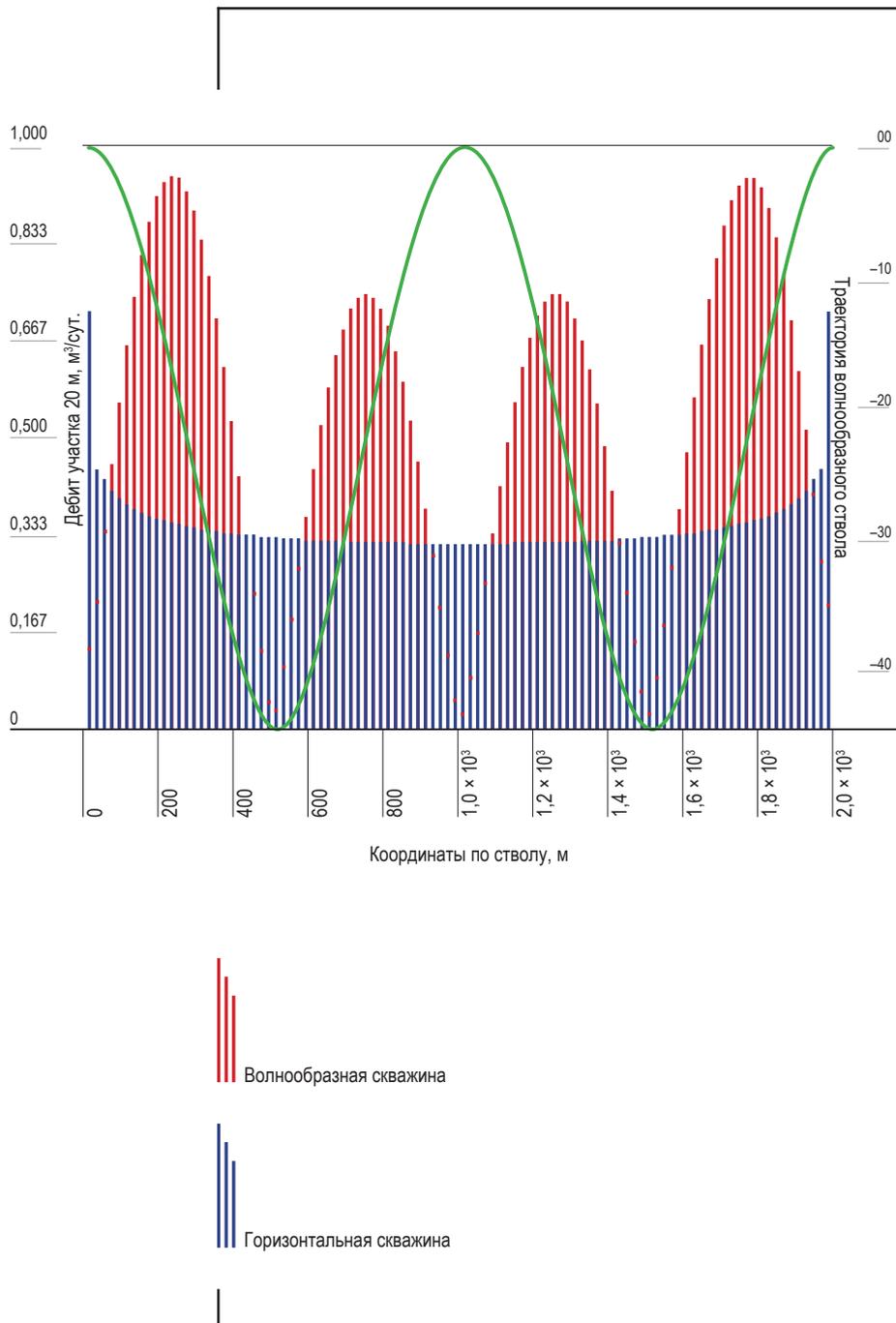


Рис. 2.

Профили притока к волнообразной и горизонтальной скважине и траектория волнообразной скважины с двумя циклами

Fig 2. Inflow profiles to undulating and horizontal wells and undulating well trajectory with two cycles

Таблица 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОФИЛЕЙ ПРИТОКА
ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ
Table 2. Initial data for calculation of inflow profiles at various vertical permeability

Параметр	Обозначение	Значение	Размерность
Расстояние до контура питания	R_k	2000	м
Динамическая вязкость нефти	μ	5	сП
Проницаемость в горизонтальном направлении	$k_x = k_y = k_z$	$15 \cdot 10^{-15}$	мкм ²
Радиус скважины	r_c	0,12	М
Давление на контуре питания	p_k	150	бар
Давление в точке входа в пласт	p_1	100	бар
Длина ствола по продуктивному пласту	L	20	м
Длина сегмента скважины	l	20	м
Количество слагаемых в ряде суммы	ε	200	ед.

Таблица 3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
Table 3. Calculation results

Отношение проницаемостей, k_v/k_v	Дебит ГС, м ³ /сут	Дебит волн., м ³ /сут	$Q_{\text{волн.}}/Q_{\text{ГС}}$
1	154	151	0,98
5	83	82	0,99
15	57	63	1,11
50	34	52	1,3
215	17	45	2,65

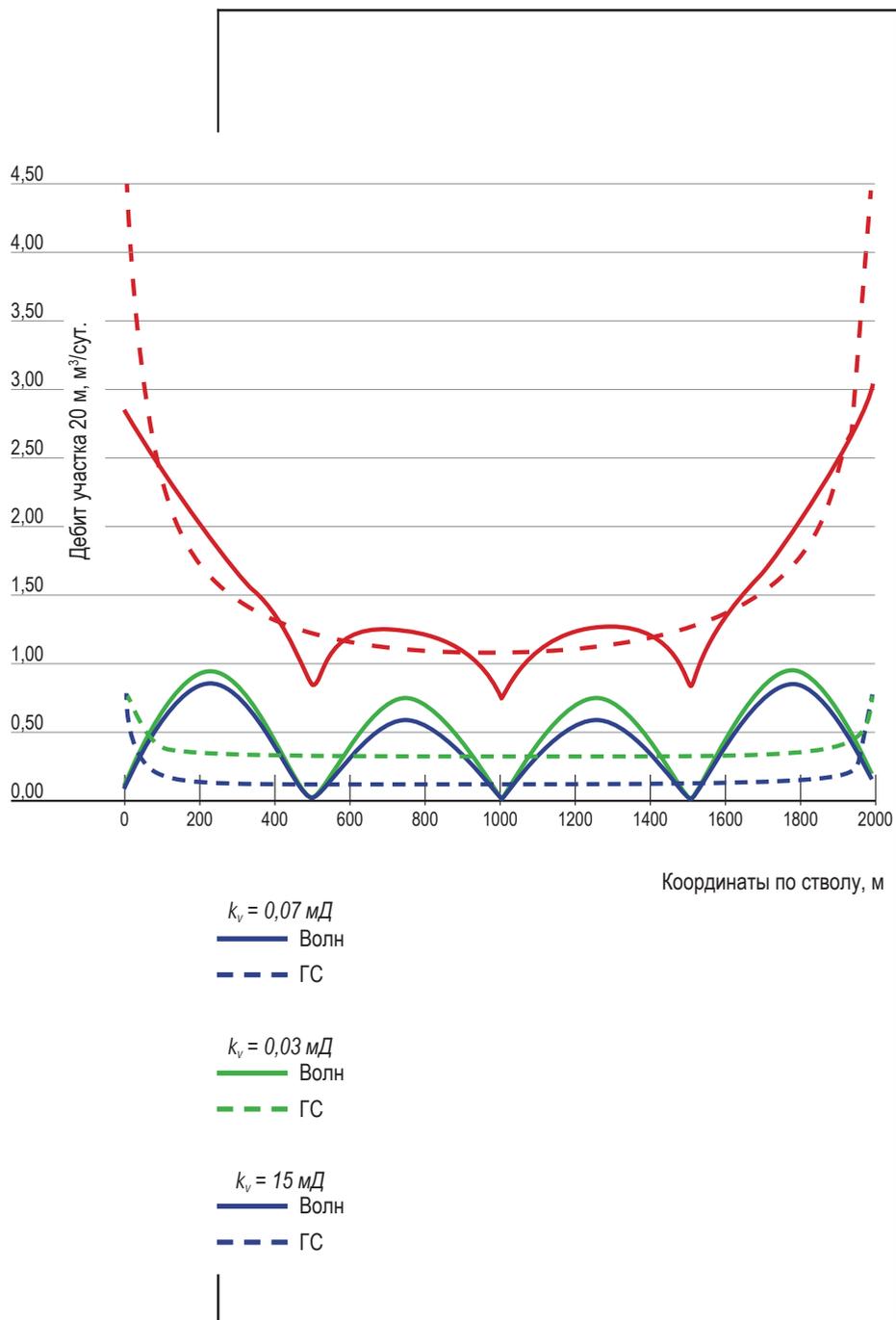


Рис. 3.

Профили притока к волнообразному и горизонтальному окончанию при различной вертикальной проницаемости.

Fig 3. Inflow profiles to undulating and horizontal terminations at different vertical permeability.

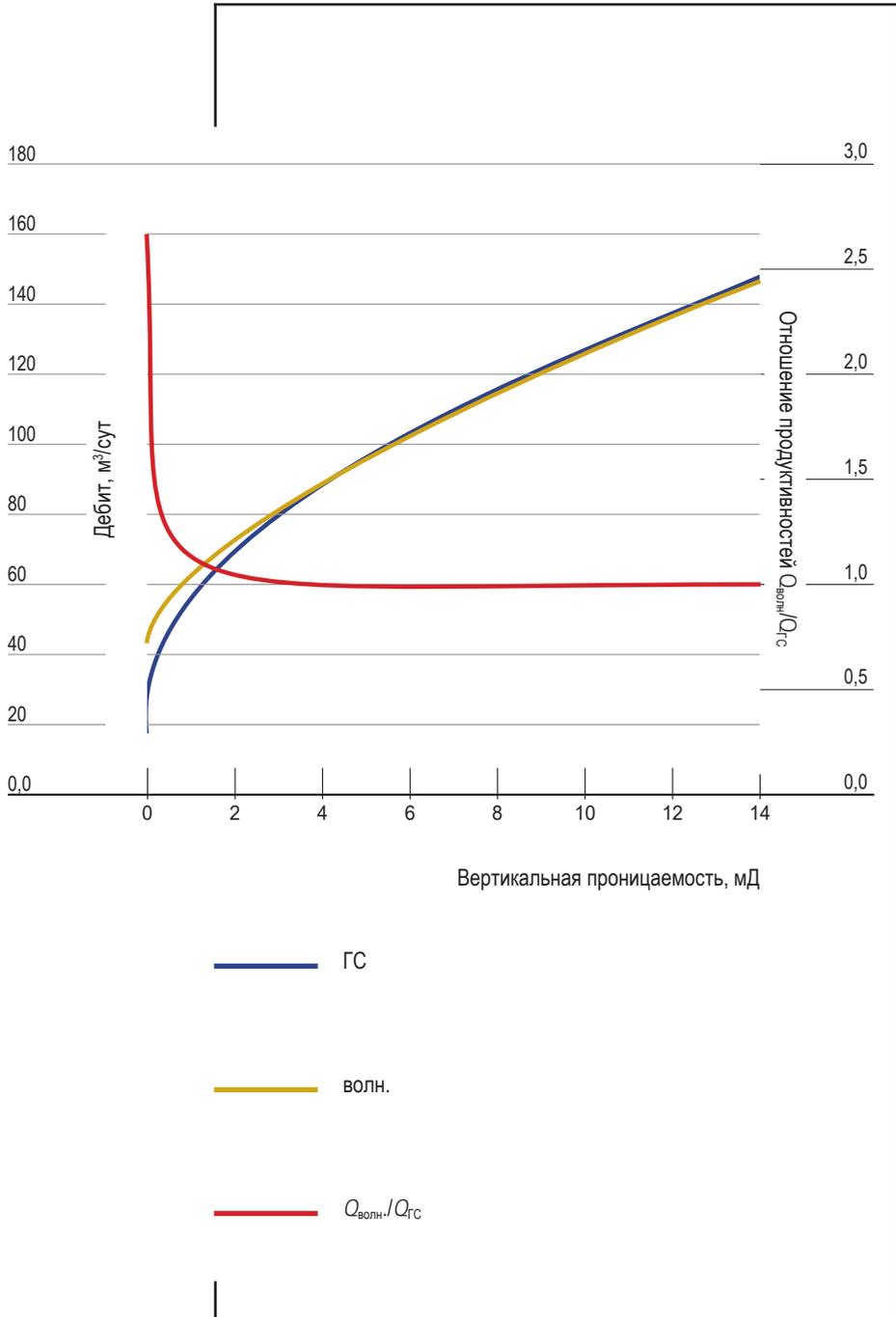


Рис. 4.

Отношения продуктивностей волнообразной и горизонтальной скважин.

Fig 4. The ratio of the productivity of undulating and horizontal wells.

бита скважины с волнообразным профилем по сравнению с горизонтальным. Это объясняется как геометрическими параметрами траектории волнообразного окончания, так и увеличением площади дренирования, особенно в вертикальном направлении. При отношении проницаемостей $k_h/k_v > 20$ наблюдается увеличение дебита скважины с волнообразной траекторией по пласту по сравнению с горизонтальной.

Рассмотрим исследование влияния количества циклов волнообразной скважины на ее продуктивность в анизотропном пласте с отношением проницаемостей $k_h/k_v = 15/0,3 = 50$ при изменении количества циклов синусоиды.

В ходе вычислительных экспериментов, результаты которых приведены на рисунке 5 и сведены в таблице 4, установлено, что с увеличением количества циклов увеличивается и эффективная площадь контакта с коллектором в вертикальном направлении, и, следовательно, увеличивается и приток к каждому сегменту ствола за исключением участков вблизи непроницаемых границ пласта. Близость к непроницаемым границам снижает дебит сегментов волно-

Таблица 4. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ДЕБИТА ПРИ РАЗЛИЧНОМ КОЛИЧЕСТВЕ ЦИКЛОВ
Table 4. The results of the calculation of the flow rate for a different number of cycles

Количество циклов синусоиды	Дебит ГС, м ³ /сут	Дебит волн., м ³ /сут	$Q_{\text{волн.}}/Q_{\text{ГС}}$
0	34,64	34,64	1
1	34,64	46,63	1,35
2	34,64	52,88	1,53
3	34,64	55,29	1,60
4	34,64	56,58	1,63

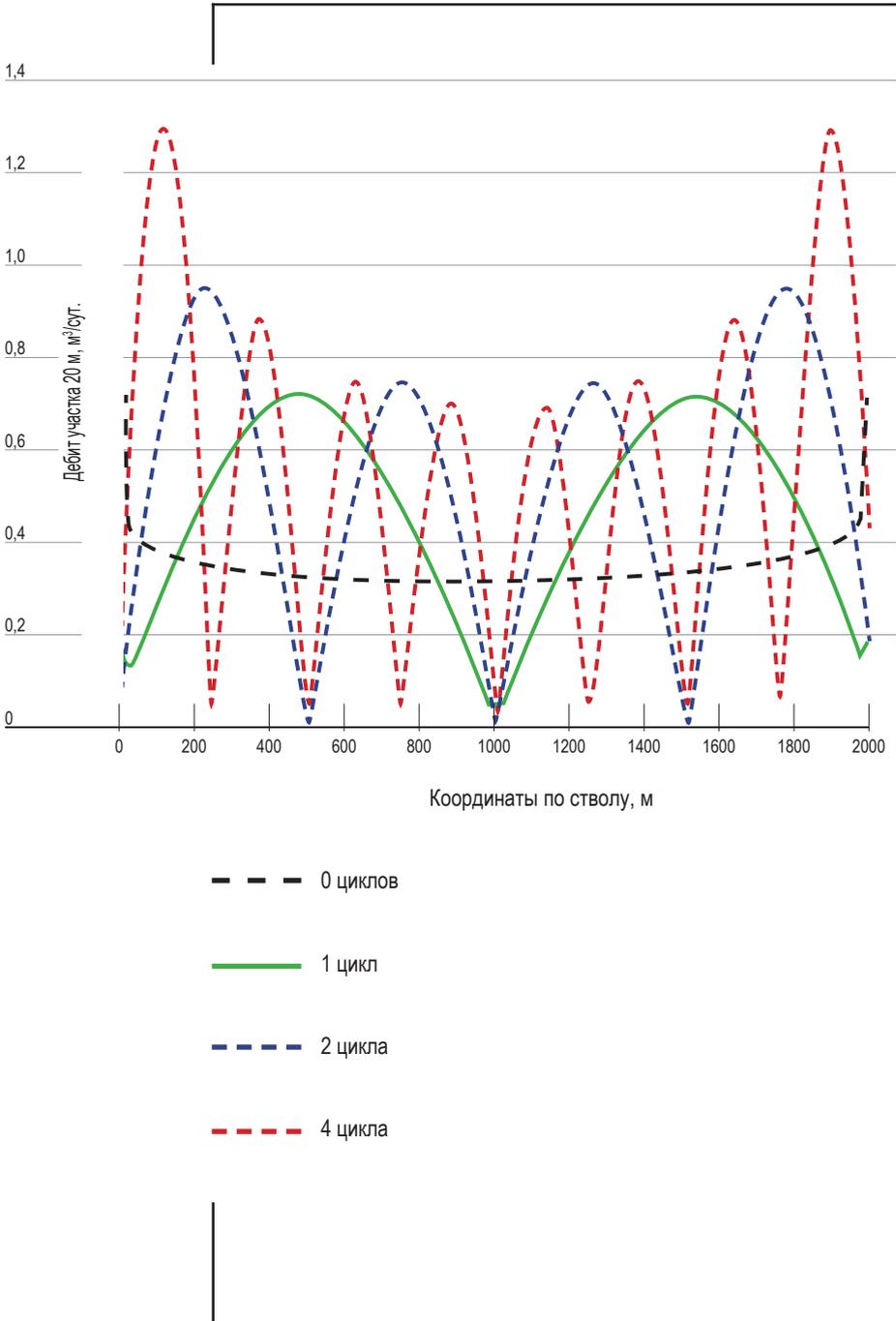


Рис. 5.

Профили притока к волнообразному и горизонтальному окончанию при различной вертикальной проницаемости.

Fig. 5. Investigation of the influence of the number of cycles of an undulating well on its productivity in an anisotropic reservoir.

образной скважины с зенитным углом близким к 90° по отношению к соответствующим участкам горизонтального ствола, однако сегменты, находящиеся в середине продуктивного пласта дают кратко большие дебиты, и в результате общая продуктивность волнообразной скважины вскрывающей пласт с низкой вертикальной проницаемостью выше чем продуктивность ствола с горизонтальной траекторией.

Однако, увеличение количества циклов волнообразного окончания не ведет к кратному увеличению дебита, так как при увеличении площади дренирования в вертикальном направлении увеличивается и интерференция между близко расположенными друг к другу сегментами скважины. Следовательно, можно рекомендовать использование 2-х или 3-х циклов волнообразного окончания [13].

Рассмотрим возможность применения однофазной модели для оценки потенциального дебита скважин с волнообразной траекторией по пласту. Для оценки скорости поднятия конуса подошвенной воды и опускания верхнего газа газовой шапки была создана секторная модель в программном комплексе tNavigator. Распределение насыщенностей на момент инициализации модели, кривые ОФП в системах «нефть-газ» (ГНК), «нефть вода» (ВНК) и траектория волнообразной скважины показаны на рисунке 7.

Расчет выполнен на период в разработки до 30 лет с шагом в 1 год. Также рассмотрен процесс конусообразования верхнего газа и подошвенной воды. Результаты распределения насыщенностей на 30 м при расчетном шаге через 30 лет после запуска модели представлено на рисунке 8.

Ввиду низкой вертикальной проницаемости скорость движения границ раздела фаз «нефть-вода» и «нефть газ» также незначительна. За 30 лет безводной эксплуатации для Среднеботуобинского месторождения конус подошвенной воды достиг колен волнообразной скважины, а газонасыщенность в призабойной зоне скважины равна 10%, что допускает совместную фильтрацию из верхней части пласта нефти и газа и не влечет за собой прорыв газа, блокирующего фильтрацию нефти.

Также возможно расположение волнообразного окончания в нижней части нефтяной оторочки, для продления времени безгазо-

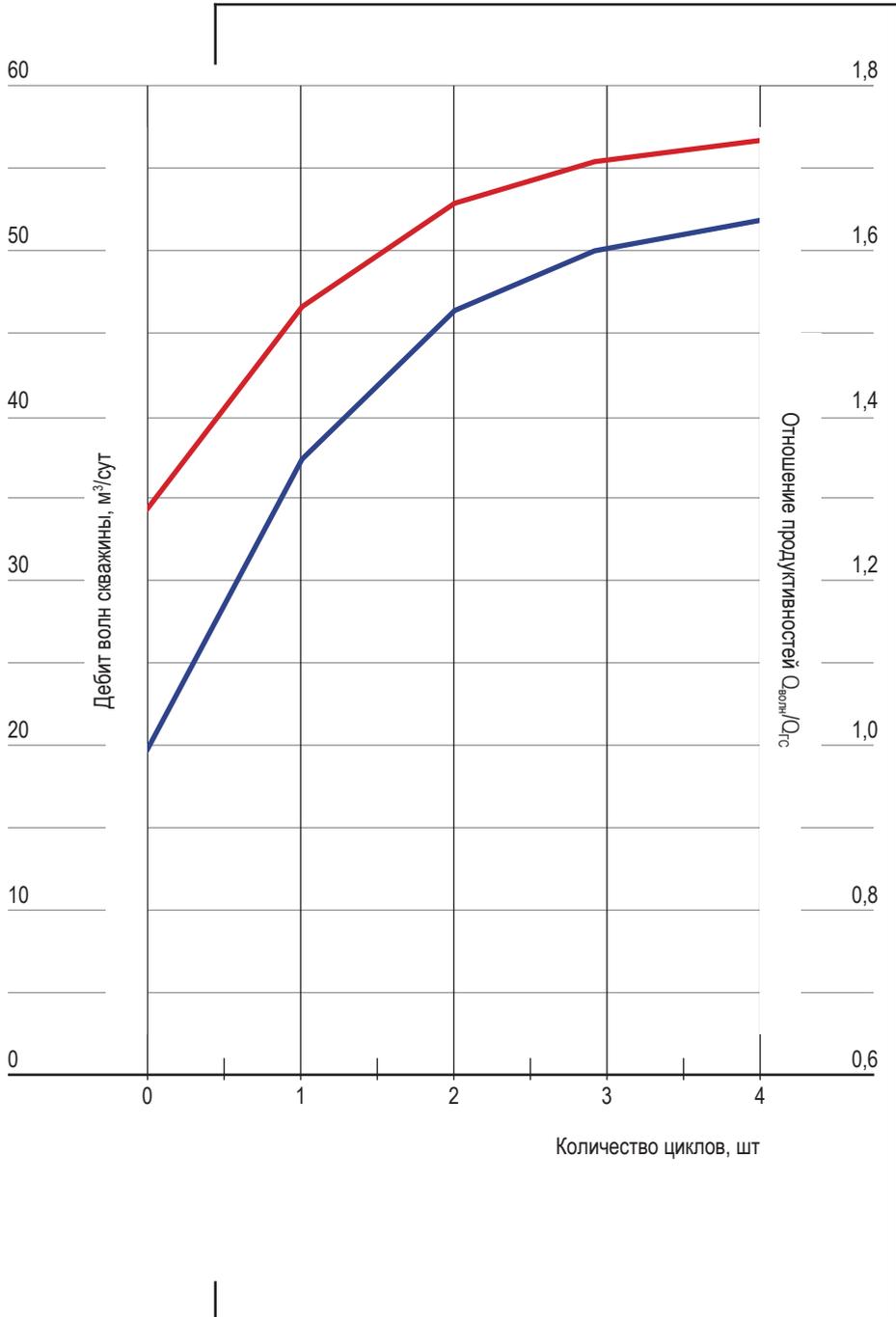


Рис. 6.

Зависимость отношения продуктивностей $Q_{волн}/Q_{гс}$ от количества циклов волнообразного окончания.

Fig. 6. Dependence of the ratio of productivity Q_{waves}/Q_{HS} on the number of cycles of undulating completion.

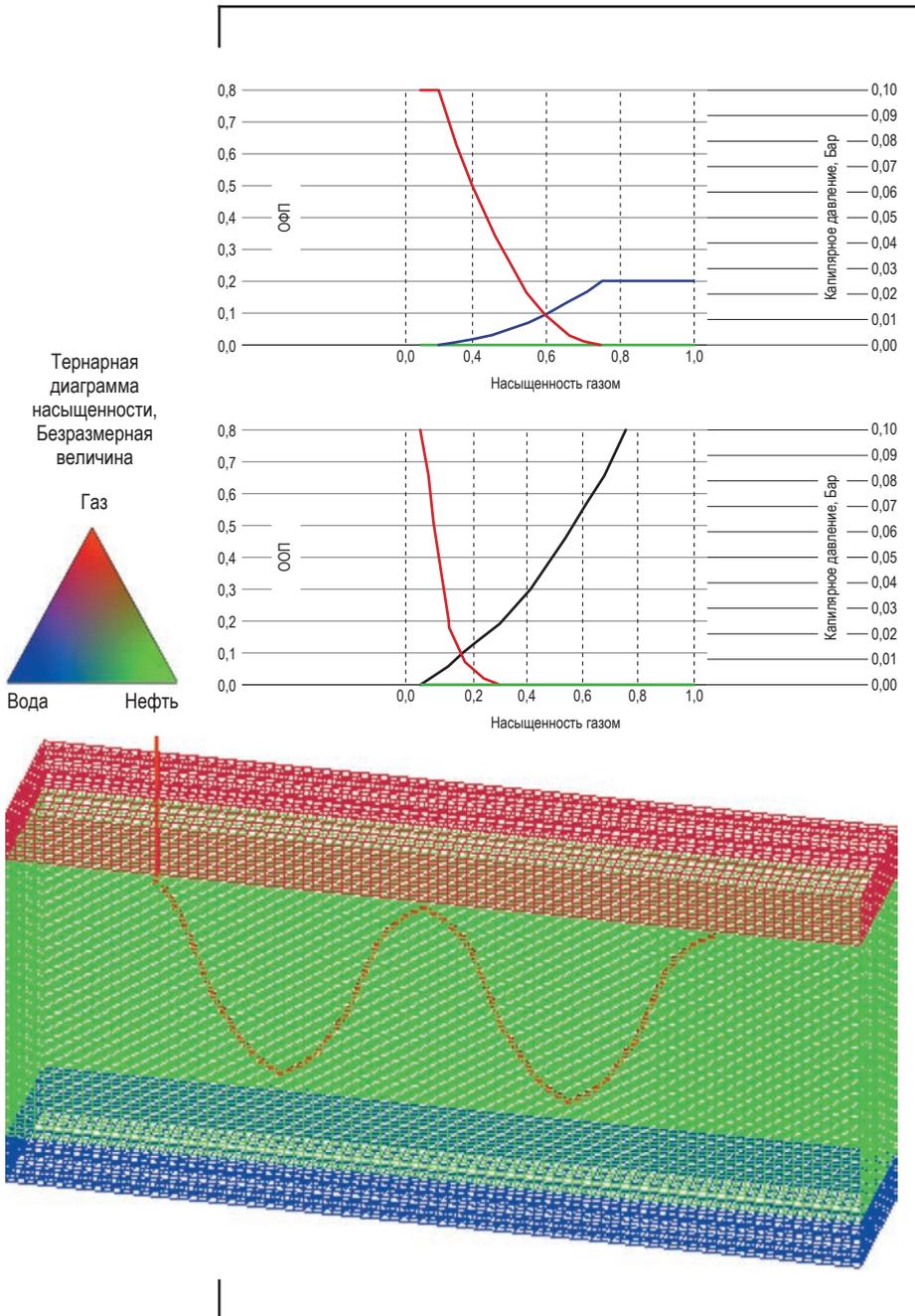


Рис 7.

Распределение насыщенностей на момент инициализации модели, кривые ОФП в системах «нефть-газ», «нефть вода» и траектория волнообразной скважины.

Fig 7. Saturation distribution at the time of model initialization, relative permeability curves in the oil-gas, oil-water systems and undulating well trajectory.

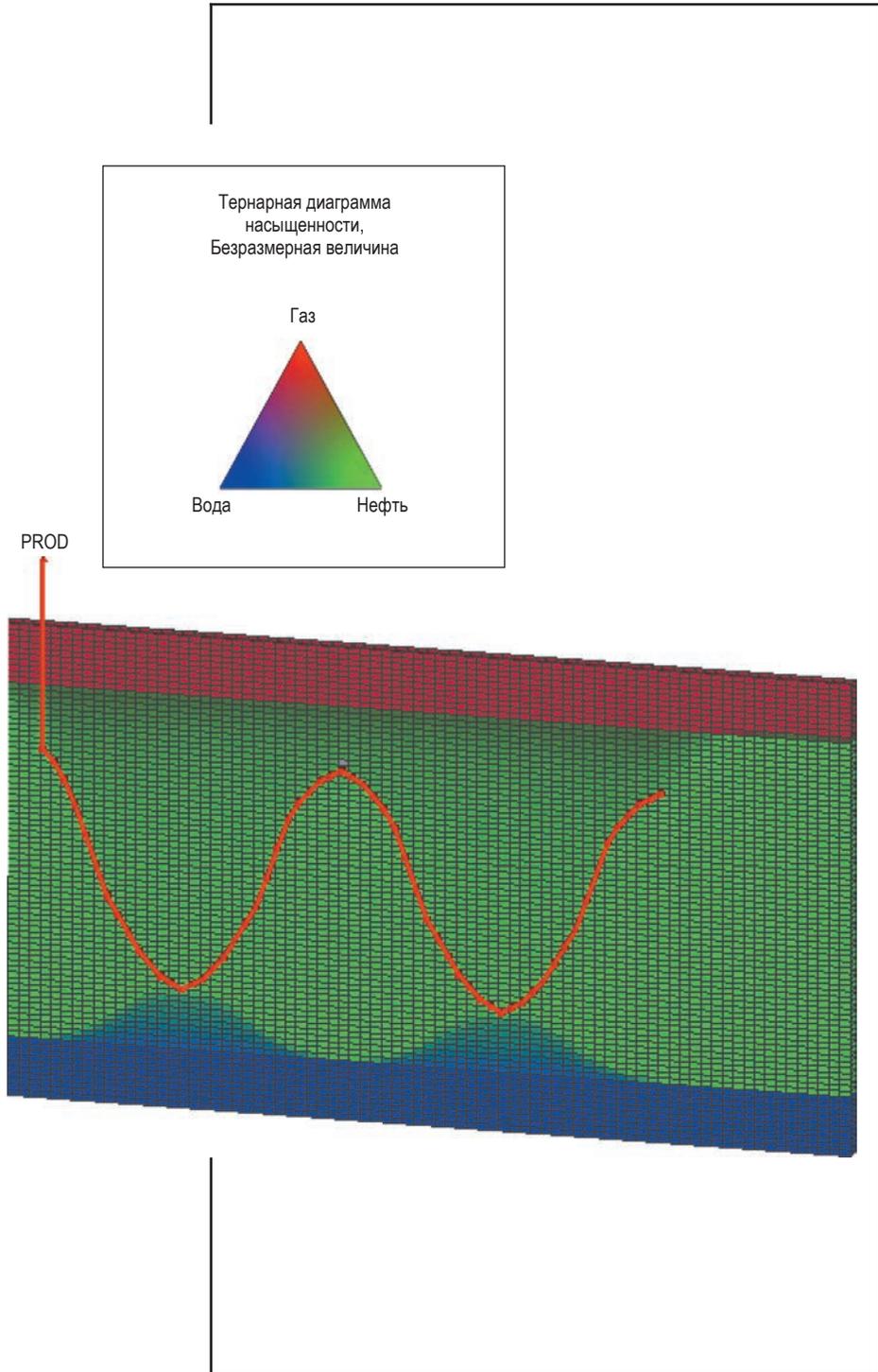


Рис. 8.

Распределение насыщенностей через 30 лет.

Fig. 8. Saturation distribution after 30 years.

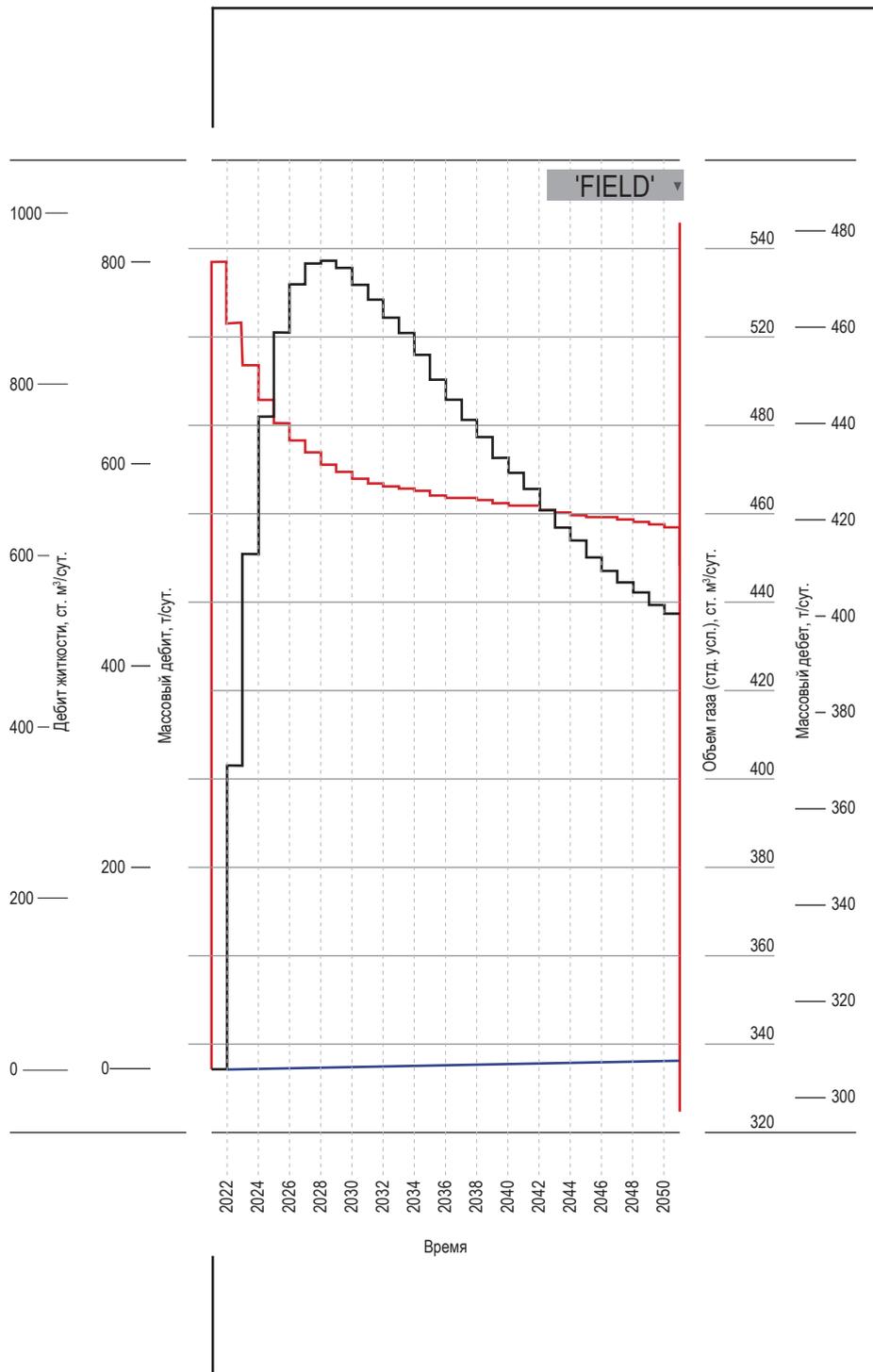


Рис. 9.

Динамика отборов пластовых флюидов за 30 лет.

Fig. 9. Reservoir fluid production dynamics over 30 years.

вой эксплуатации. Низкая скорость продвижения ВНК и ГНК позволяет применять приведенную авторами однофазную модель притока к скважине сложной геометрии для оценки ее потенциального дебита.

Выводы

Таким образом, путем численного моделирования в программном комплексе tNavigator обосновано применение скважин с волнообразным горизонтальным окончанием для условий разработки Среднеботуобинского месторождения. Установлено, что низкая вертикальная проницаемость существенно снижает скорость движения границы раздела фаз «нефть-газ» и «нефть-вода». Совместное решение уравнения распределения пластового давления и давления в стволе скважины позволяет получить систему уравнений, решением которой являются дебиты сегментов скважины.

Проведено исследование влияния анизотропии пласта с низкой вертикальной проницаемостью на отношение продуктивностей скважин с волнообразной и горизонтальной траектории по продуктивному интервалу. В однородном коллекторе профили притока к волнообразной и горизонтальной скважине практически идентичны, но с увеличением анизотропии дебит волнообразной скважины становится выше чем горизонтальной, проведенной по середине пласта. Установлено, что для соотношения горизонтальной и вертикальной проницаемостей $k_h/k_v > 20$ скважины с волнообразной траекторией работают с существенно большими дебитами, чем горизонтальные и могут быть эффективнее ГС. Предложенная модель однофазного притока позволяет прогнозировать потенциальный дебит волнообразной скважины разработке Среднеботуобинского месторождения.

Библиографический список

1. Сохошко С.К., Колев Ж.М. Приток к скважине со сложной траекторией ствола в слоистом пласте // Нефтяное хозяйство, 2014. № 10. С. 110–112.
2. Мулявин С.Ф., Колев Ж.М., Рогозина Т.В. Численно-аналитическая модель для расчета производительности не-

- фтяной скважины сложной геометрии // Естественные и технические науки, 2021. № 11. С 255–259.
3. Joshi S. D. Augmentation of well productivity with slant and horizontal wells // J. of Petrol Techn. June, 1988. P. 729–739.
 4. Economides M.J., Brand C.W., Frick T.P. Well Configurations in Anisotropic Reservoirs // SPE Formation Evaluation, 1996. No. 11(4). P. 257–262. DOI: <http://dx.doi.org/10.2118/27980-PA>.
 5. Butler R.M. Horizontal Wells for the Recovery of Oil, Gas and Bitumen, Petroleum Monograph // Petroleum Society of CIM, 1994. No. 2. P. 228–235.
 6. Furui K., Zhu D., Hill A.D. A Rigorous Formation Damage Skin Factor and Reservoir Inflow Model for a Horizontal Well // SPE Production and Facilities, 2003. No. 3. P. 151–157.
 7. Babu D. K., Odeh A.S. Productivity of Horizontal Well // SPE Reservoir Engineering, 1989. No. 4(4). P. 417–421. SPE-18334.
 8. Yula T. Optimization of horizontal well competition. Ph. D. dissertation. The university of Tulsa, 2001. 233 p.
 9. Penmatcha V. R., Aziz K. A comprehensive reservoir /wellbore model for horizontal wells, SPE India Oil and Gas Conference, New Delhi, India, 1998. SPE 39521. P. 191–204.
 10. Elizabeth G.A. Horizontal well productivity and wellbore pressure behavior incorporating wellbore hydraulics. Ph. D. dissertation. Norman, Oklahoma, 2001. 85 p.
 11. Goktas B., Ertekin T. A comparative analysis of pressure transient behavior of undulating and horizontal wells // SPE paper 81067 presented at SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Port-of-Spain, Trinidad and Tobago, 27–30 April, 2003. P. 1–8. <http://dx.doi.org/10.2118/81067-MS>.
 12. Грачев С.И., Самойлов А.С. Разработка нефтяных месторождений горизонтальными скважинами: монография. Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. 144 с.
 13. Kamkom R. Modeling performance of horizontal, undulating, and multilateral wells, Ph. D. dissertation. Texas A&M University, 2007. 69 p.

References

1. Sokhoshko S.K. Kolev Zh. M. Inflow to a well with a complex wellbore trajectory in a layered reservoir // Oil industry, 2014. No. 10. P. 110–112.

2. Mulyavin S.F., Kolev Zh.M., Rogozina T.V. Numerical-analytical model for calculating the productivity of an oil well of complex geometry // Natural and technical sciences, 2021. No. 11. P. 255–259.
3. Joshi S. D. Augmentation of well productivity with slant and horizontal wells // J. of Petrol Techn. June, 1988. P. 729–739.
4. Economides M.J., Brand C.W., Frick T.P. Well Configurations in Anisotropic Reservoirs // SPE Formation Evaluation, 1996. No. 11(4). P. 257–262. DOI: <http://dx.doi.org/10.2118/27980-PA>.
5. Butler R.M. Horizontal Wells for the Recovery of Oil, Gas and Bitumen, Petroleum Monograph // Petroleum Society of CIM, 1994. P. 228–235.
6. Furui K., Zhu D., Hill A.D. A Rigorous Formation Damage Skin Factor and Reservoir Inflow Model for a Horizontal Well // SPE Production and Facilities, 2003. No 3. P. 151–157.
7. Babu D.K., Odeh A.S. Productivity of Horizontal Well. SPE Reservoir Engineering, 1989. No. 4(4). P. 417–421. SPE-18334.
8. Yula T. Optimization of horizontal well competition. Ph. D. dissertation. The university of Tulsa, 2001. P. 233.
9. Penmatcha, V.R., Aziz K. A comprehensive reservoir /wellbore model for horizontal wells, SPE India Oil and Gas Conference, New Delhi, India, 1998. SPE 39521. P. 191–204.
10. Elizabeth G.A. Horizontal well productivity and wellbore pressure behavior incorporating wellbore hydraulics. Ph. D. dissertation. Norman, Oklahoma, 2001. 85 p.
11. Goktas B., Ertekin T. A comparative analysis of pressure transient behavior of undulating and horizontal wells // SPE paper 81067 presented at SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Port-of-Spain, Trinidad and Tobago, 27–30 April, 2003. P. 1–8. <http://dx.doi.org/10.2118/81067-MS>.
12. Grachev S.I., Samoilov A.S. Development of oil fields by horizontal wells: monograph. Tyumen: Tsogu, 2015. 144 p.
13. Kamkom R. Modeling performance of horizontal, undulating, and multilateral wells, Ph. D. dissertation. Texas A&M University, 2007. 69 p.

**Поступило в редакцию 11.05.2022,
принята к публикации 14.06.2022.**

Об авторах

- Колев** Жеко Митков, к.т.н. доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Тюменского индустриального университета.
Тел. 89048899499. E-mail: kolevzm@tyuiu.ru
- Мамчистова** Елена Ивановна, к.т.н. доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Тюменского индустриального университета.
Тел. 89224766703. E-mail: mamchistovaei@tyuiu.ru
- Скарედнов** Андрей Александрович, аспирант кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Тюменского индустриального университета.
E-mail: skarednov_a@mail.ru
- Грачева** Светлана Камилловна, к.т.н. доцент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Тюменского индустриального университета,
Тел. 83452283027. E-mail: grachevask@tyuiu.ru
- Рогозина** Татьяна Валентиновна, геолог АО Производственно-геологическое объединение «Тюменьгеология».
E-mail: rogozinatv@ingeos.ru

About the authors

- Kolev** Zheko, Ph. D., associate Professor of the Department "Development and operation of oil and gas fields" of Tyumen industrial University.
Tel. 89048899499. E-mail: kolevzm@tyuiu.ru
- Mamchistova** Elena, Ph. D., associate Professor of the Department "Development and operation of oil and gas fields" of Tyumen industrial University.
Tel. 89224766703. E-mail: mamchistovaei@tyuiu.ru
- Skarednov** Andrey, postgraduate student of the Department "Development and operation of oil and gas fields" of Tyumen industrial University.
E-mail: skarednov_a@mail.ru
- Gracheva** Svetlana, Ph. D., associate Professor of the Department "Development and operation of oil and gas fields" of Tyumen industrial University.
Tel. 83452283027. E-mail: grachevask@tyuiu.ru
- Rogozina** Tatyana, geologist JSC Production and Geological Association "Tyumengeology".
E-mail: rogozinatv@ingeos.ru

25.00.23 (1.6.12)
УДК 631.416.9

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ,
ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

**Дегтярева Т.В.,
Соляник Е.Н.,
Мельничук В.В.,
Ляшенко Е.А.**

Северо-Кавказский федеральный университет
г. Ставрополь,
Россия;
e-mail: dtb.70@mail.ru.

ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ ПОЛУПУСТЫННЫХ ЛАНДШАФТОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.2.4

Введение.

В статье рассматриваются особенности формирования микроэлементного состава почв двух ландшафтов полупустынной ландшафтной провинции Ставропольского края – Правокумско-Терского и Курско-Прикаспийского. Важность изучения микроэлементного состава почв полупустынных ландшафтов состоит в определении общих закономерностей, свойственных почвам аридных территорий в закреплении химических элементов. Низкий уровень сельскохозяйственного использования этих почв определяет слабое влияние антропогенной деятельности на трансформацию их микроэлементного состава.

Материалы и методы

исследований.

Основными методами исследования стали почвенно-геохимический, ландшафтно-геохимический, геоэкологический. Проводились полевые исследования с отбором почвенных образцов, камеральные работы с определением содержания микроэлементов (Cu, Zn, Pb, Cd) на рентгенофлуоресцентном спектрометре. Проведен анализ имеющихся научных публикаций по данной теме, позволивший дополнить фактический материал, полученный авторами.

Результаты исследований

и их обсуждение.

Установлено, что особенности формирования микроэлементного состава почв полупустынных ландшафтов Ставропольского края во многом связаны со специфическими

условиями почвообразования, присущими данной территории. Непромывной тип водного режима, засушливый климат, полупустынная полынно-злаковая растительность, высокая окарбоначенность почвенного профиля создают характерные черты каштанового типа почвообразования. Латеральная дифференциация микроэлементного состава почв полупустынных ландшафтов слабо проявляется в связи с практически полным отсутствием различий в уклоне поверхности.

Выводы.

Микроэлементному составу почв полупустынных ландшафтов Ставропольского края присущи определенные особенности, связанные с проявлением основных факторов почвообразования. Закрепление микроэлементов в почвенном профиле контролируется процессами гумусообразования под скудной полупустынной растительностью, ослабленного вертикального перемещения продуктов почвообразования в условиях непромывного водного режима, высокой окарбоначенностью и, местами, засоленностью почвенных масс.

Ключевые слова: каштановые почвы, полупустынные ландшафты, микроэлементы, тяжелые металлы.

Degtyareva T.V., North Caucasus Federal University,
Solyannik E.N., Stavropol,
Melnychuk V.V., Russia
Lyashenko E.A.

Formation of Microelement Composition of Soils of Semi-desert Landscapes of Stavropol Territory

Introduction:

The article examines the features of the formation of the microelement composition of soils of two landscapes of the semi-desert landscape province of the Stavropol Territory - Pravokum-Tersky and Kursk-Caspian. The importance of studying the microelement composition of soils of semi-desert landscapes lies in determining the general laws characteristic of soils of arid territo-

ries in fixing chemical elements. The low level of agricultural use of these soils determines the weak influence of anthropogenic activities on the transformation of their microelement composition.

**Research materials
and methods.**

The main methods of research were soil-geochemical, landscape-geochemical, geoecological. Field studies were carried out with the selection of soil samples, office work with the analysis of the content of trace elements (Cu, Zn, Pb, Cd) on an X-ray fluorescence spectrometer. An analysis of the available scientific publications on this topic was carried out, which made it possible to supplement the actual material received by the authors.

**Research results
and discussion.**

It was established that the peculiarities of the formation of the microelement composition of soils of semi-desert landscapes of the Stavropol Territory are largely related to the specific conditions of soil formation inherent in this territory. A non-washing type of water regime, an arid climate, semi-desert wormwood-cereal vegetation, a high carbonate content of the soil profile create characteristic features of the chestnut type of soil formation. Lateral differentiation of the microelement composition of soils of semi-desert landscapes is weakly manifested due to the almost complete absence of differences in surface slope.

Conclusions.

The microelement composition of soils of semi-desert landscapes of the Stavropol Territory is characterized by certain features associated with the manifestation of the main factors of soil formation. The fixation of trace elements in the soil profile is controlled by the processes of humus formation under sparse semi-desert vegetation, weakened vertical movement of soil formation products under conditions of non-washing water regime, high carbonation and, in some places, salinity of soil masses.

Key words:

chestnut soils, semi-desert landscapes, trace elements, heavy metals.

Введение

Формирование микроэлементного состава почв представляет собой важную научную проблему, при решении которой задействуются теоретические и методические наработки многих научных направлений [2, 4, 8]. Для полупустынных ландшафтов этот вопрос является слабоизученным в силу незначительного вовлечения почв в сельскохозяйственное производство и небольшого количества крупных населенных пунктов с развитой инфраструктурой. Связано это с неблагоприятными климатическими условиями, с невысоким естественным плодородием почв, с плохо развитой сетью автомобильных дорог. В тоже время, актуальность изучения микроэлементного состава почв полупустынных ландшафтов Ставропольского края определяется необходимостью понимания основных закономерностей формирования системы почвенных соединений микроэлементов (многие из которых являются тяжелыми металлами) в аридных условиях региона, занимающего важное место среди производителей продуктов питания на Северном Кавказе.

Цель исследования – на основании собственных полевых материалов и анализа литературных источников установить общие особенности формирования микроэлементного состава почв под полупустынной растительностью в восточных районах Ставропольского края. Ландшафтный подход позволяет соотнести между собой природные характеристики территории и распределение микроэлементов в почвенном покрове.

Материалы и методы исследования

В работе использованы основные методические подходы почвенно-геохимических и ландшафтно-геохимических исследований. На основании полевого отбора почвенных проб из гумусового горизонта (согласно ГОСТ 28168-89) проведены лабораторные анализы на содержание в почвенных образцах валовых форм четырех микроэлементов (Pb, Cu, Zn, Cd). Анализы выполнены в почвенно-геохимической лаборатории СКФУ на рентгенофлуоресцентном спектрометре «Xenometrix EX-Calibur» с трехкратной повторностью. Характеристика микроэлементного состава почв да-

на основе сопоставления с мировыми почвенными кларками по А.П. Виноградову [3] путем расчета кларков концентрации (КК) и кларков рассеяния (КР). Качественная характеристика микроэлементного состава почв проведена по уменьшению содержания микроэлементов в гумусовом горизонте. Статистическая обработка результатов осуществлена в программе Excel.

Важной составляющей исследования стал литературный анализ имеющихся научных публикаций по данной теме. Он позволил установить связь полученных данных по содержанию микроэлементов в почвах с другими характеристиками почвенной массы полупустынных ландшафтов, которые непосредственно влияют на особенности распределения химических элементов в профиле почв.

Результаты и обсуждение

Полупустынные ландшафты Ставропольского края занимают восточные и северо-восточные районы [10]. Почвенный покров неоднородный и представлен преимущественно комплексами каштановых почв разных подтипов с солонцами и солончаками. В пределах изученной территории Правокумско-Терского и Курско-Прикаспийского ландшафтов почвы характеризуются преобладанием темно-каштановых, каштановых и светло-каштановых подтипов различной степени засоления; солонцеватых среди них практически не встречается. Почвообразующими породами выступают карбонатные делювиальные и эолово-делювиальные лессовидные суглинки, пески; в поймах рек – засоленные аллювиально-морские отложения. Растительность образует совсем не большие запасы фитомассы (до 8,2 т/га), представлена полынью австрийской (*Artemisia austriaca*), ячменем заячьим (*Hordeum leporinum* Link), костром растопыренным (*Bromus squarrosus*), анизантой кровельной (*Anisantha tectorum*), лебедой татарской (*Atriplex tatarica*) люцерной хмелевидной (*Medicago lupulina*), тысячелистником Биберштейна (*Achillea biebersteinii*), свиноем пальчатым (*Cynodon dactylon*) [5]. Климатические условия характеризуются крайней засушливостью и малым количеством осадков (387–400 мм в год) [6]. В силу этого в профиле почв складывается стабильный непромывной тип водного режима, который затрудняет перенос продуктов почвообразова-

ния в нисходящем направлении. В местах близкого расположения грунтовых вод (в пойменной части речных долин, днищах балок) перенос продуктов почвообразования в восходящем направлении вызывает вынос солей (преимущественно сульфатов) в верхние генетические горизонты. Важным фактором, влияющим на закрепление микроэлементов в профиле почв полупустынных ландшафтов, является высокая окисленность всех генетических горизонтов [9]. Содержание карбонатов в гумусовом слое достигает 2,1–3,5 %, в горизонте Вс – 12,6–15 % [7]. Карбонаты Са способствуют сильному связыванию микроэлементов в составе бикарбонатов [8, 12], при этом металлы теряют свою миграционную подвижность в пределах вертикального профиля почв.

Изученные каштановые и темно-каштановые почвы Правокумско-Терского ландшафта отличаются более высоким содержанием гумуса (1,74–2,53 % соответственно), большим значением емкости катионного обмена (25–27 мг/экв на 100 г почвы) [7]. Реакция среды гумусового горизонта – слабощелочная с рН 7,79; вниз по почвенному профилю щелочность увеличивается до значений рН 8,24. Гранулометрический состав преимущественно среднесуглинистый с содержанием фракции физической глины до 35 %. Проявляется слабая профильная дифференциация в распределении илистой фракции, в которой преобладают минералы монтмориллонитовой группы и гидрослюды [1]. Характерна незначительная перерывность профиля почв землероями.

В пределах Курско-Прикаспийского ландшафта наиболее распространенными почвами являются светло-каштановые. Содержание гумуса в них невысокое (1,47 %), степень насыщенности основаниями составляет 17–19 мг/экв на 100 г почвы [7]. Гранулометрический состав – легкосуглинистый и супесчаный с содержанием фракции физической глины 23–19%. Для этих почв характерна щелочная реакция среды гумусовых горизонтов (рН 8,28), которая усиливается в нижней части почвенного профиля (рН 8,50) [7].

Распределение микроэлементов в профиле почв полупустынных ландшафтов контролируется непромывными условиями водного режима, относительно слабой перерывностью профиля почвенными землероями, ослабленными процессами гумусообразования и

гумусонакопления, высокой окисленностью почвенной массы всех генетических горизонтов. Из радиальных почвенно-геохимических барьеров играют роль ослабленный биогеохимический барьер в верхней части почвенного профиля, малоемкий сорбционный барьер в средней части (на глубине 40–60 см). Щелочного почвенно-геохимического барьера в различных подтипах каштановых почв не образуется в связи с высоким содержанием карбонатов по всему почвенному профилю. Для лугово-каштановых и каштаново-аллювиальных почв, сформированных в поймах рек, характерным является увеличение емкости биогеохимического барьера в силу поступления большего объема растительных остатков в условиях повышенного увлажнения. Влияние засоления (преимущественно сульфатного) не отражается на распределении микроэлементов по профилю почв, так как соли (гипс и др.) залегают на глубине 110–130 см. В случае вторичного засоления, которое развилось вследствие подъема ирригационных вод, вероятно связывание микроэлементов в составе сульфатов с образованием соединений различной степени подвижности.

Места отбора почвенных проб на территории Правокумско-Терского полупустынного ландшафта приурочены к эрозионно-аккумулятивным равнинам, на территории Курско-Прикаспийского – к низменным аллювиально-морским аккумулятивным равнинам (рис.). Содержание химических элементов (Cu и Zn) имеет большие значения в почвах Правокумско-Терского ландшафта (табл.). В то же время, для почв Курско-Прикаспийского ландшафта выявлены более высокие уровни концентрации Pb и Cd. Это связано, вероятно, с большим накоплением Pb и Cd в пределах низменных аккумулятивных равнин в результате латерального перераспределения пылеватых и илистых фракций.

Микроэлементный состав почв полупустынных ландшафтов отличается вышекларковыми (относительно мирового кларка почв) содержаниями Pb, Zn, нижекларковыми – Cd. Для Cu установлены как вышекларковые, так и нижекларковые значения. В качественном отношении микроэлементный состав почв имеет вид $Zn > Cu > Pb > Cd$.

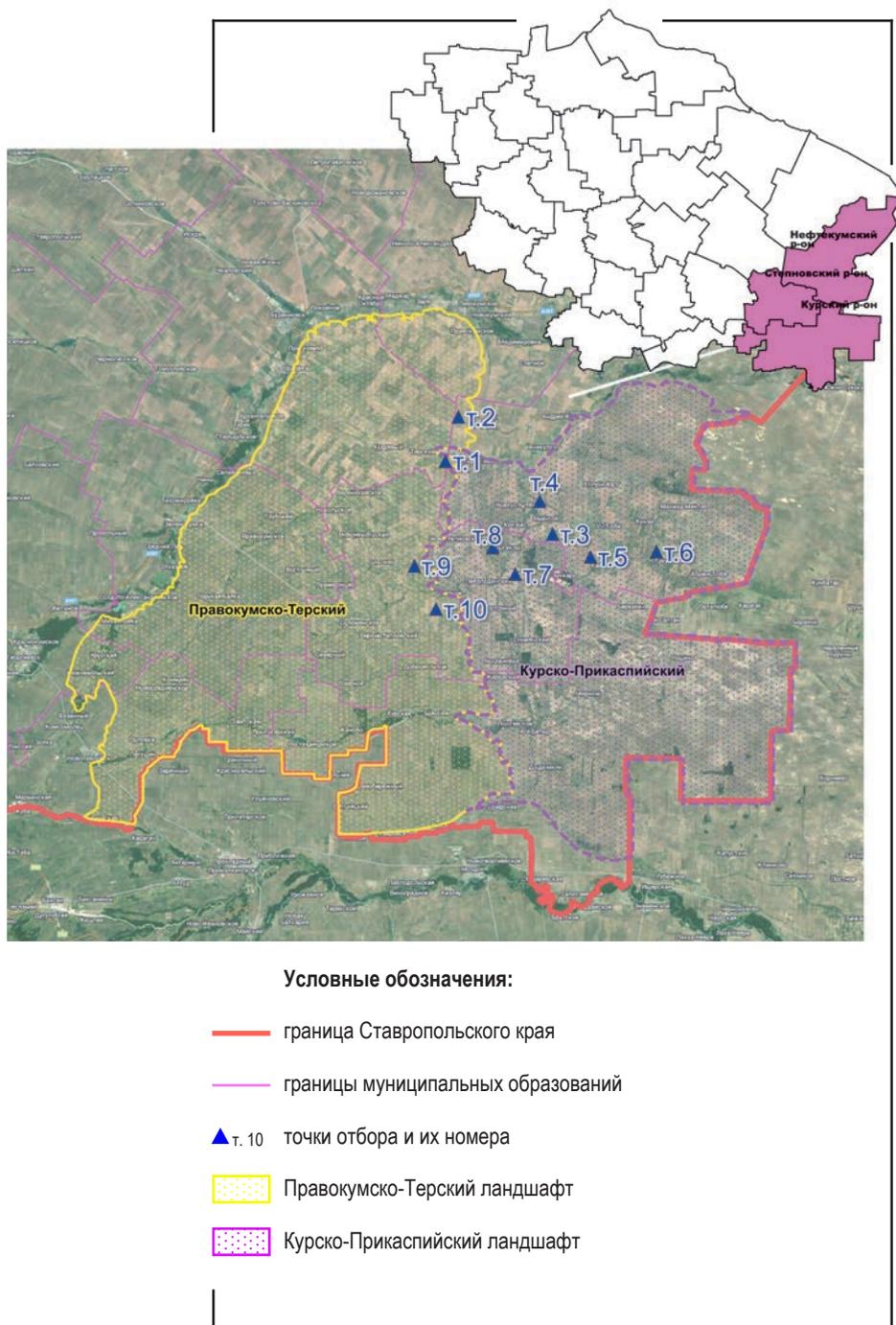


Рис. Места заложения почвенных разрезов и отбора почвенных проб на территории полупустынных ландшафтов Ставропольского края

Figure. Locations of soil cuts and soil sampling in the territory of semi-desert landscapes of the Stavropol Territory

Таблица.

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ХАРАКТЕРИСТИКА
МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ ПОЛУПУСТЫННЫХ
ЛАНДШАФТОВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯTable. Content of trace elements and characteristics of the micronutrient
composition of soils of semi-desert landscapes of the Stavropol Territory

№ почвенного разреза	Содержание микроэлементов ± погрешность, мг/кг				Качественный микроэлементный состав	Сравнение с кларком почв [2]	
	Cu	Zn	Pb	Cd		Кларк концентрации (КК)	Кларк рассеивания (КР)

ПРАВОКУМСКО-ТЕРСКИЙ ЛАНДШАФТ

1	22,5± 2,2	68,4± 6,8	17,6± 1,7	0,20± 0,03	Zn>Cu> Pb>Cd	Pb _{1,76} Zn _{1,36} Cu _{1,12}	Cd _{2,5}
2	24,8± 2,4	66,5± 6,6	19,8± 2,0	0,19± 0,03	Zn>Cu> Pb>Cd	Pb _{1,98} Zn _{1,33} Cu _{1,24}	Cd _{2,63}
9	26,5± 2,6	65,4± 6,5	22,4± 2,2	0,18± 0,02	Zn>Cu> Pb>Cd	Pb _{2,24} Zn _{1,31} Cu _{1,32}	Cd _{2,78}
10	23,4± 2,3	69,1± 6,9	21,9± 2,1	0,19± 0,03	Zn>Cu> Pb>Cd	Pb _{2,19} Zn _{1,38} Cu _{1,17}	Cd _{2,63}

КУРСКО-ПРИКАСПИЙСКИЙ ЛАНДШАФТ

3	20,8± 2,0	63,4± 6,3	16,5± 1,7	0,15± 0,01	Zn>Cu> Pb>Cd	Pb _{1,65} Zn _{1,27} Cu _{1,04}	Cd _{3,34}
4	17,4± 1,7	62,8± 6,2	17,2± 1,9	0,17± 0,02	Zn>Cu> Pb>Cd	Pb _{1,72} Zn _{1,26} Cu _{1,14}	Cd _{2,94}
5	21,8± 2,1	60,8± 6,0	15,8± 1,5	0,18± 0,02	Zn>Cu> Pb>Cd	Pb _{1,58} Zn _{1,22} Cu _{1,09}	Cd _{2,78}
6	23,1± 2,3	59,4± 5,9	15,4± 1,6	0,18± 0,02	Zn>Cu> Pb>Cd	Pb _{1,54} Zn _{1,19} Cu _{1,15}	Cd _{2,78}
7	18,5± 1,8	62,6± 6,2	16,7± 1,7	0,17± 0,02	Zn>Cu> Pb>Cd	Pb _{1,67} Zn _{1,25} Cu _{1,08}	Cd _{2,94}
8	16,4± 1,6	61,9± 6,1	17,1± 1,8	0,16± 0,01	Zn>Pb> Cu>Cd	Pb _{1,71} Zn _{1,24} Cu _{1,21}	Cd _{3,13}

Латеральное распределение микроэлементов характеризуется малой контрастностью, что связано с незначительным перераспределением почвенных масс по гипсометрически слабо выраженным элементам мезорельефа. Большее значение имеет дефляционное перемещение материала гумусовых горизонтов, обуславливающее перенос микроэлементов вместе с их фазами-носителями (илистыми частицами, соединениями почвенных минералов, органо-минеральными образованиями) [11, 13]. Происходящая при этом дифференциация отложений по химическому составу [9, 14], приводит к увеличению концентраций рассматриваемых микроэлементов в относительно слабо выраженных понижениях рельефа.

Антропогенное воздействие на почвы полупустынных ландшафтов на порядок менее интенсивное по сравнению с таковым на почвах степных ландшафтов. Его влияние на формирование микроэлементного состава почв больше проявляется в разрушении почвенной структуры. Вследствие чего происходит развевание гумусовых горизонтов. Выносятся материал верхних почвенных горизонтов, обогащенный органо-минеральными комплексами, включающими биоаккумулированные микроэлементы. Дефляционные процессы в полупустынных ландшафтах значительно усиливаются на антропогенно используемых почвах [5, 6, 10], приводя к их обеднению микроэлементами. В пределах населенных пунктов за счет выбросов автотранспорта, бытового мусора, сточных вод предприятий в почвенном покрове происходит увеличение концентраций тяжелых металлов, прежде всего Рb.

В целом, для почв полупустынных ландшафтов формирование микроэлементного состава почв определяется особенностями внешних условий и характеристиками почвенной массы. Из внешних условий существенными являются небольшое количество осадков, их ливневый характер выпадения в период вегетации, непромывной тип водного режима, незначительное количество поступающей в почву органики, интенсивные дефляционные процессы, практически отсутствие уклона поверхности. Важными характеристиками почвенной массы, влияющими на развитие системы почвенных соединений микроэлементов в почвах полупустынных ландшафтов, являются: высокое содержание карбонатов по всему

почвенному профилю; небольшая интенсивность гумификации и накопления гумуса, приводящая к невысокому закреплению микроэлементов в составе органо-минеральных комплексов; наличие малоемкого сорбционного почвенно-геохимического барьера в средней части почвенного профиля вследствие ослабленного иллювиирования; распыленность почвенной структуры в силу высокого содержания карбонатов и облегченного гранулометрического состава почв.

Сочетание внешних ландшафтных условий и внутренних характеристик почвенных масс приводит к развитию специфических особенностей формирования микроэлементного состава почв полупустынных ландшафтов. Среди них можно выделить следующие особенности: ослабленная биоаккумуляция микроэлементов в составе органо-минеральных комплексов в верхней части почвенного профиля; закрепление микроэлементов в качестве бикарбонатов по всему почвенному профилю со снижением их миграционной подвижности; незначительное накопление микроэлементов на илистых частицах в пределах сорбционного почвенно-геохимического барьера, образованного за счет процессов слабого иллювиирования; связывание микроэлементов в составе легкорастворимых солей с образованием соединений различной степени подвижности.

Выводы

Изучение особенностей формирования микроэлементного состава почв полупустынных ландшафтов Ставропольского края показало их связь с факторами почвообразования. Установлено, что на развитие системы почвенных соединений микроэлементов влияют климатические условия региона (крайне засушливый характер климата), карбонатные почвообразующие породы, скудная полупустынная растительность, отсутствие уклона поверхности, высокая интенсивность дефляционных процессов.

Антропогенная деятельность, прежде всего сельскохозяйственная, вызывает изменения в развитии природных почвенных процессов, что сказывается на формировании микроэлементного состава почв. Стабилизация почвенной структуры за счет сохране-

ния целостности растительного покрова позволит сохранить почвы полупустынных ландшафтов от стремительно развивающегося опустынивания [5, 6, 10], даст возможность восстановиться их естественному плодородию. Помимо «регенерации» почвенного покрова, снижение интенсивности антропогенного использования позволит восстановить все остальные нарушенные компоненты полупустынных ландшафтов в их первоначальном виде.

Библиографический список

1. Антыков А.Я., Стомарев А.Я. Почвы Ставрополя и их плодородие. Ставрополь: Ставропольское кн. изд., 1970. 180 с.
2. Бондарь Е.В., Харина Е.И., Гандрабура Н.И., Антонова А.В., Ставицкая А.А. Особенности накопления тяжелых металлов в системе «почва – клевер» и их влияние на микробный ценоз почвы в условиях городской среды // Наука. Инновации. Технологии, 2021. №2. С. 141–154. DOI 10.37493/2308-4758.2021.2.9.
3. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Москва: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
4. Дегтярева Т.В., Караев Ю.И., Лиховид А.А., Лысенко А.В. Микроэлементный состав дерново-карбонатных почв Северо-Западного Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий, 2021. Т. 13. №1 (47). С. 25–34. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-25-34.
5. Дзыбов Д.С. Растительность Ставропольского края. Ставрополь: АГРУС, 2018. 492 с.
6. Кулинцев В.В., Годунова Е.И., Желнакова Л.И. и др. Система земледелия нового поколения Ставропольского края. Ставрополь: «Агрус» Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2013. 520 с.
7. Куприченков М.Т., Антонова Т.Н., Симбирев Н.Ф., Цыганков А.С. Земельные ресурсы Ставрополя и их плодородие. Ставрополь, 2002. 320 с.
8. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. Ростов-на-Дону: Изд-во «Эверест», 2009. 208 с.

9. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. Москва: Изд-во «Астрей-2000», 1999. 768 с.
10. Шальнев В.А. Эволюция ландшафтов Северного Кавказа. Ставрополь. Изд-во СГУ, 2007. 309 с.
11. Acosta J.A., Martínez-Martínez S., Faz A., Arocen J. Accumulations of major and trace elements in particle size fractions of soils on eight different parent materials. *Geoderma*, 2011. V. 161. P. 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.001>.
12. Bradl H. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents // *Journal of Colloid and Interface Science*, 2004. V. 277. P. 1–18.
13. Covelo E., Vega F., Andrade M. Competitive sorption and desorption of heavy metals by individual soil components // *Journal of Hazardous Materials*, 2007. V. 140. P. 308–315.
14. Rezapour, S., Golmohammad, H. & Ramezanzpour, H. Impact of parent rock and topography aspect on the distribution of soil trace metals in natural ecosystems // *Journal of Environmental Science and Technology*, 2014. V. 11. P. 2075–2086. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0663-3>

References

1. Antykov A.Ya., Stomarev A.Ya. Stavropol soils and their fertility. Stavropol: Stavropol publishing house, 1970. 170 p.
2. Bondar E.V., Kharina E.I., Gandraburova N.I., Antonova A.V., Stavitskaya A.A. Features of the accumulation of heavy metals in the “soil – clover” system and their impact on soil microbial cenosis in an urban environment // *Nauka. Innovation. Technology*, 2021. No. 2. P. 141–154. DOI 10.37493/2308-4758.2021.2.9.
3. Vinogradov A.P. Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1957. 238 p.
4. Degtyareva T.V., Karaev Yu.I., Likhovid A.A., Lysenko A.V. Microelement composition of sod-carbonate soils of the North-Western Caucasus // *Sustainable development of mountain territories*, 2021. Vol. 13. No. 1 (47). P. 25–34. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-25-34.
5. Dzybov D.S. Vegetation of the Stavropol Territory. Stavropol: AGRUS, 2018. 492 p.

6. Kulintsev V.V., Godunova E.I., Zhelnakova L.I. et al. The system of agriculture of the new generation of the Stavropol territory. Stavropol: AGRUS of the Stavropol State Agrarian University, 2013. 520 p.
7. Kuprichenkov M.T., Antonova T.N., Simbirev N.F., Tsygankov A.S. Stavropol land resources and their fertility, Stavropol, 2002. 320 p.
8. Minkina T.M., Motuzova G.V., Nazarenko O.G. Composition of heavy metal compounds in soils. Rostov-on-Don: Publishing house "Everest", 2009. 208 p.
9. Perelman A.I., Kasimov N.S. Geochemistry of landscape. M.: Publishing house "Astraea-2000", 1999. 678 p.
10. Shalnev V.A. Evolution of landscapes of the North Caucasus. Stavropol. SSU Publishing House, 2007. 309 p.
11. Acosta J.A., Martínez-Martínez S., Faz A., Arocen J. Accumulations of major and trace elements in particle size fractions of soils on eight different parent materials. *Geoderma*, 2011. Vol. 161. P. 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.001>.
12. Bradl H. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents // *Journal of Colloid and Interface Science*, 2004. V. 277. P. 1–18.
13. Covelo E., Vega F., Andrade M. Competitive sorption and desorption of heavy metals by individual soil components // *Journal of Hazardous Materials*, 2007. V. 140. P. 308–315.
14. Rezapour, S., Golmohammad, H. & Ramezanpour, H. Impact of parent rock and topography aspect on the distribution of soil trace metals in natural ecosystems // *Journal of Environmental Science and Technology*, 2014. Vol. 11. P. 2075–2086. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0663-3>.

**Поступило в редакцию 21.03.2022,
принята к публикации 20.05.2022.**

Об авторах

Дегтярева Татьяна Васильевна – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и кадастров, Институт наук о Земле Северо-Кавказского федерального университета.

Телефон: 89054971828.

E-mail: dtb.70@mail.ru

Соляник Екатерина Николаевна – аспирант 3 года обучения кафедры физической географии и кадастров, Институт наук о Земле Северо-Кавказского федерального университета.

Телефон: 89187828346.

E-mail: katerina_stepnoe@mail.ru

Мельничук Виктория Викторовна – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и кадастров, Институт наук о Земле Северо-Кавказского федерального университета.

Телефон: 89064132447.

E-mail: vita2783@mail.ru

Ляшенко Екатерина Александровна – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и кадастров, Институт наук о Земле Северо-Кавказского федерального университета.

Телефон: 89064785675.

E-mail: ljashenko_ekaterina@mail.ru

About the authors

Degtyareva Tatyana Vasilyevna, candidate of geographical sciences, associate Professor of the Department of physical geography and cadastre North Caucasus Federal University.

Phone: 89054971828.

E-mail: dtb.70@mail.ru

Solyannik Ekaterina Nikolaevna – graduate student of 3 years of training in the Department of Physical Geography and Cadastre,

Institute of Earth Sciences of the North Caucasus Federal University.

Phone: 89187828346.

E-mail: katerina_stepnoe@mail.ru

Melnichuk Victoria Viktorovna – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Cadastre, Institute of Earth Sciences of the North Caucasus Federal University.

Phone: 89064132447.

E-mail: vita2783@mail.ru

Lyashenko Ekaterina Alexandrovna – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Cadastre, Institute of Earth Sciences of the North Caucasus Federal University.

Phone: 89064785675.

E-mail: ljashenko_ekaterina@mail.ru

25.00.23 (1.6.12)
УДК 599.323:616

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ,
ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

- Герасименко Е.В.**, Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора, г. Ставрополь, Россия;
- Газиева А.Ю.**, Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора, г. Ставрополь, Россия;
- Халидов А.Х.**, Дагестанская противочумная станция Роспотребнадзора, г. Махачкала, Россия;
- Кесьян А.А.**, Дагестанская противочумная станция Роспотребнадзора, г. Кизляр, Россия

БИОТОПИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЛКИХ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ В ПРИКАСПИЙСКОМ- ПЕСЧАНОМ ПРИРОДНОМ ОЧАГЕ ЧУМЫ

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.2.5

- Введение.** Территория Прикаспийского песчаного очага (43) занимает восточную часть Северо-Западного Прикаспия, начиная с низовьев Волги на северо-востоке до низовьев Терека на юге, восточной границей очага является береговая линия Каспийского моря. В ландшафтном отношении территория представляет собой наклонную в сторону моря слабохолмистую, почти плоскую равнину.
- Материалы и методы**
исследования. Работа основана на анализе результатов многолетнего эпизоотологического мониторинга за период 2010–2020 гг., проведенного в Прикаспийском песчаном очаге чумы специалистами «Кизлярского и Буденновского противочумного отделения» ФКУЗ «Дагестанской противочумной станции» Роспотребнадзора.
- Результаты.** Экосистемы ЛЭР «Кизлярская степь» и «Ногайская степь» различаются как по количеству видов мелких мышевидных грызунов, так и по приуроченности их к биотопам. Фауна мышевидных грызунов в ЛЭР «Кизлярская степь» эвритопна, ЛЭР «Ногайская степь» представлена шестью видами из которых эвритопны только два: общественная полевка и домовая мышь. Фауна мышевидных грызунов общая в ландшафтно-климатических районах «Ногайской и Моздокской степи СК», большинство видов эвритопны, хотя каждый вид имеет свои изблюбленный биотоп, с более выраженной приуроченностью.
- Выводы.** Данные расчеты позволят оптимизировать работу эпизоотологического обследования территории Прикаспийского песчаного очага.
- Ключевые слова:** ландшафтно-экологических районов (ЛЭР), ландшафтно-климатический район, чума, второстепенные носители, биотоп, биотопическая приуроченность, мелкие млекопитающие.

- Gerasimenko E.V.**, Stavropol Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor, Stavropol, Russia;
- Gazieva A.Yu.**, Stavropol Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor, Stavropol, Russia;
- Khalidov A.H.**, Dagestan anti-plague station” of Rospotrebnadzor, Makhachkala, Russia;
- Kesyan A.A.**, Dagestan anti-plague station” of Rospotrebnadzor, Kizlyar, Russia

Biotope distribution of small mouse-like rodents in the Caspian-sandy natural plague center

Introduction. The territory of the Caspian sandy hearth (43) occupies the eastern part of the Northwestern Caspian Sea, starting from the lower reaches of the Volga in the northeast to the lower reaches of the Terek in the south, the eastern boundary of the hearth is the coastline of the Caspian Sea. In landscape terms, the territory is a slightly hilly, almost flat plain inclined towards the sea.

Materials and methods of research.

The work is based on the analysis of the results of long-term epizootological monitoring for the period 2010–2020, conducted in the Caspian sandy plague outbreak by specialists of the Kizlyar and Budyonnovsky anti-plague department of the Dagestan Anti-Plague Station of Rospotrebnadzor.

Results.

The ecosystems of the LEHR “Kizlyar Steppe” and “Nogai Steppe” differ both in the number of species of small mouse-like rodents and in their association with biotopes. The fauna of mouse-like rodents in the LEHR “Kizlyar Steppe” is eurytopic, the LEHR “Nogai Steppe” is represented by six species of which only two are eurytopic: the public vole and the house mouse. The fauna of mouse-like rodents is common in the landscape and climatic regions of the “Nogai and Mozdok steppe of the UK”, most species are eurytopian, although each species has its own favorite biotope, with a more pronounced confinement.

Conclusions.

These calculations will optimize the work of epizootological examination of the territory of the Caspian sandy hearth.

Key words:

landscape-ecological areas (LER), landscape-climatic area, plague, secondary carriers, biotope, biotopic confinement, small mammals.

Введение

Территория Прикаспийского песчаного очага (43) занимает восточную часть Северо-Западного Прикаспия, начиная с низовьев Волги на северо-востоке до низовьев Терека на юге, восточной границей очага является береговая линия Каспийского моря. В ландшафтном отношении территория представляет собой наклонную в сторону моря слабохолмистую, почти плоскую равнину [1, 6].

Территория очага (43) по ландшафтно-экологическим условиям делится на ряд участков, таких как Прикумские пески, Бажиганские пески, Тереклинские пески Полунно-солянковая полупустыня, которые в сумме образуют Ногайскую степь. Юг территории занимает крупный массив Терских песков, а восток – Кизлярская степь, включающаяся в себя узкую полосу Приморских или Крайновских песков [5, 10].

Ставропольская часть природного очага разделена на три ландшафтно-климатических района: Кумо-Манычскую, Ногайскую и Моздокскую степи. Территория Ногайской степи Ставропольского края (СК) охватывает собой пространство от реки Кума на севере до Караногайского коллектора на юге, включает в себя Нефтекумский район и отдельные территории Левокумского района (СК). Данный район почти пополам делится р. Горькая Балка и Сухокумским каналом, в окрестностях, которых имеется много заболоченных и периодически затапливаемых участков с характерной пойменно-болотной растительностью [6, 10].

Территория Моздокской степи (СК) охватывает собой пространство от Караногайского коллектора на севере до канала им. Ленина на юге, включает в себя часть Курского района и часть территории Степновского района СК. Почти половину площади Моздокской степи занимают агроландшафты. Практически вся территория расположена в крайне-засушливой климатической зоне, и только юго-западная оконечность (западная половина Терских песков Курского района и Иргаклинские пески) заходит в засушливую зону [10]. Ландшафтно-климатический район Кумо-Манычской степи не рассматривали.

Основными носителями микроба чумы на территории очага являются полуденная (*Meriones meridianus*) и гребенщикова песчан-

ки (*Meriones tamariscinus*) малый суслик (*Spermophilus pygmaeus*). Однако, в отдельные годы в эпизоотический процесс вовлекались серый хомячок (*Cricetulus migratorius*), обыкновенная (*Microtus arvalis*) и общественная полевки (*Microtus socialus*), домовая мышь (*Mus musculus*) и полевая мышь (*Apodemus agrarius*). Поэтому изучение биотопического распределения второстепенных носителей является актуальным [4, 9].

Особо важную роль в существовании других природно-очаговых инфекций играют, как правило, фоновые виды мышевидных грызунов (обычно выступающие основными носителями возбудителя), которые с наибольшим постоянством принимают участие в развитии эпизоотий и поддержании очаговости. Грызуны служат и главными прокормителями разнообразных кровососущих членистоногих – переносчиков (а порой и длительных хранителей) возбудителя [3, 5].

Цель работы – сравнить *степень биотопической приуроченности* мелких мышевидных грызунов на территориях ландшафтно-экологических районов (ЛЭР) «Ногайской» и «Кизлярской» степи и ландшафтно-климатических районов «Ногайской» и «Моздокской» степей (СК).

Материалы и методы исследования

Работа основана на анализе результатов многолетнего эпизоотологического мониторинга за период 2010–2020 гг., проведенного в Прикаспийском песчаном очаге чумы специалистами «Кизлярского и Буденновского противочумного отделения» ФКУЗ «Дагестанской противочумной станции» Роспотребнадзора. Учет численности мелких млекопитающих на территориях проводился весной и осенью на различных биотопах.

Для оценки избирательности вида при выборе им местообитаний был рассчитан средний показатель численности по видам и показатель степени биотопической приуроченности за данный период в отдельном взятом биотопе. Статистическая обработка осуществлялась с помощью Microsoft Office Excel. Использовали показатель степени биотопической приуроченности, предложенный (Ю.А. Песенко, 1982). Формула показателя следующая:

$$F_{ij} = (n_{ij} \times N - n_i \times N_j) / (n_{ij} \times N + n_i \times N_j - 2n_{ij} \times N_j),$$

где n_{ij} – число особей i -го вида в j -й выборке (биотопе) объемом N_j ,
 n_i – число особей этого вида во всех сборах общим объемом N .

Значение показателя F_{ij} больше нуля интерпретируется как проявление видом определенных предпочтений к данному типу местообитания, где он встречается регулярно, а меньше нуля – как отсутствие явных предпочтений. Чем сильнее отклонение показателя от нуля, тем больше приуроченность или избегание. Значение «+ 1» принимается, когда вид встречается исключительно в данном типе пространства, «- 1» – вид полностью избегает его, а «0» – вид к нему «безразличен» [11].

Результаты и обсуждение

Известно, что распределение вида по биотопам зависит от многих факторов: от обеспечения пищей, которая отвечает требованиям вида, наличие укрытий, взаимоотношений с другими видами, входящими в сообщество данного биотопа [8].

Ниже (таб. 1 и 2) представлен анализ среднего процента попадания и показатель приуроченности вида за многолетний период для ЛЭР «Кизлярская степь» и «Ногайская степь». На территории ЛЭР «Кизлярская степь» в отловах зафиксировано три вида мышевидных грызунов: общественная полевка, домовая и малая лесная мыши. Биотопы: «берега рек и каналов»; «бурьяны»; «пески»; «лес, кустарники».

На территории ЛЭР «Ногайская степь» три вышеперечисленных вида мышевидных грызунов, а также обыкновенная полевка, серый хомячок и полевая мышь. Биотопы: «берега рек и каналов»; «бурьяны»; «пески»; «лес, кустарники»; «бахча». В ЛЭР «Ногайская степь» присутствуют стенотопные виды: общественная полевка имеет некоторую приуроченность к биотопам «берега рек и каналов» $F_{ij} = 0,4$ и «пески» $F_{ij} = 0,5$, избегает биотопа «бурьяны» $F_{ij} = -0,4$ и «бахча» $F_{ij} = -0,25$. Малая лесная мышь

Таблица 1. ПОКАЗАТЕЛЬ БИОТОПИЧЕСКОЙ ПРИУРОЧЕННОСТИ ВИДОВ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОТЛОВОВ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ (I) НА ТЕРРИТОРИИ ПРИКАСПИЙСКОГО ПЕСЧАНОГО ОЧАГА ЛЭР «КИЗЛЯРСКАЯ СТЕПЬ» НА РАЗЛИЧНЫХ БИОТОПАХ (J)

Виды (i)	Биотопы (j) (кизлярская степь) средний процент попадания за многолетний период				
	Берега рек и каналов	Бурьяны	Пески	Лес, кустарники	Сумма ($\sum p_i$)
Полевка общественная	1	1,2	0,45	0,9	3,55
Мышь домовая	12,7	8,2	3,2	3,7	27,8
Мышь малая лесная	1,1	0,9	0,285	0,6	2,885
Сумма (N_j)	14,8	10,3	3,935	5,2	34,235

Таблица 2. ПОКАЗАТЕЛЬ БИОТОПИЧЕСКОЙ ПРИУРОЧЕННОСТИ ВИДОВ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОТЛОВОВ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ (I) НА ТЕРРИТОРИИ ПРИКАСПИЙСКОГО ПЕСЧАНОГО ОЧАГА ЛЭР «НОГАЙСКАЯ СТЕПЬ» НА РАЗЛИЧНЫХ БИОТОПАХ (J)

Виды (i)	Биотопы (j) (ногайская степь) средний процент попадания за многолетний период					
	Берега рек и каналов	Бурьяны	Пески	Лес, кустарники	Бахча	Сумма ($\sum p_i$)
Полевка общественная	1,1	0,5	0,45	0,6	0,9	3,55
Мышь домовая	3,9	9,2	1	5	12,7	31,8
Мышь малая лесная	0,35	0,31	–	–	–	0,66
Мышь полевая	0,08	0,02	–	–	–	0,1
Хомячок серый	0,15	0,02	0,27	0,1	–	0,54
Обыкновенная полевка	0,2	–	–	0,1	–	0,3
Сумма (N_j)	5,78	10,05	1,72	5,8	13,3	36,65

Table 1. The indicator of the biotopic confinement of species by the results of trapping small mammals (i) on the territory of the Caspian sandy hearth of the LER "Kizlyar steppe" on various biotopes (j)

	Приуроченность Fij (кизлярская степь)			
	Берега рек и каналов	Бурьяны	Пески	Лес, кустарники
	-0,3	0,08	0,06	0,3
	-0,05	-0,01	0,005	-0,07
	-0,09	0,05	-0,03	0,2
	-	-	-	-

Table 2. The indicator of the biotopic confinement of species by the results of trapping small mammals (i) on the territory of the Caspian sandy hearth of the LER "Nogai steppe" on various biotopes (j)

	Приуроченность Fij (ногайская степь)				
	Берега рек и каналов	Бурьяны	Пески	Лес, кустарники	Бахча
	0,4	-0,4	0,5	0,04	-0,25
	-0,13	0,03	-0,2	-0,03	0,07
	0,7	0,4	-	-	-
	0,9	-0,2	-	-	-
	0,4	-0,8	0,9	0,08	-
	0,8	-	-	0,4	-
	-	-	-	-	-

имеет выраженную приуроченность к биотопу «берега рек и каналов» $F_{ij} = 0,7$ и, в меньшей степени, к биотопу «бурьяны» $F_{ij} = 0,4$. В остальных биотопах этот вид отсутствует. Полевая мышь имеет выраженную приуроченность к биотопу «берега рек и каналов» $F_{ij} = 0,9$, избегает биотоп «бурьяны» $F_{ij} = -0,2$, в остальных отсутствует. Серый хомячок имеет выраженную приуроченность к биотопу «пески» $F_{ij} = 0,9$, в меньшей степени «берега рек и каналов» $F_{ij} = 0,4$, избегает биотоп «бурьяны» $F_{ij} = -0,8$. Обыкновенная полевка имеет выраженную приуроченность к биотопу «берега рек и каналов» $F_{ij} = 0,8$, в меньшей степени к биотопу «лес, кустарники» $F_{ij} = 0,4$. В остальных биотопах не обнаружена. Два вида: полевка общественная и мышь домовая, эвритопны. Все виды, кроме домовой мыши, в той или иной степени приурочены к биотопу «берега рек и каналов».

Фауна мышевидных грызунов ЛЭР «Кизлярская степь» вдвое беднее, чем в ЛЭР «Ногайская степь». Общественная полевка, ма-

Таблица 3. ПОКАЗАТЕЛИ БИОТОПИЧЕСКОЙ ПРИУРОЧЕННОСТИ (F_{ij}) ПО ВИДАМ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИКАСПИЙСКОГО ПЕСЧАНОГО ОЧАГА ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ «НОГАЙСКОЙ И МОЗДОКСКОЙ СТЕПИ СК»

Виды (i)	Приуроченность F_{ij} (ногайская степь СК)						
	Лес, кустарники	Берега рек и каналов	Пески	Полынно- злаковая степь	Стерня, пахота	Поливные плантации	Бурьяны
Полевка обыкновенная	-0,04	-0,3	0,05	0,4	–	–	0,06
Мышь домовая	-0,2	0,06	0,009	-0,4	0,4	0,4	0,04
Мышь малая лесная	0,7	0,5	–	–	–	–	–
полевка общественная	-0,005	0,8	0,3	–	–	–	–

лая лесная и домовая мыши в ЛЭР «Кизлярская степь» эвритопны, хотя общественная полевка и мышь малая лесная все же избегает биотопа «берега рек и каналов» $F_{ij} = -0,3$ и $F_{ij} = -0,09$ и отдает некоторое предпочтение биотопу «лес и кустарники» $F_{ij} = 0,3$ и $F_{ij} = 0,2$ соответственно. Показатели F_{ij} варьируют от $-0,09$ до $0,3$ по всем биотопам.

Ниже (таб. 3) представлен анализ данных показателя биотопической приуроченности вида за многолетний период для ландшафтно-климатических районов «Ногайской и Моздокской степи СК». Фауна мышевидных грызунов «Ногайской и Моздокской степи СК» идентична в отловах отмечено четыре вида мышевидных грызунов: общественная и обыкновенная полевки, домовая и малая лесная мыши. Биотопы: «берега рек и каналов», «бурьяны», «пески», «лес, кустарники», «попынно-злаковая степь», «стерня, пахота», «поливные плантации». В «Моздокской степи» помимо перечисленных еще «целина, залеж», «посевы кормовых».

Table 3. Indicators of biotopic confinement (F_{ij}) by species on the territory of the Caspian sandy hearth in the landscape and climatic regions of the "Nogai and Mozdok steppe of the UK"

Приуроченность F_{ij} (моздокская степь СК)									
Лес, кустар- ники	Берега рек и каналов	Пески	Попынно- злаковая степь	Стерня, пахота	Поливные плантации	Бурьяны	Целина, залеж	Посевы кормовых	
-0,6	0,5	—	—	-0,05	0,7	-0,6	—	—	
-0,4	-0,1	-0,05	-0,7	-0,1	-0,02	0,01	0,3	0,2	
0,6	0,2	-0,4	-0,5	0,6	-0,04	0,3	-0,2	-0,8	
0,1	-0,2	0,3	0,6	0,2	-0,4	-0,1	0,00006	0,05	

В «Ногайской степи СК» общественная полевка имеет выраженную приуроченность к биотопу «берега рек и каналов» $F_{ij} = 0,8$, в меньшей степени «пески» $F_{ij} = 0,3$, избегает биотопа «лес, кустарники» $F_{ij} = -0,005$, в остальных биотопах отсутствует. Малая лесная мышь имеет выраженную приуроченность к биотопам «лес, кустарники» $F_{ij} = 0,7$ в меньшей степени «берега рек и каналов» $F_{ij} = 0,5$ в остальных биотопах данный вид не встречался. Домовая мышь имеет выраженную приуроченность к биотопам «стерня, пахота» и «поливные плантации» $F_{ij} = 0,4$ соответственно и избегает все остальные биотопы. Обыкновенная полевка имеет выраженную приуроченность к биотопу «попынно-злаковая степь» $F_{ij} = 0,4$ в остальных биотопах либо избегает либо отсутствует.

В «Моздокской степи СК» общественная полевка имеет выраженную приуроченность к биотопу «попынно-злаковая степь» $F_{ij} = 0,6$ в меньшей степени к биотопам «пески» $F_{ij} = 0,3$ «стерня пахота» $F_{ij} = 0,2$, но все же избегает биотопы «берега рек и каналов» $F_{ij} = -0,2$ «поливные плантации» $F_{ij} = -0,4$ и другие биотопы. Малая лесная мышь имеет выраженную приуроченность к биотопам «лес, кустарники», «стерня, пахота» $F_{ij} = 0,6$ соответственно, в меньшей степени к биотопам «берега рек и каналов» $F_{ij} = 0,2$ «бурьяны» $F_{ij} = 0,3$ избегает «пески» $F_{ij} = -0,4$ «попынно-злаковая степь» $F_{ij} = -0,5$ и другие биотопы. Домовая мышь имеет приуроченность к биотопам «целина, залеж» $F_{ij} = 0,3$ «посевы кормовых» $F_{ij} = 0,2$ остальные биотопы старается избегать. Обыкновенная полевка имеет выраженную приуроченность к биотопу «поливные плантации» $F_{ij} = 0,7$ менее «берега рек и каналов» $F_{ij} = 0,5$ в остальных биотопах либо избегает либо отсутствует.

Выводы

Экосистемы ЛЭР «Кизлярская степь» и «Ногайская степь» различаются как по количеству видов мелких мышевидных грызунов, так и по приуроченности их к биотопам. Фауна мышевидных грызунов в ЛЭР «Кизлярская степь» эвритопна, ЛЭР «Ногайская степь» представлена шестью видами из которых эвритопны только два: общественная полевка и домовая мышь. Фауна мышевидных грызунов общая в ландшафтно-климатических районах

«Ногайской и Моздокской СК степи», большинство видов эвритопны, хотя каждый вид имеет свой излюбленный биотоп, с более выраженной приуроченностью.

Приуроченность большинства видов к биотопу «берега рек и каналов» на территориях ЛЭР «Ногайской степи» и ландшафтно-климатическом районе «Ногайской степи» СК позволяет предположить, что они могут поддерживать циркуляцию возбудителя туляремии, поскольку на территориях Дагестана существует природный очаг туляремии пойменно-болотного типа и в 1999 г. было выделение культур с домовых и полевых мышей [7, 12].

В Прикаспийском песчаном очаге в 2014 г. выделен один штамм от трех блох *Nosopsyllus mokrzecky*, счесанных с двух серых хомячков. Ранее за период 1996–2000 гг. выделен штамм микроба чумы в 1996 г. с домовых мышей [2]. Среди второстепенных носителей особо важную роль как распространителей инфекций играют эвритопные виды, так как в период эпизоотии они способствуют циркуляции возбудителя в природном очаге.

Исходя из вышеизложенного мониторинг численности второстепенных носителей и изучение биотопической приуроченности необходим, так как они могут вовлекаться в эпизоотии чумы. Данные расчеты позволят оптимизировать работу эпизоотологического обследования территорий.

Библиографический список

1. Ашибокон У.М., Коржов П.Н., Ветошкин А.А., Сурхаев Д.Б., Халидов А.Х., Григорьев М.П. Таксономический состав носителей и переносчиков микроба чумы в пределах Ставропольской части Прикаспийского песчаного природного очага чумы: современное состояние // Наука. Инновации. Технологии, 2021. №2. С. 59–72.
2. Герасименко Е.В., Григорьев М.П., Халидов А.Х., Мозлоев Г.А., Зеленева Ю.В., Калинин Е.В. Состояние численности второстепенных носителей в природных очагах чумы Северного Кавказа за период 2012–2017 гг. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского, 2018. №4(70). С. 19–26.
3. Дятлов А.И. Антоненко А.Д., Грижебовский Г.М. и др. При-

родная очаговость чумы на Кавказе. Ставрополь: Противочумный институт, 2001. 345 с.

4. Карасева Е.В., Телицына А.Ю. Методы изучения грызунов в полевых условиях: Учеты численности и мечение. Москва: Наука, 1996. 228 с.
5. Максимов, А.А. Многолетние колебания численности животных, их причины и прогноз. Новосибирск: Наука, 1984. 250 с.
6. Методические указания 3.1.3.3395-16 «Паспортизация природных очагов Российской Федерации». Москва: ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора, 2016. 40 с.
7. Найден П.Е. Природные очаги на Кавказе и проблема их оздоровления: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Ставрополь, 1980. 60 с.
8. Наглов В., Загороднюк И. Статистический анализ приуроченности видов и структуры сообществ // Proceedings of Theriological School, 2006. V. 7. 291 с.
9. Огнев С.И. Грызуны Северного Кавказа, Ростов-на-Дону, 1924. 61 с.
10. Онищенко Г.Г., Кутарев В.В. Природные очаги чумы Кавказа, Прикаспия, Средней Азии и Сибири. Москва: Медицина, 2004. 158 с.
11. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. Москва, 1982.
12. Ралль Ю.М. Природная очаговость и эпизоотология чумы. Москва: Медицина, 1965. 364 с.
13. Lewis R.E. Resume of the Siphonaptera (Insecta) of the World. 1998. V. 35. No. 4. P. 377–389.

References

1. Ashibokov U.M., Korzhov P.N., Vetoshkin A.A., Surkhaev D.B., Khalidov A.H., Grigoriev M.P. Taxonomic composition of carriers and carriers of the plague microbe within the Stavropol part of the Caspian sandy natural plague focus: the current state // Nauka. Innovation. Technologies, 2021. No. 2. P. 59–72.
2. Gerasimenko E.V., Grigoriev M.P., Khalidov A.H., Mozloev G.A., Zeleneva Yu.V., Kalinkin E.V. The state of the number of secondary carriers in the natural foci of the plague of the North Caucasus for the period 2012–2017 // Issues of modern science and practice. V.I. Vernadsky University, 2018. No. 4(70). P. 19–26.

1. Dyatlov A.I. Antonenko A.D., Grizhebovsky G.M. et al. Natural foci of plague in the Caucasus, Stavropol Anti-Plague Institute, 2001. 345 p.
2. Karaseva E.V., Telitsyna A.Yu. Methods of studying rodents in the field: Population counts and tagging. M.: Nauka, 1996. 228 p.
3. Maksimov A.A. Long-term fluctuations in the number of animals, their causes and forecast. Novosibirsk: Nauka, 1984. 250 p.
4. Methodological guidelines 3.1.3.3395-16 "Certification of natural foci of the Russian Federation". M.: FBUZ FTSgE Rospotrebnadzor 2016. 40 p.
7. Found P.E. Natural foci in the Caucasus and the problem of their recovery: abstract of the dissertation of the Doctor of Biological Sciences. Stavropol, 1980. 60 p.
8. Naglov V., Zagorodnyuk I. Statistical analysis of the occurrence of species and structure of communities / Proceedings of Theriological School, 2006. V. 7. 291 p.
9. Ognev S.I. Rodents of the North Caucasus, Rostov-on-Don, 1924. 61 p.
10. Onishchenko G.G., Kutarev V.V. Natural plague foci of the Caucasus, the Caspian Sea, Central Asia and Siberia. M.: Medicine, 2004. 158 p.
11. Pesenko Yu.A. Principles and methods of quantitative analysis in faunal studies. M., 1982.
12. Rall Yu.M. Natural focality and epizootology of the plague. M.: Medicine, 1965. 364 p.
13. Lewis R.E. Resume of the Siphonaptera (Insecta) of the World. 1998. V. 35, no. 4. P. 377–389

**Поступило в редакцию 14.03.2022,
принята к публикации 04.05.2022.**

Об авторах

Герасименко Екатерина Владимировна, зоолог лаборатории медицинской зоологии ФКУЗ «Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора», г. Ставрополь, Россия.
E-mail: 89197539723@mail.ru.

- Газиева** Алина Юрьевна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией медицинской зоологии «ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора», г. Ставрополь, Россия.
- Халидов** Арслан Халитович, кандидат биологических наук, заведующий зоологическим отделом ФКУЗ «Дагестанская противочумная станция» Роспотребнадзора», г. Махачкала, Россия.
- Кесьян** Артемий Альбертович, биолог заведующий зоологическим отделом Кизлярского противочумного отделения ФКУЗ «Дагестанская противочумная станция» Роспотребнадзора», г. Кизляр, Россия.

About the authors

- Gerasimenko** Ekaterina Vladimirovna, Zoologist of the Laboratory of Medical Zoology of the Stavropol Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor, Stavropol, Russia.
- Gazieva** Alina Yurievna, Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Medical Zoology "Stavropol Anti-Plague Institute of Rospotrebnadzor", Stavropol, Russia.
- Khalidov** Arslan Khalitovich, Candidate of Biological Sciences, Head of the Zoological Department of the Dagestan Anti-Plague Station of Rospotrebnadzor, Makhachkala, Russia.
- Kesyau** Artemy Albertovich, Biologist, Head of the Zoological Department of the Kizlyar Anti-plague Department of the Dagestan Anti-Plague Station of Rospotrebnadzor, Kizlyar, Russia.

25.00.30
УДК 551.578.7

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Кагермазов А.Х., ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»,
Созаева Л.Т. г. Нальчик, Россия
ljk_62@rambler.ru

ПРОГНОЗ ГРАДА И ОЦЕНКА ЕГО МАКСИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА ПО ВЫХОДНЫМ ДАНЫМ ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ДО ТРЕХ СУТОК

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.2.6

Введение.

Глобальное потепление вызывает увеличение частоты и интенсивности опасных явлений погоды. В связи с этим становится актуальным их прогноз, востребованный службами по борьбе с градом, а также другими отраслям экономики. Этому способствует оперативная доступность результатов моделирования атмосферы Земли, в частности, значений стратификации по глобальной модели (GFSNCEP). В данной работе рассматривается возможность прогнозирования града с заблаговременностью до трех суток с помощью дискриминантного анализа и оценка его размера по регрессионному уравнению. Успешность прогноза града оценивается по критериям качества прогнозов. Качество регрессионной модели по показателям, характеризующим статистическую значимость и практическую применимость регрессионного уравнения, соответствует принятым критериям.

Материалы и методы

исследования.

Материалами исследований послужили выходные данные глобальной модели атмосферы GFSNCEP с заблаговременностью до трех суток. Прогноз проводился по дискриминантным функциям. Для оценки успешности прогноза града составлена таблица сопряженности по явлениям «град» и «не град», по которой рассчитаны критерии качества прогнозов. Для оценки максимального размера града составлялось регрессионное уравнение. Были рассчитаны показатели, характеризующие статистическую значимость и практическую применимость уравнения. Данные наблюдений о выпадении града и его размере были предоставлены военизированными службами по активному воздействию на

метеорологические и другие геофизические процессы, расположенными в радиусе репрезентативности фактических данных аэрологического зондирования на станции «Минеральные воды».

Результаты исследования

и их обсуждение. Результаты расчетов показали, что прогноз града соответствуют всем критериям качества прогнозов. Показатели успешности прогноза оказались хорошими. Так, оправданность прогноза града составила $\approx 70\%$. Все показатели, характеризующие статистическую значимость и практическую применимость регрессионных уравнений, показали, что предлагаемая модель града может адекватно оценивать максимальный диаметр града.

Выводы.

Исследования показали, что предлагаемый подход прогноза града и оценки его максимального размера по данным глобальной модели атмосферы при увеличении заблаговременности до трех суток не приводит к заметному снижению качества прогнозов и регрессионного уравнения.

Ключевые слова: глобальная модель атмосферы, аэрологическое зондирование, заблаговременность, метеорологические параметры, прогноз опасных явлений, оценка максимального размера града.

Kagermazov A.Kh., FSBI «High-Mountain geophysical institute»
Sozaeva L.T. Nalchik, Russian Federation
ljk_62@rambler.ru

Hail Forecast and Estimation of Its Maximum Size on the Output Data of the Global Atmospheric Model with Tree-Day Lead Time

Introduction.

Global warming causes an increase in the frequency and intensity of dangerous weather events. Therefore, their forecast becomes relevant, which is in demand by the anti-hail services, as well as other sectors of the national economy. This is facilitated by the operational availability of the results of modeling the Earth's atmosphere, in particular, the values of stratification according to the global model (GFS NCEP). In this article the

possibility of hail predicting with a lead time of up to three days using discriminant analysis and estimating its size using a regression equation is considered. The success of the hail forecast is assessed by the criteria of forecast quality. The quality of the regression model according to the indicators characterizing the statistical significance and practical applicability of the regression equation meets the accepted criteria.

**Materials and methods
of research.**

The research materials were the output data of the global atmospheric model GFS NCEP with a lead time of up to three days. The forecast was carried out by discriminant functions. To assess the success of the hail forecast, a conjugacy table was compiled for the phenomena «hail» and «not hail», according to which the criteria for the quality of forecasts were calculated. To estimate the maximum size of the hail, a regression equation was compiled. The indicators characterizing the statistical significance and practical applicability of the equation were calculated. The observation data on the fallout of hail and its size were provided by paramilitary services for active impact on meteorological and other geophysical processes located within the radius of the representativeness of the actual data of aerological sounding at the «MineralnyeVody» station.

**The results of the study and
their discussion.**

The results of the calculations showed that the hail forecast meets all the criteria for the quality of forecasts. The success rates of the forecast turned out to be good. Thus, the justifiability of the hail forecast was $\approx 70\%$. All the indicators characterizing the statistical significance and practical applicability of regression equations have shown that the proposed hail model can adequately estimate the maximum diameter of the hail.

Conclusion.

Studies have shown that the proposed approach to hail forecasting and estimating its maximum size according to the global atmospheric model, with an increase in the lead time to three days, does not lead to a noticeable decrease in the quality of forecasts and the regression equation.

Key words:

global atmospheric model, aerological sounding, lead time, meteorological parameters, forecast of dangerous phenomena, estimation of the maximum size of hail.

Введение

Одним из проявлений глобального потепления является увеличение опасных явлений погоды, наносящих существенный ущерб отраслям экономики, объектам инфраструктуры, посевам сельскохозяйственных культур, животноводству, частному домовладению и т.д. Современная статистика свидетельствует о том, что около 90% самых тяжелых экономических потерь приходится на наводнения, засухи, град, грозы и другие опасные гидрометеорологические явления.

Особенностью градовых процессов является их скоротечность и локальность, и как следствие, они не всегда попадают в поле зрения метеорологических наблюдательных станций и часто просто не фиксируются ими. Кроме этого, имеется дефицит исходной информации в виде аэрологического зондирования. Все это является основой недостаточной предупрежденности опасных явлений конвективного характера [1, 2, 9, 19]. В связи с этим, в настоящее время существует необходимость разработки более точных прогнозов, причем с большей заблаговременностью, которые будут способствовать уменьшению ущерба от опасных явлений погоды.

Для восполнения дефицита исходной информации (взамен данных фактического аэрологического зондирования) можно использовать выходную продукцию глобальных математических моделей атмосферы Земли [7, 8, 15–17, 20]. Возможность и правомерность замены фактических аэрологических данных на поля метеоэлементов из глобальной модели с заблаговременностью до трех суток и более подтверждена [10], что является обоснованием проведения не только прогноза града, но и оценки его максимального размера с такой же заблаговременностью.

В качестве исходной информации использована выходная продукция действующей модели глобальной GFS, представляющая аналог аэрологического зонда и обладающая достаточно высокой достоверностью.

Для решения этой задачи привлекались результаты наблюдений, предоставленные военизированными службами по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы, расположенные в радиусе репрезентативности фактических

данных аэрологического зондирования на станции «Минеральные воды». Прогноз града был осуществлен по дискриминантной функции, а оценка максимального размера града по регрессионному уравнению. Все показатели, характеризующие качество прогноза и статистическую значимость и практическую применимость регрессионных уравнений показали хорошие результаты.

Оценка размера града с краткосрочной (трое суток) заблаговременностью проводится впервые.

Вышеуказанные методы статистического анализа были реализованы на основе современного пакета программ SPSS [6].

Материалы и методы исследования

Материалом для данного исследования послужила выходная продукция глобальной модели атмосферы с заблаговременностью до трех суток (аналог фактического аэрологического зондирования атмосферы), а именно:

- изобарические поверхности, гПа;
- высоты, соответствующие изобарическим поверхностям, м;
- температура окружающего воздуха, °С;
- температура точки росы, °С;
- направление ветра в градусах;
- скорость ветра, м/с.

Эти данные позволяют рассчитывать 45 параметров атмосферы, известных из существующих методов прогноза конвекции и связанных с ней опасных явлений погоды, в том числе и града [3–5, 11–14, 18]. Такое количество признаков избыточно и делает трудоемкой вычислительную процедуру прогноза. Наиболее информативные из них отбирались с помощью бисериального коэффициента корреляции. В результате количество параметров атмосферы было сокращено до 10–12, в том числе:

- DTM – максимальная разность температур в облаке и окружающем воздухе;
- HM – уровень, на котором разность температур в облаке и окружающем воздухе максимальна;

- DTK – вертикальный градиент температуры в слое выше уровня конвекции на 4–4,5 км;
- SQZ5 – суммарная удельная влажность в слое земля – 5 км;
- TDSR5 – средний дефицит влажности в слое выше уровня конвекции на 5 км;
- PH1 – уровень конвекции;
- TH1 – температура на уровне конвекции;
- DJ – индекс неустойчивости Джорджа;
- TTMI – индекс интегральной суммы Миллера;
- DSS – энергетическая характеристика подоблачного слоя;
- SD τ – суммарный дефицит в слое Земля – 500 гПа;
- DT1 – вертикальный градиент температуры в слое выше уровня конденсации на 2 км.

Расчет параметров проводился с использованием программного кода [12]. Прогноз града составлялся по данным глобальной модели за май–август 2020 года по географическим координатам станции «Минеральные воды» за дни с развитием конвекции. Разделение явлений на «град» или «не град» осуществлялось по данным наблюдений военизированных служб по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы, расположенных в радиусе репрезентативности фактических данных аэрологического зондирования на станции «Минеральные воды».

Для оценки максимального размера града были отобраны 30 дат с фактом выпадения града в районе радиусом 150–200 км (территории КБР, КЧР и Ставропольского края) от пункта зондирования «Минеральные Воды» в градоопасный сезон 2021 г. К этим датам были сопоставлены метеорологические элементы из глобальной модели атмосферы с заблаговременностью до трех суток. Для каждой из дат выпадения града по данным глобальной модели атмосферы были рассчитаны выше отмеченные наиболее информативные параметры атмосферы. Значения этих параметров атмосферы были приняты в расчет в качестве независимых переменных, а максимальные диаметры града, известные из наблюдений – зависимой переменной.

Регрессионная модель для оценки максимального диаметра града искалась в виде:

$$D = f(DTM, HM, DTK, SQZ5, TDSR5, PH1, TH1, DJ, TTMI, DSS) + const, \quad (1)$$

где $const$ – свободный член уравнения регрессии.

Известно, что построение регрессионной модели сводится к определению свободного члена и коэффициентов уравнения (1), а также показателей, характеризующих статистическую значимость и практическую применимость регрессионного уравнения.

Результаты исследований и их обсуждение

Дискриминантная функция составлялась следующей по следующей схеме:

- вычислялись средние значения переменных в каждой группе «град» и «не град» и объединенная матрица рассеивания для обеих групп;
- вычислялась обратная объединенная матрица рассеивания и ее определитель;
- для объединенной группы вычислялись: общие средние, обобщенная статистика Махаланобиса;
- для каждого события в каждой из двух групп рассчитывались дискриминантные функции. По вероятности, связанной с наибольшим значением дискриминантной функции (1) проводилось разделение события на «град» и «не град».
- по количеству событий в каждой из двух групп и объединенной группе составлялась таблица сопряженности.

По данным таблицы сопряженности (табл. 1) определялись основные параметры прогнозов: общая оправдываемость прогноза, предупрежденность наличия явления, оправдываемость

прогноза наличия явления, оправдываемость отсутствия явления и предупрежденность отсутствия явления (табл. 2).

Результаты прогнозов града с заблаговременностью до трех суток показали, что рассматриваемый метод соответствует всем критериям качества прогнозов. Показатели успешности прогноза оказались высокие. Так, один из важных показателей – оправдываемость оказалась равной $\approx 70\%$, что для заблаговременности до трех суток (72 часа) является высоким показателем. Оправдываемость предлагаемого метода для заблаговременности 24 часа равна $\approx 77\%$ [10] и за 132 часа – $\approx 72\%$ [13], т.е. сроки прогноза слабо влияют на прогнозный потенциал дискриминантных функций, что не приводит к заметному изменению критериев качества прогнозов.

Регрессионная модель оценки максимального размера града создавалась по схеме:

- проводилась предварительная проверка параметров атмосферы на нормальность распределения и отсутствие мультиколлинеарности между ними;
- составлялось уравнение модели с учетом наиболее значимых параметров атмосферы, отобранных пошагово;
- параметры модели проверялась на статистическую значимость и практическую применимость по предъявляемым к ним критериям.

Проверка значений зависимой переменной и независимых переменных на нормальность распределения показала, что они близки к нормальному распределению. Проверка на отличие дисперсии (квадрата стандартного отклонения) переменных от нуля, показала соблюдение этого условия.

Была построена матрица корреляции Пирсона, из которой следует отсутствие сильной связи между исследуемыми переменными (мультиколлинеарности). Исключением из этого правила явились независимые переменные РН1 и НМ, которые не были приняты в расчет при дальнейшем анализе.

Методом пошагового исключения, была выбрана регрессионная модель для оценки максимального диаметра града вида:

Таблица 1. ТАБЛИЦА СОПРЯЖЕННОСТИ
Table 1. Contingency table

Прогноз явления	Наблюдение явления		Сумма
	«град»	«не град»	
«Град»	14	7	21
«Не град»	5	13	18
Сумма	19	20	39

Таблица 2. ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗА ГРАДА
Table2. Nail forecast quality parameters

Наименование	Значение, %
Общая оправдываемость прогноза	69
Предупрежденность наличия явления	74
Оправдываемость прогноза наличия явления	67
Оправдываемость отсутствия явления	72
Предупрежденность отсутствия явления	65

$$D = 16,131 - 0,161DTM + 0,290DTK - 0,059JD + 0,005DSS, \quad (2)$$

- где DTM – максимальная разность температур в облаке и окружающем воздухе;
 DTK – вертикальный градиент температуры в слое выше уровня конденсации на 4–4,5 км;
 DJ – индекс неустойчивости Джорджа;
 DSS – энергетическая характеристика подоблачного слоя.

Таблица 3. СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ
МАКСИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ГРАДА

Модель	Коэффициенты			t-тест	Sig.
	нестандар.		стандар.		
	beta	σ	beta		
Const	16,131	10,38		1,55	0,13
DTM	-0,161	0,040	-0,509	-4,02	0,00
DTK	0,290	0,072	0,720	4,04	0,00
DJ	-0,059	0,034	-0,248	-1,74	0,09
DSS	0,005	0,002	0,462	2,35	0,03

Параметры атмосферы, вошедшие в модель (2), отражают запас неустойчивости, влагосодержания и температурный режим в зоне роста града. Отметим, что энергетическая характеристика подоблачного слоя *DSS* (количественная характеристика состояния нижнего слоя тропосферы) равна разнице между работой, совершаемой подъемной силой при перемещении единицы массы сухого воздуха от поверхности земли до уровня конденсации и работой, которую может совершить опускающийся с уровня конденсации воздух в подоблачном слое [5].

В таблице 3 представлены константа уравнения и регрессионные коэффициенты для каждого предиктора, а также уровень их статистической значимости Sig, полученный в результате проверки нулевой гипотезы о равенстве каждого из них нулю с помощью *t*-теста Стьюдента. Уровни Sig для коэффициентов модели подтверждают, что соответствующие независимые переменные оказывают статистически значимое влияние на максимальный диаметр града.

Table 3. Summary table of parameters of the model for estimating the maximum hail diameter

	95% доверительный интервал для beta		tol	VIF
	нижн. граница	верх. граница		
	-5,247	37,508		
	-0,244	-0,079	0,98	1,02
	0,142	0,438	0,49	2,03
	-0,128	0,011	0,77	1,3
	0,001	0,009	0,41	2,45

Стандартизированные коэффициенты регрессии позволяют оценить, в какой степени значения максимального радиуса града определяются значениями параметров атмосферы, т.е. они характеризуют удельный вклад каждого параметра атмосферы в вариации характеристик интенсивности града. Стандартные ошибки σ указывают, что при доверительном интервале 95% каждый коэффициент может отклоняться от среднего значения на две стандартные ошибки $\pm\sigma$.

В таблице коэффициентов модели имеется информация о значениях показателей статистик толерантности, которые необходимы для проверки условия отсутствия мультиколлинеарности, т.е. отсутствия связи между переменными модели. Значение показателя *tol* должно превышать 0,1, а значение *VIF* – меньше 10. Для построенной модели эти показатели подтвердили условие отсутствия эффекта мультиколлинеарности и приемлемости модели для дальнейшей интерпретации.

Важной особенностью регрессионного анализа является условие независимости остатков между собой, которое проверяется

с помощью теста Дарбина – Уотсона на автокорреляцию. Для построенной модели прогноза максимального диаметра града он равен 2,084, что является показателем отсутствия автокорреляции остатков (табл. 3).

Коэффициент множественной корреляции регрессионной модели оказался равным 0,780, что свидетельствует о высокой связи между зависимой и независимыми переменными. Коэффициент детерминации показал, что 61% вариации максимального диаметра града объясняются совместной вариацией параметров атмосферы. Кроме того, значение коэффициента Фишера оказалось $F > 1$, а уровень ее значимости $Sig = 0,01 < 0,05$ – это означает, что отобранные коэффициенты регрессии значимы и справедливы для генеральной совокупности, а уравнение регрессии (2) может быть использовано для оценки максимального диаметра выпавшего града.

Все показатели, характеризующие статистическую значимость и практическую применимость регрессионных уравнений (множественный коэффициент корреляции, коэффициент детерминации, анализ остатков и т.д.) свидетельствуют о том, что построенная модель может адекватно оценивать максимальный диаметр града.

Параметры качества предлагаемой модели были сопоставлены с соответствующими показателями для регрессионного уравнения оценки максимального размера града по данным глобальной модели атмосферы с заблаговременностью 24 часа [14]. Сравнительный анализ показал хорошее согласие и сохранение прогностического потенциала с увеличением заблаговременности до трех суток.

Таким образом, построенная модель оценки максимального диаметра града может использоваться для прогноза ожидаемой интенсивности градового процесса (максимального диаметра града) и найти применение в военизированных службах по борьбе с градом.

Выводы

По результатам расчетов прогноза града с заблаговременностью до трех суток и анализа их успешности можно сделать вывод, что испытываемый метод соответствует критериям ка-

чества прогнозов. Прогностический потенциал дискриминантных функций и уравнения регрессии при последовательном увеличении заблаговременности до трех суток не приводит к заметному его снижению.

Качество полученных статистических схем будет улучшаться по мере накопления данных и их большей детализации.

Таким образом, использование выходных данных современных глобальных моделей атмосферы для расчета параметров – предикторов с целью прогноза града и оценки его максимального размера с увеличенной заблаговременностью, имеет хорошие перспективы и будет особенно полезен в службах по борьбе с градобитием.

Библиографический список

1. Алексеева А.А. Методика прогноза опасных и стихийных конвективных явлений погоды, а также их совокупности, приносящих значительный ущерб отраслям экономики / Методический кабинет Гидрометцентра [Электронный ресурс]. <http://method.meteorf.ru/danger/economy/economy.html> (дата обращения: 14.04.2021).
2. Алексеева А.А., Глушкова Н.И. Способ прогноза стихийных конвективных гидрометеорологических явлений теплого полугодия. Патент Российской Федерации №2162237. 2001.
3. Беленцова В.А., Федченко Л.М., Чеповская О.И. Оценка интенсивности градовых процессов на Северном Кавказе // Труды ВГИ. 1974. Вып. 25. С. 3–16
4. Беленцова В.А., Федченко Л.М. О влиянии циркуляции и термодинамического состояния нижнего слоя тропосферы на локализацию и интенсивность конвективных процессов на Северном Кавказе // Труды ВГИ. 1979. Вып. 44. С. 48–59.
5. Беленцова В.А., Гораль Г.Г., Терскова Т.Н., Федченко Л.М., Чеповская О.И. Аэросиноптические и термодинамические особенности возникновения и развития интенсивных градобитий и шквалов в условиях Северного Кавказа // Труды ВГИ. 1982. Вып. 51. С. 88–99.
6. Бююль А., Цёфель П. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление

скрытых закономерностей: пер. с нем. СПб.: ДиаСофтЮП, 2005. 608 с.

7. Haiden T., Janousek M., Vitart F., Ferranti L. Prates F. Evaluation of ECMWF forecasts, including the 2019 upgrade // ECMWF Technical Memorandum. 2019. No. 853.
8. Dueben, P., Wedi, N., Saarinen, S., & Zeman, C. Global simulations of the atmosphere at 1.45 km grid-spacing with the integrated forecasting system // Journal of the Meteorological Society of Japan. 2020. Ser. II.
9. Dzombak B. Severe hailstorms are costly and hard to predict // Eos. 2021. No.102. <https://doi.org/10.1029/2021EO158268>
10. Кагермазов А.Х., Созаева Л.Т. Валидация выходных данных глобальной модели атмосферы по данным аэрологического зондирования с нарастающей заблаговременностью // Наука. Инновации. Технологии. 2020. №4. С. 137–148.
11. Кагермазов А.Х. Цифровая атмосфера. Современные методы и методология исследования опасных метеорологических процессов и явлений. Нальчик: Печатный двор, 2015. 215 с.
12. Кагермазов А.Х. Альтернативный прогноз града по выходным данным глобальной модели атмосферы GFS NCEP с заблаговременностью 72 часа «Hail forecast with a 72-hour lead time». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2020666197 от 04.12.2020.
13. Кагермазов А.Х., Федченко А.Х., Созаева Л.Т., Жабоева М.М. Среднесрочный прогноз града по выходным данным глобальной модели атмосферы // Наука. Инновации. Технологии. 2021. №2. С. 91–106.
14. Кагермазов А.Х., Созаева Л.Т. Оценка характеристик интенсивности града по выходным данным глобальной модели атмосферы GFS NCEP // Наука. Инновации. Технологии. 2021. №4. С. 113–126.
15. Kalnay E., Kanamitsu M., and Baker W.E. Global numerical weather prediction at the National Meteorological Center // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1990. V. 71. P. 1410–1428.
16. Kanamitsu M. Description of the NMC global data assimilation and forecast system // Weather and Forecasting. 1989. V. 4. P. 335–342.

17. Kanamitsu M., Alpert J.C., Campana K.A. et al. Recent changes implemented into the global forecast system at NMC // *Weather and Forecasting*. 1991. V. 6. P. 425–435.
18. Федченко Л.М., Беленцова В.А., Берова М.А. Прогноз интенсивности градовых процессов на Северном Кавказе // *Труды ВГИ*. 1983. Вып. 50. С. 21–35.
19. Raupach T.H., Martius O., Allen J.T. et al. The effects of climate change on hailstorms // *Nat Rev Earth Environ*. 2021. No. 2. P. 213–226. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00133-9>.
20. Официальный сайт Национальных центров экологического прогнозирования США. Центр экологического моделирования [Электронный ресурс]. <https://www.emc.ncep.noaa.gov/> (дата обращения: 16.04.2021).

References

1. Alekseeva A.A. Methods of forecasting dangerous and natural convective weather events, as well as their combination, causing significant damage to the economy / Methodical office Hydrometeorological Center [Electronic resource]. <http://method.meteorf.ru/danger/economy/economy.html> (accessed: 14.04.2019).
2. Alekseeva A.A., Glushkova N.I. Method of forecasting natural convective hydrometeorological phenomena of the warm half of the year // Patent Russian Federation №2162237. 2001.
3. Belentsova V.A., Fedchenko L.M., Chepovskaya O.I. Assessment of the intensity of hail processes in the North Caucasus // *Trudy VGI*. 1974. V. 25. P. 3–16.
4. Belentsova V.A., Fedchenko L.M. On the influence of circulation and thermodynamic state of the lower tropospheric layer on the localization and intensity of convective processes in the North Caucasus // *Trudy VGI*. 1979. V. 44. P. 48–59.
5. Belentsova V.A., Goral G.G., Terskova T.N., Fedchenko L.M., Chepovskaya O.I. Aerosynoptic and thermodynamic features of the occurrence and development of intensity of hail storms and squalls in the conditions of the North Caucasus // *Trudy VGI*. 1982. V. 51. P. 88–99.
6. Büyül A., Zöfel P. SPSS: The Art of Information Processing. Analysis of statistical data and recovery of hidden patterns: Per. with him. SPb.: DiaSoftYUP, 2005. 608 p.

7. Haiden T., Janousek M., Vitart F., Ferranti L. Prates F. Evaluation of ECMWF forecasts, including the 2019 upgrade // ECMWF Technical Memorandum. 2019. No. 853.
8. Dueben P., Wedi N., Saarinen S., Zeman C. Global simulations of the atmosphere at 1.45 km grid-spacing with the integrated forecasting system // Journal of the Meteorological Society of Japan. 2020. Ser. II.
9. Dzombak B. Severe hailstorms are costly and hard to predict // Eos. 2021. No. 102. <https://doi.org/10.1029/2021EO158268>
10. Kagermazov A.Kh., Sozaeva L.T. Validation the output data of the global model of the atmosphere on data of aerological sensing with increscent lead time. Science. Innovation. Technology. 2020. No. 4. P. 137–148.
11. Kagermazov A. Kh. Digital atmosphere. Modern methods and methodology for the study of hazardous meteorological processes and phenomena. Nalchik: Pechatnyy dvor, 2015. 215 p.
12. Kagermazov A.Kh. Alternative hail forecast based on the output data of the global atmospheric model GFS NCEP with a 72-hour lead time «Hail forecast with a 72-hour lead time». Certificate of registration of the computer program № 2020666197 dated 04.12.2020.
13. Kagermazov A.Kh., Fedchenko L.M., Sozaeva L.T., Zhaboeva M.M. Medium-range hail forecast on global atmospheric model output data // Science. Innovation. Technology. 2021. No. 2. P. 91–106.
14. Kagermazov A.Kh., Sozaeva L.T. Estimation of the characteristics of the intensity of hail on global atmospheric model output data GFS NCEP // Science. Innovation. Technology. 2021. No. 4. P. 113–126.
15. Kalnay E., Kanamitsu M., and Baker W.E. Global numerical weather prediction at the National Meteorological Center // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1990. V. 71. P. 1410–1428.
16. Kanamitsu M. Description of the NMC global data assimilation and forecast system // Weather and Forecasting. 1989. V. 4. P. 335–342.
17. Kanamitsu M., Alpert J.C., Campana K.A. et al. Recent changes implemented into the global forecast system at NMC // Weather and Forecasting. 1991. Vol. 6. P. 425–435.

18. Fedchenko L.M., Belentsova V.A., Berova M.A. Forecast of the intensity of hail processes in the North Caucasus // Trudy VGI. 1983. V. 50. P. 21–35.
19. Raupach T.H., Martius O., Allen J.T. et al. The effects of climate change on hailstorms // Nat Rev Earth Environ. 2021. No. 2. P. 213–226. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00133-9>.
20. Official website of the National Centers for Environmental Prediction. Environmental Modeling Center [Electronic resource]. <https://www.emc.ncep.noaa.gov/> (accessed: 16.04.2021).

**Поступило в редакцию 13.05.2022,
принята к публикации 14.06.2022.**

Об авторах

Кагермазов Артур Хасанбиевич – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией атмосферных конвективных явлений, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»
Scopus ID: 55185153100.
Researcher ID: AEO-1949-2022.
Телефон: (928) 720-35-96.
E-mail: ka5408@mail.ru

Созаева Лежинка Танашевна – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»
Адрес: РФ, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 2
Scopus ID: 57204527832.
Researcher ID: AIC-6568-2022.
Телефон: (928) 723 20-08.
E-mail: ljk_62@rambler.ru

About the authors

Kagermazov Artur Khasanbievich – candidate of physical and mathematical sciences, head of the laboratory of atmospheric convective phenomena of Federal state budgetary institution «High-Mountain Geophysical Institute».
Scopus ID: 55185153100.

Researcher ID: AEO-1949-2022.

Tel: (928) -720-35-96.

E-mail: ka5408@mail.ru

Sozaeva Lezhinka Tanashevna – candidate of physical and mathematical sciences, docent, senior research associate the laboratory of atmospheric convective phenomena of Federal state budgetary institution «High-Mountain Geophysical Institute»
Scopus ID: 57204527832.
Researcher ID: AIC-6568-2022.
Телефон: (928) 723 20-08.
E-mail: ljk_62@rambler.ru

25.00.35
УДК 528.91

ГЕОИНФОРМАТИКА

Ерёмченко Е.Н.*, Московский государственный университет им. Ломоносова,
Колосов В.А., Москва,
Тикунов В.С. Россия
*eugene.eremchenko@gmail.com

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ В ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.2.7

Введение. Формулируется задача выработки методологии, оптимальной для изучения уникальных процессов и феноменов, в особенности в свете растущего осознания глобальности нашей планеты и целостности процессов — например, биологических и социальных. Отмечается особая важность и эвристическая ценность подобной методологии при пространственно-временных исследованиях, обусловленная особым статусом категорий пространства и времени, поскольку познающий субъект воспринимает внешнюю реальность только через пространство и время и никак иначе (И. Кант).

Материалы и методы исследований. Обосновывается необходимость использования для научного анализа уникальных феноменов (например, феноменов биологических) целостной, или интегральной, пространственно-временной методологии, дополняющей широко используемую дифференциальную методологию. Констатируется, что в настоящее время эта задача обретает особенную актуальность. Подчёркивается, что интегральная методология доктринально близка философии, научной теории и интеллектуальной традиции холизма.

Результаты исследований и их обсуждение. Рассматривается и анализируется пример успешного использования интегральной методологии в другой дисципли-

нарной области Гансом Селье при открытии стресса, или общего адаптационного синдрома, в первой половине XX века. Делается вывод о возможности плодотворного применения данного метода в иных проблемных областях, в междисциплинарных исследованиях и, в частности, в области геопространственных исследований при комбинировании с интегральной в своей основе концепцией Цифровой Земли и методом Больших данных. Рассматривается возможность использования интегрального метода при пространственных исследованиях для редукции Больших данных без утраты их эвристической ценности. Отмечается целесообразность применения предлагаемого метода при анализе биомедицинских, экологических и социальных процессов – в частности, начальных этапов развития пандемии COVID-19, глобальная динамика которой была впервые в мировой истории запротоколирована с высокой точностью.

Выводы. Кратко резюмируется перспектива использования интегрального метода в геопространственных исследованиях. Указывается, что интегральный метод может быть с успехом применён для апробации методом Поппера различных гипотез о природе пандемии COVID-19.

Ключевые слова: интегральный метод, холизм, Цифровая Земля, научная визуализация, COVID-19, экология, устойчивое развитие.

Eremchenko E.N., Moscow State University Lomonosov,
Kolosov V.A., Moscow,
Tikunov V.S. Russian

Integral Methodology in Geospatial Researches

Introduction. The task of developing the methodology optimal for studying unique processes and phenomena, especially in the light of the growing awareness of the globality of our planet and the integrity of processes – for example, biological and social – is formulated. Special importance and heuristic value of this kind of

methodology is pointed out because of the special status of the categories of space and time, as the cognizing subject perceives the external reality only through space and time and in no other way (I. Kant).

Materials and research

methods.

The article substantiates the necessity of the use of integral or integral space-time methodology for the scientific analysis of unique phenomena (for example, biological phenomena). This methodology supplements the widely used differential methodology. It is stated that this task is currently of particular relevance. It is emphasized that integral methodology is doctrinally close to philosophy, scientific theory and intellectual tradition of holism.

The results of research and

their discussion.

The example of successful use of integral methodology in another disciplinary field by Hans Selye in discovering stress, or general adaptation syndrome, in the first half of the twentieth century is considered and analyzed. A conclusion is made about the possibility of fruitful application of this method in other problem areas, in interdisciplinary research and, in particular, in geospatial research when combined with the fundamentally integral concept of the Digital Earth and the Big Data method. The possibility of using the integral method in spatial studies for the reduction of Big Data without losing their heuristic value is considered. It is expedient to use the proposed method in the analysis of biomedical, ecological and social processes, particularly in the early stages of the pandemic COVID-19, the global dynamics of which was first recorded in world history with high accuracy.

Conclusions.

The prospect of using the integral method in geospatial research is briefly summarized. It is pointed out that integral method can be successfully applied for testing of various hypotheses about the nature of the COVID-19 pandemic by Popper's method.

Key words:

Integral Method, Holism, Digital Earth, Scientific Visualization, COVID-19, Ecology, Sustainable Development.

Введение

Активно развивающиеся процессы глобализации и растущее понимание целостности нашей планеты и взаимообусловленности происходящих на ней процессов ведут к смещению фокуса на изучение Земли и происходящих на ней процессов – например, биологических или социальных – именно как глобальных феноменов. При этом возникает проблема идентификации таких феноменов, поскольку они носят уникальный для нас характер и не могут быть изучены методами аналогии – например, нам известен только один феномен жизни на нашей планете, не позволяющий сравнить его с каким-либо аналогом.

Эта уникальность порождает проблему выработки научных определений даже базовых понятий, на первый взгляд априорно понятных – например, определений жизни, здоровья, болезни, и т.д. Попытки формирования таких дефиниций предпринимались многократно, однако до сих пор сколь-нибудь приемлемых выработать не удалось. В результате складывается парадоксальная ситуация – даже очевидно существующие и предельно важные для человека феномены (жизнь, смерть, здоровье, болезнь, и т.д.) не удаётся зафиксировать в исчерпывающе точных дефинициях, что ограничивает наши возможности в понимании их природы и в их научном познании, поскольку в этих случаях даже изобилие эмпирической информации не помогает выявить ключевые факторы и носители соответствующих свойств.

В этой ситуации значительную пользу может оказать изучение пространственно-временной динамики таких процессов. Субъект воспринимает внешнюю реальность только и исключительно через пространство и время [1].

Соответственно, пространственно-временная динамика является исключительным по своей эвристической ценности источником эмпирической информации в особенности об уникальных процессах, которые не могут изучаться методом аналогии. Однако для этого необходима специфическая методология, ориентированная на решение именно таких задач.

Материалы и методы исследований

Методология является необходимым фундаментальным основанием современной науки¹, а входящие в её свод различные методы и подходы [3] иерархически организованы и могут быть как общенаучными, так и узко дисциплинарными. Базовые подходы глубоко укоренены в нашем бессознательном и воспринимаются настолько естественно, что зачастую считаются самоочевидными и не выделяются в явном виде, хотя играют в научном поиске особую важную роль. Одним из таких наиболее общих методов исследований является метод, который можно назвать дифференциальным. Он сводится к познанию общего через выявление и изучение его структуры. В его основе — членение исследуемого явления на элементы в соответствии с некоторой классификационной схемой и исследование этих элементов как в отдельности, в качестве изолированных сущностей, так и во взаимосвязи друг с другом посредством определения их специфических особенностей и характеристик. Можно сказать, что в основе дифференциального метода лежит опосредование реальности условными классификационными схемами. Целое отождествляется с суммой его элементов и их взаимодействий друг с другом. Дифференциальный метод лежит, в частности, в основе сравнительного метода исследований.

Естественной альтернативой дифференциальному методу является интегральный метод, позволяющий понять целое, стоящее за многообразием его составных частей, через выявление общих, не уникальных свойств и особенностей, присущих всем его элементам или проявлениям без исключения; целое несводимо при этом к совокупности его элементов, частных проявлений или проекций [4]. Интегральный и дифференциальный методы в качестве когнитивных инструментов не противоречат, но взаимодополняют друг друга. Интегральное представление близко по своей сути философской концепции и научной традиции холизма [5], прослеживаемой в прошлом до как минимум неоплатонической школы [6] и предполагающей непосредственное восприятие целостности, несводи-

1 «Science is a methodical approach to studying the natural world» [2].

мой только лишь к сумме её элементов и частных точек зрения на неё. Холизм не сводим к комплексному методу и в некотором роде противопоставлен ему, поскольку предполагает целостное восприятие феномена вместо суммы узкодисциплинарных точек зрения на него. При всей своей естественности, очевидной привлекательности и потенциальной плотворности холизм является скорее умозрительной и декларативной мировоззренческой концепцией, нежели состоявшейся научной парадигмой, и раскрытие его практического потенциала, в том числе в научных исследованиях вообще и в геопространственных в частности, является важной и ясно осознаваемой задачей современности — например в теории управления [7] и в науках о живом [8].

Результаты исследований и их обсуждение

Блестящий пример использования подобного метода в научном исследовании продемонстрировал выдающийся венгерский и канадский учёный-эндокринолог Ганс Селье (1907–1982). В эпоху, когда основой научного поиска в медицине являлось выявление отдельных болезней на основе специфических для них симптоматических комплексов, он поставил и успешно решил обратную задачу — Селье стал изучать неспецифические признаки, в которых проявляется реакция организма на воздействия любой природы. Использование интегрального метода привело к созданию теории стресса, или общего адаптационного синдрома (*general adaptation syndrome*) — универсального, неспецифического отклика живых организмов на всевозможные вызовы [9]. Удалось показать, что такой отклик проявляется в унифицированных, стереотипных формах, выявить, каталогизировать и описать их. Нестандартный подход к исследованию [10] и исключительная, революционная ценность достигнутых с его помощью результатов были по достоинству оценены практически сразу. Теория стресса стала одним из значимых и хорошо разработанных направлений в современной медицине и была воспринята обществом в качестве важного элемента современной общекультурной матрицы [11]. Сегодня термин «стресс» вездесущ, прочно проник в общественное сознание, в бытовую и профессиональную («стресс-тесты», и т. д.) лексики и широко употреб-

ляется в обыденной жизни для краткого обозначения общепонятной реакции субъекта на различные, в первую очередь негативные, факторы. Признание значимости совершённого Гансом Селье открытия научным сообществом косвенно подтверждается тем, что в течение жизни он, начиная с 1949 года, неоднократно (17 раз) номинировался на звание лауреата Нобелевской премии; парадигмальный же характер открытия подчёркивается тем, что в конечном итоге он так и не получил её.

В своих работах Селье специально обращал внимание на важность не опосредованного, чувственного, холистского восприятия и исключения по возможности из научных исследований сложных технологических процедур (а вместе с ними и узкодисциплинарных видений, которые и формируются с помощью технологических процедур), мешающих восприятию единства исследуемых процессов [9, 10], подчёркивая при этом крайнюю потребность современной науки в уравнивании узкой специализации с характерными для неё абберациями восприятия реальности широким кругозором и методической базой, позволяющими воспринимать целое в общекультурной перспективе, для чего необходима целенаправленная подготовка учёных-интеграторов².

-
2. «Я никогда не использовал изотопные методы... или что-нибудь ещё в этом роде не потому, что я недооцениваю их значимость, а просто потому, что меня больше интересует общая картина, чем детали. Я ощущаю себя как-то ближе к Матери-Природе, когда могу наблюдать её непосредственно теми органами чувств, которые она сама мне дала, чем когда между нами стоят инструменты, так часто искажающие её облик. Легко распознаваемые, явные изменения формы или поведения меньше подвержены «инструментальным ошибкам», но и благодаря своей простоте лучше поддаются широкомасштабному экспериментированию, необходимому для установления единства и взаимосвязи... Узкий специалист теряет общую перспективу, более того, я уверен, что всегда будет существовать потребность в учёных-интеграторах... Меня не беспокоит возможность пропуска отдельных деталей. Среди нас должен остаться кто-то, кто будет обучать людей совершенствовать средства для обозревания горизонтов, а не для ещё более пристального взглядывания в бесконечно малое». Цит. по: [12].

Интегральный метод Ганс Селье применил в области эндокринологии, медицины и биологии, используя специфические для этих областей постановку задачи, источники данных, частные методики и подходы. Вместе с тем очевидно, что этот метод в силу его исключительной универсальности и нетипичности для нынешней стадии развития науки обладает исключительным общенаучным потенциалом и может применяться и в иных дисциплинарных областях и тем более в междисциплинарном поиске. Наиболее приоритетной областью применения интегрального метода являются сферы, в которых исследуется данный нам лишь в единичном экземпляре феномен, не допускающий исследования с помощью компаративистики. Частными, но очень интересными и важными примерами такого уникального единичного объекта являются наша планета, которую изучает комплекс наук о Земле, и глобальные процессы, развивающиеся на Земле и особенно в биосфере — например, процессы биологические или социальные.

Современные исследования Земли и локализованных в пределах Земли систем и глобальных процессов базируются практически исключительно на дифференциальном подходе, предусматривающем выделение и исследование частных элементов и затем сравнительное их изучение, базирующееся на поиске и анализе отличий между ними. В то же время исследование единого целого через изучение общих, неспецифических особенностей его частей может также представлять исключительный интерес. Разумеется, в этих случаях интегральный научный метод должен быть адаптирован к специфической природе исследуемого домена с учётом его междисциплинарности, актуальных исследовательских задач, типов геоространственных данных и приёмов их обработки. Этого возможно достичь в понятийном каркасе, сформированном концепциями Цифровой Земли и Больших данных.

Цифровая Земля (Digital Earth) представляет собой международную и междисциплинарную инициативу [13] по созданию и развитию глобальной системы отображения обстановки, обеспечивающей одновременно и всемасштабность, и всеракурсность и позволяющей избежать искусственного членения единого образа обстановки на несовместимые друг с другом масштабно-зависимые реп-

лики. Это достигается за счёт перехода к использованию наряду с классическими условными знаками и беззнаковых средств в качестве средства представления геоконтекста [14]. Идея Цифровой Земли как особой информационной системы поддержки принятия решений была впервые сформулирована Альбертом Гором [15, 16]. Уже к середине XX века, за полвека до работ Альберта Гора эта перспектива ясно осознавалась и была неоднократно описана с обескураживающими полнотой и точностью различными авторами — М.А. Булгаковым в его широко известном «глобусе Воладна», Л.Н. Толстым, Р. Бакминстер Фуллером [17, 18]. Цифровая Земля нашла своё практическое воплощение в сервисе Google Earth, стартовавшем в 2005 году и с тех пор остающимся эталонным её образцом.

Другой основой понятийного каркаса интегрального метода являются так называемые Большие данные (Big Data). Кембриджский словарь английского языка определяет этот термин как «очень большие наборы данных, создаваемые посредством сети Интернет и допускающие хранение, восприятие и использование с помощью специальных средств и методов» [19]. В целом это определение можно считать удовлетворительным за исключением сомнительности сети Интернет как исключительного источника Больших данных. В рамках данного исследования определим Большие данные как идеологию работы с большими массивами не структурированных или слабо структурированных данных, которые могут использоваться для анализа сложных систем по их эмпирическим проявлениям с помощью наблюдений. Большие данные появились в результате осмысления и концептуального оформления ситуации стремительного роста объёмов данных о процессах, не имеющих исчерпывающего теоретического описания, и тесным образом связаны с визуализацией, поскольку основным на сегодняшний день и, вероятно, единственным способом выделения полезной информации из Больших данных является их пространственно распределённое представление, позволяющее обнаруживать в них характерные паттерны и с их помощью анализировать системы и их динамику. Фактически Большие данные являются результатом качественной эволюции наблюдательного метода. Количественная граница между обычными данными и Большими данными носит условный харак-

тер и может быть разной в различных задачах. В настоящее время Большие данные входят в нашу жизнь, активно трансформируясь в развёрнутые экосистемы [20].

Цифровая Земля естественно сочетается с Большими данными в силу гигантских объёмов накопленных в разных отраслях геопространственных данных различной природы. Уже появился термин Big Earth Data (Большие геоданные), издаётся одноимённый журнал Big Earth Data Journal [21]. Этот термин охватывает не только собственно географические и геологические данные, но и любую информацию, локализованную в геоцентрическом пространстве. Привлекательность больших геоданных обусловлена рядом причин: неудержимым ростом объёмов геолокализованных данных и связанным с этим зашумлением полезной информации, отсутствием исчерпывающего теоретического описания и вызванной этим необходимостью использования в исследованиях эмпирического материала, особым онтологическим статусом геоданных как локализованной в геопространстве информации любой природы и её важностью для широкого спектра дисциплин и, в первую очередь, для исследования живых систем, человека и общества, погружённых в геопространство и неразрывно связанных с ним. Поэтому переосмыслению геоданных в оптике подхода Больших данных нет в настоящее время удовлетворительной альтернативы. Кроме того, Большие данные уже находят широкое применение, в частности для углублённого изучения социальных процессов.

В этих условиях выглядит заманчивой перспектива использования огромных массивов уже накопленных данных для извлечения из них нового целостного знания о Земле, жизни, человеке, обществе как таковых на основе выявления общего в разнообразных его частных проявлениях. Естественно, это потребует использования в первую очередь интегрального исследовательского метода. Фактически применительно к большим геоданным он даст возможность осуществить их очень глубокую редукцию без риска потери значимой информации, предельно упрощая тем самым задачу визуального восприятия и раскрытия всего их когнитивного потенциала.

Одной из таких задач является проблема изучения пандемии COVID-19, уже ставшей одной из краеугольных вех новейшей ис-

тории человечества. Она поставила под сомнение безраздельно доминировавшее прежде представление об устойчивом развитии как инерционной гальванизации уже сложившихся тенденций [22] и привела к многочисленным жертвам, а также привела к ещё далёким от понимания долгосрочным последствиям для здоровья, благополучия и, возможно, даже для судеб всего человечества [23]. Пандемия COVID-19 фактически инициировала демонтаж существовавшего до неё мироустройства, усугубила сомнения в адекватности наших представлений о природе эпидемий³, привела к тотальному разрушению сложившейся системы мирового хозяйства [24] и беспрецедентному коллапсу целых отраслей промышленности и сферы услуг — фактически, к мировой войне нового типа [25]. Пандемия COVID-19 уникальна в мировой истории по полноте и детальности собранной информации, в том числе и в первую очередь – информации, локализованной в пространстве и во времени. Объём уже собранного материала может быть охарактеризован как Большие данные, а сами эти данные встроены в инфраструктуру Цифровой Земли. При этом смысл такой информации и природа процесса остаются неясными, а данные нуждаются в интерпретации с помощью адекватных методических инструментов.

3. «...Пандемия СПИДа стала первым знаком неадекватности современных эпидемиологических представлений реальному положению дел» [26]. «Пандемия — это не просто большая эпидемия. Это явление качественно иного порядка. На уровне субъективного восприятия каждая новая пандемия выглядит так, как будто она учитывает неудачи предыдущей и хотя бы на шаг опережает возможности науки данного исторического периода» [27].

Выводы

Интегральный метод естественным образом дополняет широко используемый дифференциальный метод и может быть применён в решении различных актуальных задач с помощью геопространственного инструментария, особенно в сочетании с Цифровой Землёй и Большими данными. Одной из наиболее плодотворных и актуальных из таких задач видится анализ пространственно-временной динамики пандемии COVID-19, поскольку она впервые в мировой истории была запротоколирована с высокой точностью и полнотой. Наиболее очевидной целью апробации интегрального метода могла бы стать селекция различных гипотез о природе пандемии COVID-19 по данным о её пространственной эволюции с использованием метода фальсификации Поппера [28]. Авторы планируют представить результаты такого исследования в следующей работе.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 20-47-01001.

Библиографический список

1. Kant, I. Critique of Pure Reason. 1781. Translated by: N.K. Smith, URL: <http://staffweb.hkbu.edu.hk/ppp/cpr/toc.html> (дата обращения: 12.02.2022).
2. McLelland C. V. The Nature of Science and the Scientific Method. URL: <https://www.geosociety.org/documents/gsa/geoteachers/NatureScience.pdf> (дата обращения: 12.02.2022).
3. Jarrard, R. D. Scientific methods: an online book. URL: <http://emotionalcompetency.com/sci/booktoc.html> (дата обращения: 12.02.2022).
4. Aristotle. Metaphysics. Book VIII, 1045a. 8–10.
5. Ralston S.J. Holism. In: Encyclopedia of Political Thought. Ed.: Gibbons, Michael T. John. Wiley & Sons, Ltd. 2015. DOI: 10.1002/9781118474396.wbept047.

6. Лосев А.Ф., Тахо-Годи А.А. Неоплатонизм, изложенный ясно, как Солнце // Контекст: литературно-теоретические исследования. 2003. С. 269–288.
7. Endsley M.R., Jones W.M. A Model of Inter and Intra-Team Situation Awareness: Implications for Design, Training and Measurement // In: McNeese, M., Salsa, E. and Endsley, M. (eds) (in press) *New Trends in Cooperative Activities: Understanding System Dynamics in Complex Environments*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society. 2001.
8. Vogt H., Hofmann B., Getz L. The new holism: P4 systems medicine and the medicalization of health and life itself // *Med Health Care and Philos.* Vol. 19. 2016. P. 307–323 <https://doi.org/10.1007/s11019-016-9683-8>.
9. Selye H. *The Stress of Life*. New York: McGraw-Hill Book Company. 1956. P. 500.
10. Selye H. *From Dream to Discovery. On Being a Scientist*. McGraw-Hill Publishing Company Limited, London. 1964. P. 418.
11. Rosch P. J. Reminiscences of Hans Selye, and the Birth of “Stress”. URL: <https://www.stress.org/about/hans-selye-birth-of-stress> (дата обращения: 12.02.2022).
12. Селье, Г. От мечты к открытию. М.: Прогресс, 1987. С. 368.
13. Guo H., Goodchild M.F., Annoni A. (eds) *Manual of Digital Earth*. Springer, Singapore. 2020. <https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3>.
14. Тикунов В.С., Ерёмченко Е.Н. Цифровая земля и картография // *Геодезия и картография*. №11. 2015. С. 6–15.
15. Gore A. *Earth in the balance: ecology and the human spirit*. - Houghton Mifflin Harcourt Publishing. Boston. 1992.
16. Gore A. *The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st Century*. Al Gore speech at California Science Center. Los Angeles California, on January 31, 1998.
17. Ерёмченко Е.Н. Предыстория концепции Цифровой Земли // *Геоконтекст*. Т. 7. № 1. 2019. С. 44–53.
18. Jackson D., Simpson R. *Digital City: An Urban Perspective on Digital Earth* / Guo H., Goodchild M.F., Annoni A. (eds) *Manual of Digital Earth*. Springer. Singapore. 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3_16.
19. Cambridge Dictionary. Big data (article). URL: <https://diction->

- ary.cambridge.org/ru/словарь/английский/big-data (дата обращения: 12.02.2022).
20. Curry, E. et al. The European Big Data Value Ecosystem / Curry, E., Metzger, A., Zillner, S., Pazzaglia, J.C., García Robles, A. (eds) The Elements of Big Data Value. Springer, Cham. 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68176-0_1.
 21. Big Earth Data Journal. URL: <http://www.tandfonline.com/toc/tbed20/current> (дата обращения: 12.02.2022).
 22. Un.org. Повестка дня в области устойчивого развития. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda/> (дата обращения: 12.02.2022).
 23. Singh, B.R. The misunderstood epidemiological determinants of COVID-19, Problems and Solutions / COVID-19 Pandemic: Crisis and Aftermath. 2020. URL:https://www.researchgate.net/publication/343069725_The_misunderstood_epidemiological_determinants_of_COVID-19_Problems_and_Solutions (дата обращения: 12.02.2022).
 24. Unctad.org. COVID-19 and Tourism: Assessing the Economic Consequences. 2020. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/ditcinf2020d3_en.pdf (дата обращения: 12.02.2022).
 25. Ерёмченко Е.Н., Ангелина И.А. Представление о пост-туризме будущего // Материалы III Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития туризма и индустрии гостеприимства». Донецк. 2021. С. 15-20.
 26. Супотницкий М.В. Историческая информация о вспышках чумы как источник идей для будущих научных открытий в чумологии / под ред. д. г. н. Д.В. Николаенко // Энвайронментальная эпидемиология и медицинская география. Ежегодник. Киев, 2011. С. 298-329.
 27. Супотницкий М. В. Глава 3. Глобальные пандемические циклы / Микроорганизмы, токсины и эпидемии. М., 2000. 376 с.
 28. Popper, K. Logik der Forschung. Cited by: Popper, K. (2005) The Logic of Scientific Discovery. Taylor & Francis. 1935. URL: <http://strangebeautiful.com/other-texts/popper-logic-scientific-discovery.pdf> (дата обращения: 12.02.2022).

References

1. Kant, I. Critique of Pure Reason. 1781. Translated by: N.K. Smith, URL: <http://staffweb.hkbu.edu.hk/ppp/cpr/toc.html> (accessed: 12.02.2022).
2. McLelland C. V. The Nature of Science and the Scientific Method. URL: <https://www.geosociety.org/documents/gsa/geoteachers/NatureScience.pdf> (accessed: 12.02.2022).
3. Jarrard, R. D. Scientific methods: an online book. URL: <http://emotionalcompetency.com/sci/booktoc.html> (accessed: 12.02.2022).
4. Aristotle. Metaphysics. Book VIII, 1045a. 8–10.
5. Ralston S.J. Holism. In: Encyclopedia of Political Thought. Ed.: Gibbons, Michael T. John. Wiley & Sons, Ltd. 2015. DOI: 10.1002/9781118474396.wbept047.
6. Losev A.F., Taho-Godi A.A. Neoplatonism, described as clear as Sun // Context: literature-theoretical studies. 2003. P. 269–288.
7. Endsley M.R., Jones W.M. A Model of Inter and Intra-Team Situation Awareness: Implications for Design, Training and Measurement // In: McNeese, M., Salsa, E. and Endsley, M. (eds) (in press) New Trends in Cooperative Activities: Understanding System Dynamics in Complex Environments. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society. 2001.
8. Vogt H., Hofmann B., Getz L. The new holism: P4 systems medicine and the medicalization of health and life itself // Med Health Care and Philos. Vol. 19. 2016. P. 307–323. <https://doi.org/10.1007/s11019-016-9683-8>.
9. Selye H. The Stress of Life. New York: McGraw-Hill Book Company. 1956. P. 500.
10. Selye H. From Dream to Discovery. On Being a Scientist. McGraw-Hill Publishing Company Limited, London. 1964. P. 418.
11. Rosch P.J. Reminiscences of Hans Selye, and the Birth of “Stress”. URL: <https://www.stress.org/about/hans-selye-birth-of-stress> (accessed: 12.02.2022).
12. Selye H. From Dream to Discovery. On Being a Scientist. Progress. M., 1987. P. 368.
13. Guo H., Goodchild M.F., Annoni A. (eds) Manual of Digital Earth. Springer, Singapore. 2020. <https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3>.

14. Tikunov V.S., Eremchenko E.N. Digital Earth and Cartography // *Geodesy and Cartography*. № 11. 2015. P. 6–15.
15. Gore A. *Earth in the balance: ecology and the human spirit*. Houghton Mifflin Harcourt Publishing. Boston. 1992.
16. Gore A. *The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st Century*. Al Gore speech at California Science Center. Los Angeles California, on January 31, 1998.
17. Eremchenko E.N. Prehistory of the Digital Earth Concept // *Geocontext*. V. 7. № 1. 2019. P. 44–53.
18. Jackson D., Simpson R. Digital City: An Urban Perspective on Digital Earth. / Guo H., Goodchild M.F., Annoni A. (eds) *Manual of Digital Earth*. Springer. Singapore. 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3_16.
19. Cambridge Dictionary. Big data (article). URL: <https://dictionary.cambridge.org/ru/словарь/английский/big-data> (accessed: 12.02.2022).
20. Curry, E. et al. The European Big Data Value Ecosystem / Curry, E., Metzger, A., Zillner, S., Pazzaglia, J.C., García Robles, A. (eds) *The Elements of Big Data Value*. Springer, Cham. 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68176-0_1.
21. Big Earth Data Journal. URL: <http://www.tandfonline.com/toc/tbed20/current> (accessed: 12.02.2022).
22. Un.org. Sustainable Development Agenda. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda/> (accessed: 12.02.2022).
23. Singh, B.R. The misunderstood epidemiological determinants of COVID-19, Problems and Solutions / *COVID-19 Pandemic: Crisis and Aftermath*. 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/343069725_The_misunderstood_epidemiological_determinants_of_COVID-19_Problems_and_Solutions (accessed: 12.02.2022).
24. Unctad.org. COVID-19 and Tourism: Assessing the Economic Consequences. 2020. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/ditcinf2020d3_en.pdf (accessed: 12.02.2022).
25. Eremchenko E.N., Angelina I.A. Understanding Future Post-Tourism // *Proc. Of III International scientific-practical conference «Modern trends of tourism and hospitality industry»*. Donetsk. 2021. P. 15-20.
26. Supotnitskiy M. V. Historical information about plague out-

- breaks as source of ideas for future discoveries in plague studies // Environmental epidemiology and medical geography. Annual journal. Edited by: Nikolaenko D.V. Kiev, 2011. P. 298-329.
27. Eremchenko E.N. Chapter 3. Global pandemic circles / Microorganisms, toxins, and epidemics. M., 2000. P. 376.
28. Popper, K. Logik der Forschung. Cited by: Popper, K. (2005) The Logic of Scientific Discovery. Taylor & Francis. 1935. URL: <http://strangebeautiful.com/other-texts/popper-logic-scientific-discovery.pdf> (accessed: 12.02.2022).

**Поступило в редакцию 11.04.2022,
принята к публикации 14.05.2022.**

Об авторах

Ерёмченко Евгений Николаевич, научный сотрудник географического факультета Московского государственного университета.
ScopusID: ...57188738753.
Researcher ID: P-5822-2014
Телефон: +7(903)7165170.
E-mail: eugene.ermchenko@gmail.com

Колосов Владимир Александрович, доктор географических наук, профессор географического факультета Московского государственного университета.
E-mail: vladimirkolossov@gmail.com

Тикунов Владимир Сергеевич, доктор географических наук, профессор географического факультета Московского государственного университета.
ScopusID: 7004523729.
Researcher ID: M-1475-2015.
Телефон: +8(495)9391339.
E-mail: vstikunov@yandex.ru

About the authors

Eremchenko Eugene Nikolaevich, researcher, geographic department, Lomonosov Moscow State University.
ScopusID: ...57188738753. Researcher ID: P-5822-2014.
Phone: +7(903)7165170.
E-mail: eugene.ermchenko@gmail.com.

- Kolosov** Vladimir Aleksandrovich, Doctor of Geography, Professor of the Faculty of Geography, Moscow State University
E-mail: vladimirkolossov@gmail.com
- Tikunov** Vladimir Sergeevich, professor, geographic department, Lomonosov Moscow State University,
ScopusID: 7004523729.
Researcher ID: M-1475-2015.
Тел. +8(495)9391339.
E-mail: vstikunov@yandex.ru.

25.00.35
УДК: 004.9:528.94

ГЕОИНФОРМАТИКА

**Каторгин И.Ю.,
Роман А.Н.**

Северо-Кавказский федеральный университет,
г. Ставрополь, Россия

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ГРАНИЦ СТАВРОПОЛЬЯ ЗА 1785–2021 ГОДЫ

DOI: 10.37493/2308-4758.2022.2.8

Введение.

Для изучения истории развития АДТ Ставрополя огромный научный интерес представляет обширный ряд старинных географических карт, созданных с начала освоения Северного Кавказа Россией. Геоинформационные технологии позволяют с высокой точностью выполнить обработку, пространственное согласование оцифрованных старинных карт, создание необходимых для пространственного анализа тематических слоев и визуализации результатов работы в виде серии карт, отображающей АДТ Ставрополя за разные периоды истории развития.

Материалы и методы

исследования.

В качестве основного источника пространственных данных использованы старинные карты, отобранные по 12 временным промежуткам развития системы АДТ Ставрополя за 237-летний период. Обработка и анализ пространственных данных проводилась в ГИС-пакете Mapinfo Professional и модуле Vertical Mapper. Построение геоинформационных моделей проводилось с использованием калькуляции растров, полученных в результате векторно-растровых преобразований границ единиц АДТ. Результаты картографирования визуализированы с использованием возможностей графического редактора Adobe Illustrator.

Результаты исследования

и их обсуждение.

Современные методы обработки и анализа пространственных данных, позволили провести пространственное согласование и картографирование отображенных на старинных картах границ АДТ. С использованием

технологий компьютерной графики созданы две разно-масштабные серии карт, которые могут использоваться в образовательных и научных целях для повышения восприятия информации об истории развития административно-территориального устройства Ставрополя. Построены модели продолжительности нахождения территорий в составе Ставрополя и устойчивости границ Ставропольского края.

Выводы.

Система административно-территориального деления Ставрополя прошла сложный эволюционный путь развития. Анализ геоинформационных моделей показал, что 2/3 площади края в современных границах образована территориями, входящими в его состав на протяжении более чем двух веков, а также, что современные границы Ставропольского края, кроме участка границы с Карачаево-Черкесской Республикой, имеют историческую зрелость.

Ключевые слова: старинные карты, пространственный анализ, моделирование, геоинформационные технологии, административно-территориальное деление, Ставрополье.

**Katorgin I.Yu.,
Roman A.N.**

North Caucasus Federal University,
Stavropol, Russia

Mapping and Spatial Analysis of the Development of the Administrative Borders of Stavropol Region in 1785–2021

Introduction.

To study the history of the development of the ATD of the Stavropol Territory, an extensive series of ancient geographical maps created since the beginning of the development of the North Caucasus by Russia is of great scientific interest. Geoinformation technologies allow processing, spatial coordination of digitized old maps with optimal accuracy, creation of thematic layers necessary for spatial analysis and visualization of the results of work in the form of a series of maps displaying the ATD of the Stavropol region for different periods of development history.

Materials and research

methods.

As the main source of spatial data, old maps were used, selected according to 12 stages of the development of the Stavropol region ATD system over a 237-year period. For the processing and analysis of spatial data, the functionality of the GIS package Mapinfo Professional and the Vertical Mapper module were used. The construction of geoinformation models was carried out using the calculation of rasters obtained as a result of vector-raster transformations of the boundaries of ATD units. The mapping results are visualized using the capabilities of the Adobe Illustrator graphics editor.

Results of the study and

their discussion.

Modern methods of processing and analyzing spatial data have made it possible to carry out spatial coordination and mapping of the borders of the ATD displayed on ancient maps. Using computer graphics technologies, two series of maps of different scales have been created, which can be used for educational and scientific purposes to increase the perception of information about the history of the development of the administrative-territorial structure of the Stavropol Territory. Models are constructed for the duration of the territories being part of the Stavropol Territory and the stability of the boundaries of the Stavropol Territory.

Results.

The system of administrative-territorial division of the Stavropol Territory has gone through a complex evolutionary path of development. The analysis of geoinformation models showed that 2/3 of the area of the region within the modern borders was formed by the territories that have been part of it for more than 2 centuries, and also that the modern borders of the Stavropol Territory, except for the border with the Karachai-Circassian Republic, have a historical maturity.

Key words:

ancient maps, spatial analysis, modeling, geoinformation technologies, administrative-territorial division, Stavropol region.

Введение

Административно-территориальное деление (АТД) как экономико-географическое явление имеет свое современное состояние и определенную историю развития, отличительные особенности и различные проекты его усовершенствования.

В последнее время из-за возросшего интереса к истории административно-территориальных преобразований для различных регионов России появилось значительное количество работ, посвященных этой тематике. Не обойден вниманием и Ставропольский край. В качестве примера можно привести фундаментальную работу, проведенную Комитетом Ставропольского края по делам архивов и Государственным архивом Ставропольского края, посвященную административно-территориальному устройству Ставрополья за период с конца XVIII в. по 1920 г. [1]. Богатейший материал, опубликованный в этой работе, к сожалению, не сопровождается картографическими изображениями, что снижает восприятие информации.

Ставропольский край, неофициально называемый Ставрополем, в настоящее время занимает Центральное, частично Западное и Восточное Предкавказье. За свою относительно недолгую историю существования, начавшуюся с выделения Кавказской губернии из Астраханской в 1785 г., регион как административно-территориальная единица прошел динамичную историю развития. В ходе которой происходили укрупнения и разукрупнения сети АТД, многочисленные административно-территориальные переустройства на различных иерархических уровнях, несколько раз менялись административные центры, названия и статус административно-территориальных единиц первого ранга иерархии, осуществлявших управление Ставрополем.

Для изучения истории развития АТД Ставрополья огромный научный интерес представляет обширный ряд географических карт, созданных с начала освоения Северного Кавказа Российской Империей. В последнее десятилетие появились специализированные сайты, предоставляющие возможность загрузки старинных карт и тем самым способствующих проведению историко-географических исследований.

Технологии геоинформационного картографирования позволяют с оптимальной точностью выполнить обработку, пространственное согласование оцифрованных старинных карт, создание необходимых для пространственного анализа тематических слоев [3] и визуализации результатов работы в виде серии карт, отображающей АТД Ставрополя за разные периоды истории развития.

Материалы и методы исследования

В качестве основного источника пространственных данных использованы старинные карты [5, 6, 8–16, 18], отобранные по 12 временным промежуткам между изменениями АТД Ставрополя на уровне границ 1-го ранга (границ губернии или края). Выделение временных промежутков необходимо для создания растровых покрытий с атрибутом продолжительности нахождения территории в составе Ставрополя. Всего исследованием охвачен период 1785–2021 гг.

На первом этапе работы была осуществлена привязка растров старинных карт к географическим координатам. Определенные трудности здесь вызвали неопределенность в отношении проекций и систем координат, а также отсутствие картографической сетки на некоторых дореволюционных картах. Задача была решена путем использования привязки по опорным точкам, идентичным для старинной и современной карт (населенные пункты, места слияния рек), с последующей полиномиальной трансформацией растров.

В дальнейшем, по временным промежуткам существования той или иной системы АТД Ставрополя, были созданы векторные слои, включающие в себя сведения о положении административных границ разного иерархического уровня, вплоть до уездов, приставств кочующих народов, округов и районов.

В качестве основного инструмента векторизации растров и пространственного анализа был выбран хорошо зарекомендовавший себя геоинформационный пакет Mapinfo 12.0 с модулем расширения Vertical Mapper 3.7, обладающие достаточным для дан-

ного исследования функционалом инструментов моделирования и анализа данных. Моделирование продолжительности нахождения территорий в составе Ставрополя (здесь под Ставрополем понимаются Кавказская губерния, Ставропольская губерния, Орджоникидзевский край и Ставропольский край, сменявшие друг друга как единицы первого ранга иерархии АТД за период 1785–2021 гг.) проводилось с помощью калькулятора растров путем сложения растеризованных контуров единиц АТД (рис. 5) с атрибутом времени нахождения в составе Ставрополя. На основе анализа полученного растрового слоя по методу, изложенному в работах А.П. Васильева, а также А.Г. Монакова и С.И. Евдокимова [2, 7], построена карта длительности существования участков современной границы Ставропольского края.

Результаты исследования и их обсуждение

Современные границы Ставропольского края — результат 237-летнего исторического процесса. Основой для картографирования и пространственного анализа развития АТД региона послужили 1 современная и 11 старинных карт и картосхем, выбор которых осуществлен в соответствии с историческими эпохами и периодами развития АТД как Ставрополя, так и России [1, 4, 17, 18].

Имперская эпоха разделена на 3 периода.

1) Период с 5 мая 1785 г. по 30 августа 1790 г.

Астраханская губерния была преобразована в Кавказское наместничество, состоявшее из Астраханской и Кавказской областей (губерний). Центром Кавказского наместничества и Кавказской губернии был назначен г. Екатериноград (сейчас ст. Екатериноградская). Административная самостоятельность Кавказской области ликвидирована 30 августа 1790 г., уезды области переподчинены Астраханской губернии с центром в г. Астрахани. Екатериноград утратил статус столицы наместничества.

Для картографирования границ АТД за этот период использована карта Кавказского наместничества из атласа Вильбрехта 1792 г. [10] (рис. 1, 2).

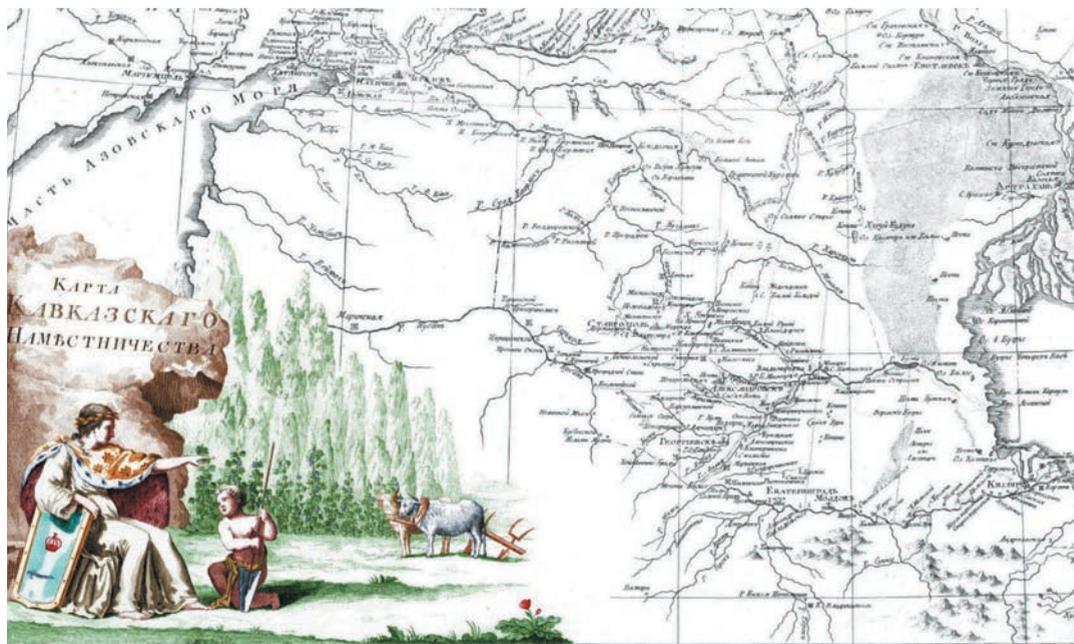


Рис. 1.

Фрагмент карты Кавказского наместничества [Российский атлас..., 1792].

Fig. 1. Fragment of the map of the Caucasian governorship [Russian atlas..., 1792].



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ к периоду 1785-1917 гг.

Населенные пункты	
● СТАВРОПОЛЬ	Губернские и областные центры
▲ Александровское	Уездные и окружные центры, центры отделов
▲ Дикая степь	Станки приставов
⊙ ГЕОРГИЕВСК	Города
○ Московия	Крепости
⊞ Восточная	Редуты и укрепления
Пути сообщения	
—	Военные дороги (показаны на карте 1785-90 и 1808 гг.)
Границы	
—	губерней и областей
- - -	уездов, отделов, округов и приставств

До 5 мая 1785 г. заселенная территория Северного Кавказа входила в состав Астраханской губернии. 5 мая 1776 г. Екатерина II утвердила доклад Астраханского генерал-губернатора князя Г.А. Потемкина о заселении пограничных по Тереку земель Волгского полком. 24 апреля 1777 г. высочайше утвердил доклад Астраханского, Нижегородского и Английского генерал-губернатора Г.А. Потемкина об учреждении оборонительной линии от Моздок до Азова в количестве 10 крепостей. К осени 1777 была построена Ставропольская крепость. 5 мая 1785 г. было образовано Кавказское воеводство, состоявшее из Астраханской и вновь образованной Кавказской областей (губерний). Ставрополь получил статус города. 30 августа 1790 г. Кавказское воеводство и Кавказская губерния были ликвидированы. Территория Кавказской губернии включена в состав Астраханской губернии с центром в г. Астрахань. Город Екатеринбург и Екатеринбургский уезд были учреждены, населенные пункты распределены между соседними уездами.

Территория - 93 500 км². Центр - г. Екатеринбург

На 1785-1790 года в губернии:
Уездов - 6
Города: Екатеринбург, Ставрополь, Георгиевск, Александров, Моздок, Кизляр

Примечание: Названия уездов приведены для Екатеринбургской губернии. На карте показаны только главные дороги на конец XVIII - начало XIX вв. для остального времени дороги сеть не приводится.

Рис. 2. Карта АДТ Кавказской губернии в 1785–1790 гг. масштаба 1:2000000, составленная по старинной карте.

Fig. 2. Map of the ATD of the Caucasian province in 1785-1790 scale 1:2000000, compiled according to an old map.

2) Период с 15 ноября 1802 г. по 8 февраля 1860 г.

В 1802 г. произошло повторное выделение Кавказской губернии из состава Астраханской. Губернским городом назначен Георгиевск, ставший одновременно центром по управлению Кавказской и Астраханской губерний, а также Закавказья [4]. В 1824 г. центр области (губернии) переведен в г. Ставрополь. В 1847 г. Кавказскую область переименовали в Ставропольскую губернию.

Для картографирования границ АТД (рис. 3) использованы: Карта Кавказской губернии из Карманного почтового атласа Российской Империи 1808 г. [6] и Карта Ставропольской губернии из Подробного атласа Российской Империи 1860 г. [9].

3) Период с 8 февраля 1860 г. по начало 1918 г.

В 1860 г. созданы Кубанская область с центром в г. Екатеринодаре и Терская — с центром в г. Владикавказе. К новым областям часть земель юго-запада и юга Ставропольской губернии, включая города Георгиевск, Моздок и Кизляр. Границу между Ставропольской и Астраханской губерниями перенесли с Кумы на её рукав — Гайдук, участок границы от Восточного Маныча до начала Гайдука спрямили. В 1867 г. упразднен Кизлярский уезд, его южная часть передана Терской области, часть оставшегося в Ставропольской губернии Караногайского приставства передали в 1888 г. В 1874 г. после упразднения Пятигорского уезда г. Пятигорск с окружающими его населенными пунктами был также передан в состав Терской области.

Для картографирования границ АТД (рис. 3) использованы: Статистическая карта Ставропольской губернии И.В. Бентковского 1874 г. [16] и Дорожная карта Кавказского края 1903 г. [5].

Советско-постсоветская эпоха также разделена на 3 периода.

4) Период с начала 1918 г. по 13 февраля 1924 г.

В начале 1918 г. на территории Северного Кавказа устанавливается Советская власть и провозглашаются Кубанская, Черноморская, Ставропольская и Терская советские республики в

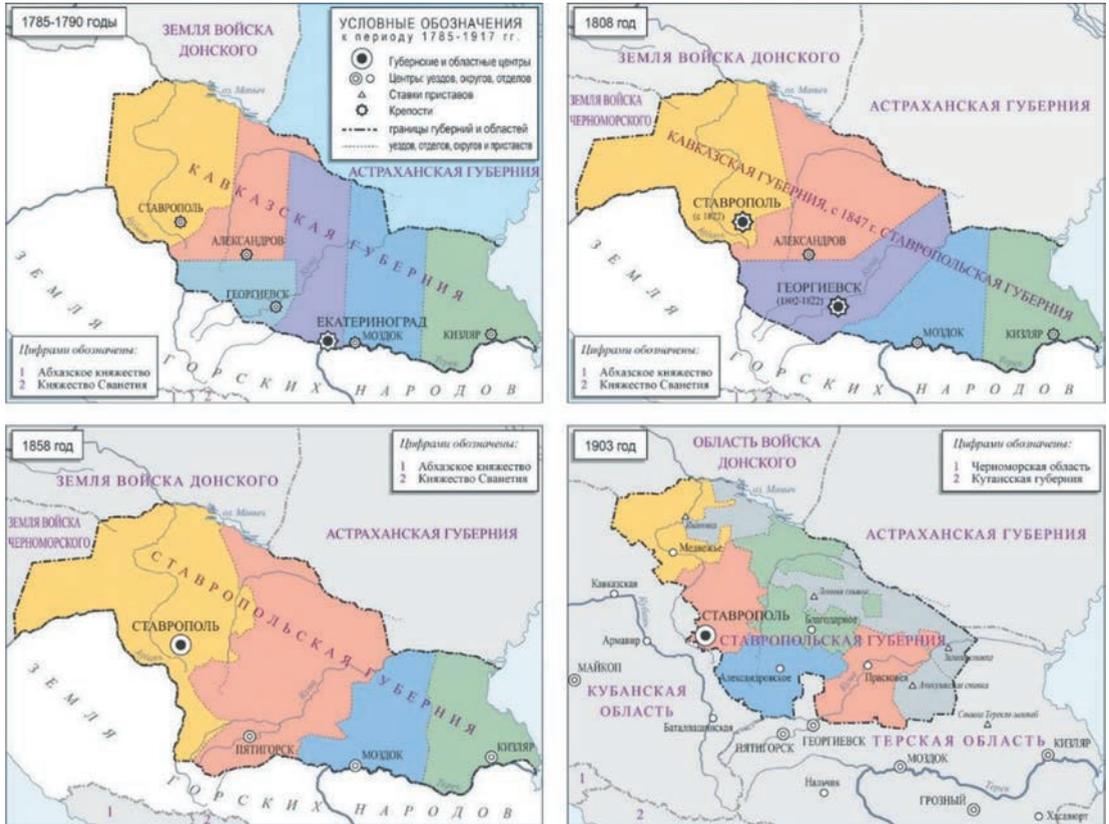


Рис. 3.

Серия мелкомасштабных карт АТД Ставрополя масштаба 1:6 000 000, имперская эпоха.

Fig. 3. A series of small-scale maps of the ATD of Stavropol region, scale 1:6 000 000, imperial era.

июле 1918 г. объединенные в Северо-Кавказскую Советскую республику с центром в г. Екатеринодаре. После занятия Екатеринодара частями Добровольческой армии 17 августа 1918 г. центр республики переместился в Пятигорск. К концу 1918 г., после захвата значительной части Северного Кавказа белыми, новая республика прекратила свое существование. В начале 1920 г., после разгрома Вооруженных сил Юга России, происходит постепенное восстановление Советской власти на территории Северного Кавказа. Период заканчивается 13 февраля 1924 г. упразднением Ставропольской губернии.

Картографирование единиц АТД не проводилось, при пространственном анализе использовалось АТД с карты 1903 г.

5) *Период с 13 февраля 1924 г. по 15 декабря 1936 г.*

В 1923 г. началась реформа административно-территориального деления СССР, суть которой состояла в замене старых губерний и областей огромными по площади экономическими областями, разделенными последовательно на округа, районы и сельсоветы. На Северном Кавказе такие изменения начались 13 февраля 1924 г., с создания Юго-Восточной области с центром в г. Ростове-на-Дону, объединившей территории упраздненных Ставропольской губернии, Терской губернии, Донской и Кубано-Черноморской областей.

Следующий этап укрупнения единиц административно-территориального деления в регионе произошел 16 октября 1924 г. Юго-Восточная область и административные единицы бывшей Горской АССР были объединены в Северо-Кавказский край с центром в Ростове-на-Дону. В 1930–1931 гг. для упрощения управление территории края окружное деление упразднили, районы перешли в прямое подчинение администрации края.

В начале января 1934 г. край разукрупнили, выделив из его состава Азово-Черноморский край с центром в Ростове-на-Дону. Центром Северо-Кавказского края стал Пятигорск, а с января 1936 г. — город Орджоникидзе (Владикавказ). Следующее разукрупнение произошло в конце 1936 г. путем выведения из состава края Дагестанской АССР, а также Кабардино-Балкарской, Северо-

Осетинской и Чечено-Ингушской АО, преобразованных после выхода в АССР.

Для картографирования границ АД (рис. 4) использованы: Схематическая карта административного деления Северо-Кавказского края на 1 января 1927 г. [12] и Бланковая карта административного деления Северо-Кавказского края на 1 июля 1935 года [11].

б) Период с *15 декабря 1936 г.* по настоящее время.

Северо-Кавказский край 13 марта 1937 года переименовывают в Орджоникидзевский (по г. Орджоникидзе — административному центру). Вскоре, 26 мая 1937 г., центр края переводят в г. Ворошиловск (Ставрополь с 5 мая 1935 года по 12 января 1943 г.). В составе края остаются Карачаевская и Черкесская АО, а с 22 февраля 1938 года присоединяют также Кизлярский округ, образованный из пяти районов Дагестанской АССР.

В начале 1943 г. Орджоникидзевский край переименовывают в Ставропольский. В конце 1943 — начале 1944 гг. ликвидируют ряд автономий народов, обвиненных в сотрудничестве с врагом. В октябре 1943 г. администрации Ставропольского края переподчиняют Зеленчукский, Усть-Джегутинский и Малокарачаевский районы упраздненной Карачаевской АО, в конце декабря — Приютненский район бывшей Калмыцкой АССР. В марте 1944 г. из краевого подчинения к Северо-Осетинской АССР переводят Моздокский район, а к Грозненской области, созданной на месте упраздненной Чечено-Ингушской АССР — районы Кизлярского округа. В первой половине 1950-х укрупнение Ставропольского края продолжилось: в январе 1952 г. из Астраханской области передан Степновский район (переименован в Степной район), в марте 1955 г. из Грузинской ССР — Клухорский район (в 1957 г. переименован в Карачаевский).

Упраздненные в 1943–1944 гг. национальные автономии восстанавливают 9 января 1957 г. В частности, в составе Ставропольского края были образованы Калмыцкая и Карачаево-Черкесская АО, которым вернули бывшие в их составе районы. Из упраздненной Грозненской области в состав края возвращают Ачикулак-

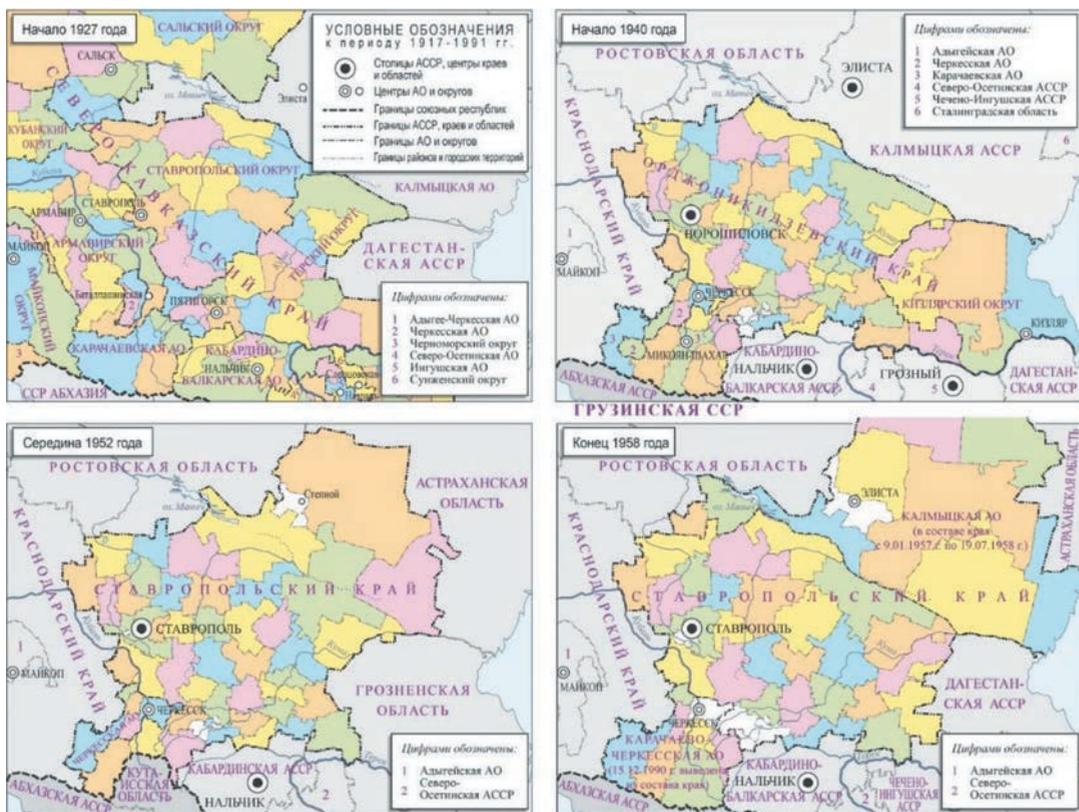


Рис. 4.

Часть серии карт АДТ Ставрополя масштаба 1:6 000 000, советская эпоха.

Fig. 4. Part of the ATD Stavropol region map series, scale 1:6 000 000, Soviet era.

кий и Каясулинский районы. После этих преобразований Ставропольский край до 19 июля 1958 г., даты выведения из его состава Калмыцкой АО, представлял из себя огромный регион площадью 156,4 тыс. км².

К современным границам край пришел 30 ноября 1990 г., когда Совет народных депутатов Карачаево-Черкесской АО объявил о выходе из состава Ставропольского края, выход был узаконен II съездом народных депутатов РСФСР 15 декабря 1990 г.

Для картографирования границ АТД (рис. 4) использованы: Бланковая карта административного деления Орджоникидзевского края на 1940 г. [8], Административная карта Ставропольского края 1952 г. [13], Общегеографическая карта Ставропольского края 1958 г. [14], Почвенная карта Ставропольского края 1978 г. [15]. Векторный слой современных границы края получен с Публичной кадастровой карты РФ.

Векторные слои единиц АТД и картографические основы, составленные с использованием старинных карт, послужили для создания 2-х серий карт, посвященных истории развития АТД Ставрополья. Карты построены в графическом редакторе Adobe Illustrator в масштабах 1:2 000 000 и 1:6 000 000.

Карты крупномасштабной серии имеют 12-страничную компоновку, исходящую из количества тематических сюжетов. Каждая карта серии содержит текст, кратко описывающий административно-территориальные преобразования за картографируемый период. Карты мелкомасштабной серии скомпонованы на одном листе, представлены 9-ю тематическими сюжетами. Примеры карт серий приведены на рисунках 2–4.

На протяжении трех веков неоднократно менялся «картографический облик» Ставрополья (рис. 5). Это вызывает интерес к такой характеристике, как продолжительность нахождения территорий административных единиц различного иерархического уровня в составе Ставрополья за время обладания этим регионом административной самостоятельности как единицы АТД первого уровня.

Картометрия геоинформационной модели продолжительности нахождения территорий в составе Ставрополья (рис. 6), показала,

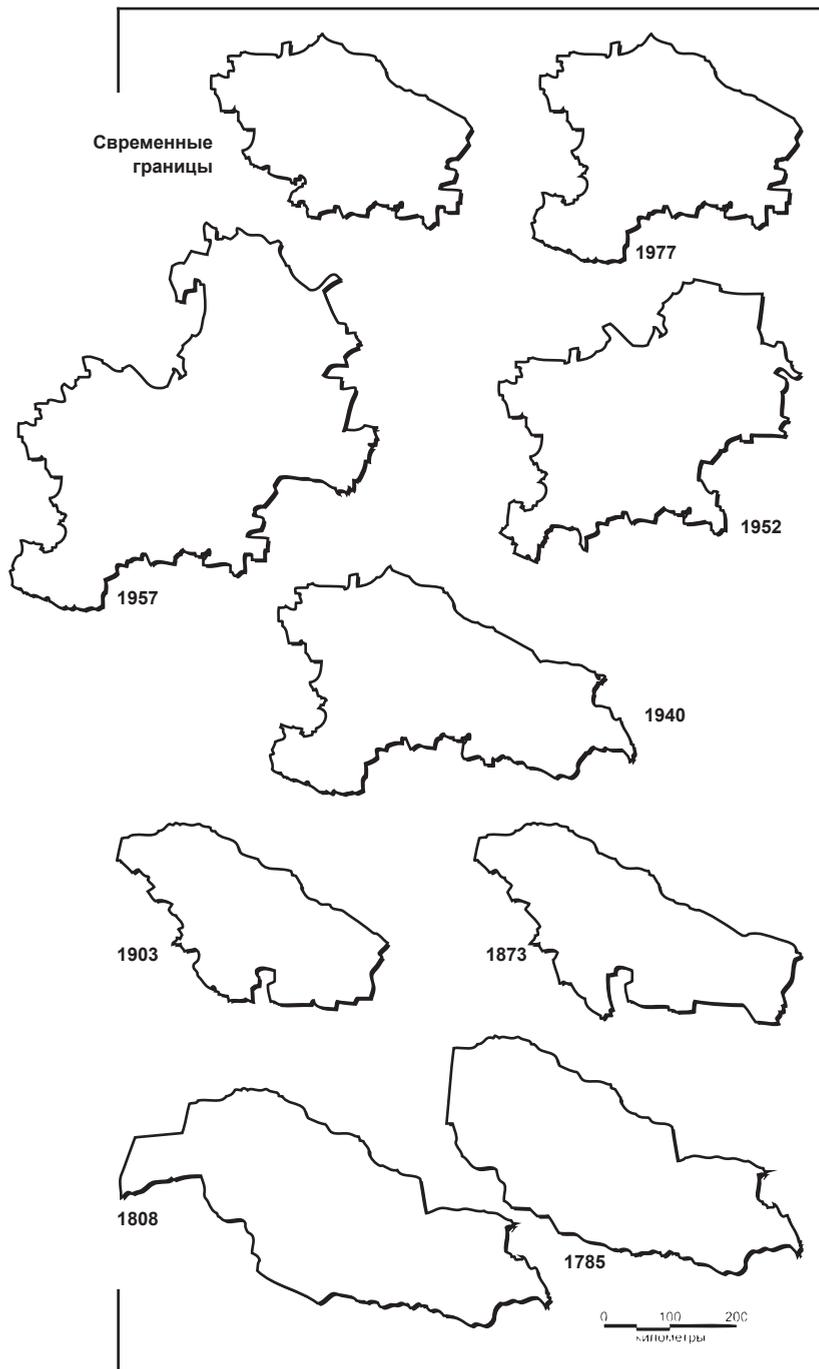


Рис. 5.

Географические контуры Ставрополя, составленные по старинным картам.

Fig. 5. Geographic contours of the Stavropol region, compiled according to old maps.

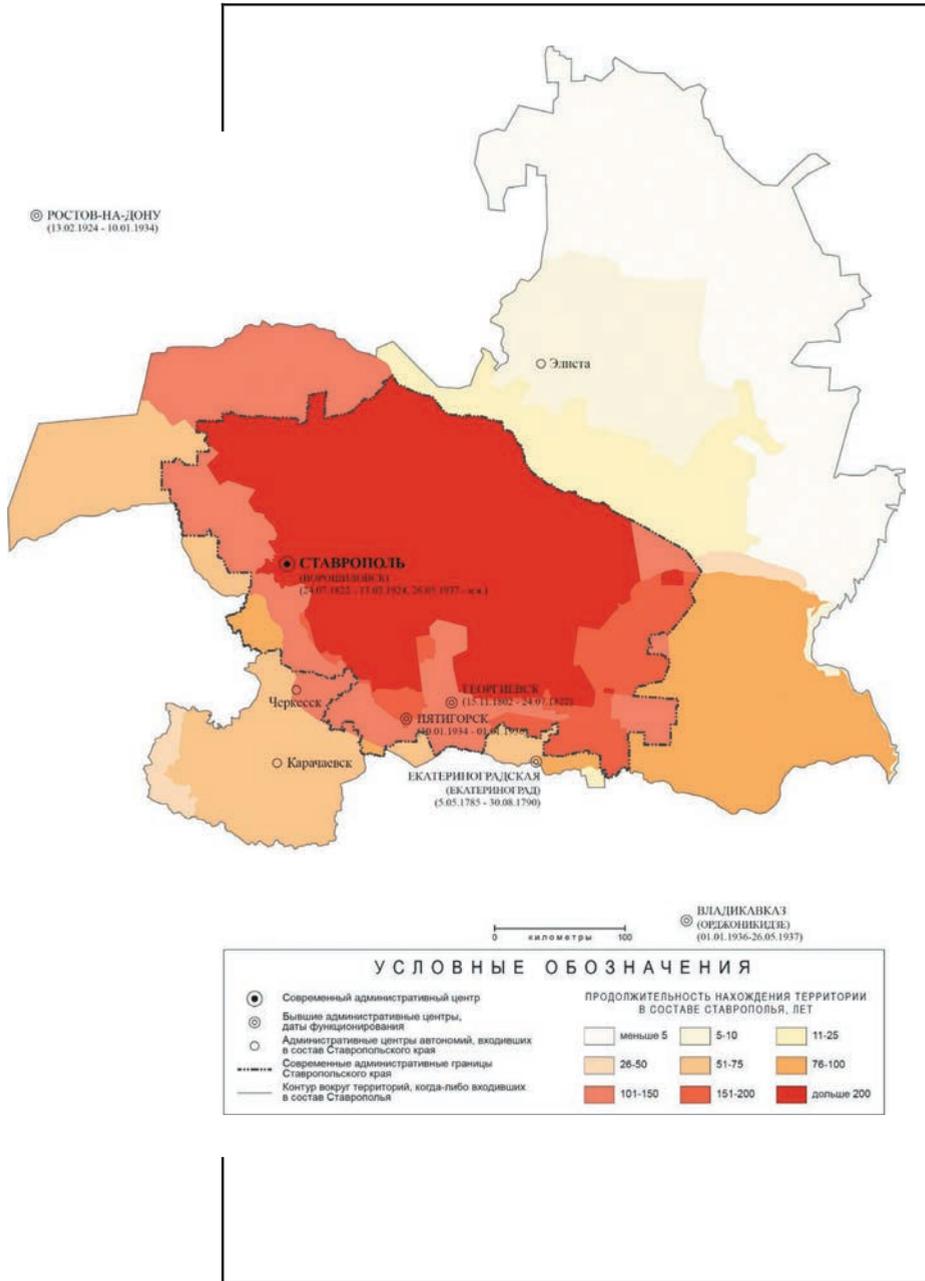


Рис. 6. Продолжительность нахождения территорий в составе Ставрополя, как единицы АТД первого уровня, за периоды 1795–1790, 1802–1924, 1936–2021 гг.
Fig. 6. The duration of the territories being part of the Stavropol Territory, as units of the ATD of the first level, for the periods 1795-1790, 1802–1924, 1936–2021.

что земли, входящие в состав Ставрополя со времени образования Кавказской губернии (более 200 лет), имеют площадь 43 330 км², и целиком лежат в современных границах края. Остальную треть территории края занимают земли, находящиеся в его составе более 100 лет. Исключение составляет небольшой «молодой» участок, занимающий западную половину Кочубеевского муниципального округа, присоединенный в советское время после упразднения Северо-Кавказского края в 1936 г.

Если просуммировать все площади территорий, входивших в состав Ставрополя за 237-летний период существования как административной единицы первого уровня, мы получим «регион» общей площадью в 190 715 км², простиравшийся с запада на восток на 662 км и с юго-запада на северо-восток на 655 км.

Используя модель продолжительности нахождения территорий в составе Ставрополя был проведен анализ устойчивости (длительности существования) современных границ края. С учетом длительности существования современные и исторические политико-административные границы делят на долговременные (существующие более 50 лет, в т.ч. наиболее долговременные, возраст которых превышает 100 лет) и кратковременные (менее 50 лет) [7]. Из 1754 км общей протяженности современных границ Ставропольского края, 450 км (25,7%) приходятся на наиболее долговременные границы, установившиеся еще в имперскую эпоху, проходящие в основном по естественным водным рубежам – озерам и рекам Кумо-Маньчской впадины, руслам Кубани, Малки и Терека. Еще 1085 км (61,9%) границы являются долговременными (50–100 лет). Наиболее молодым является 190-километровый участок (10,8%) границы с Карачаево-Черкесской Республикой, существующий 31 год (рис. 7).

Выводы

Использование геоинформационных технологий выступило инструментом анализа развития системы АТД Ставрополя. Современные методы обработки и анализа пространственных данных, позво-

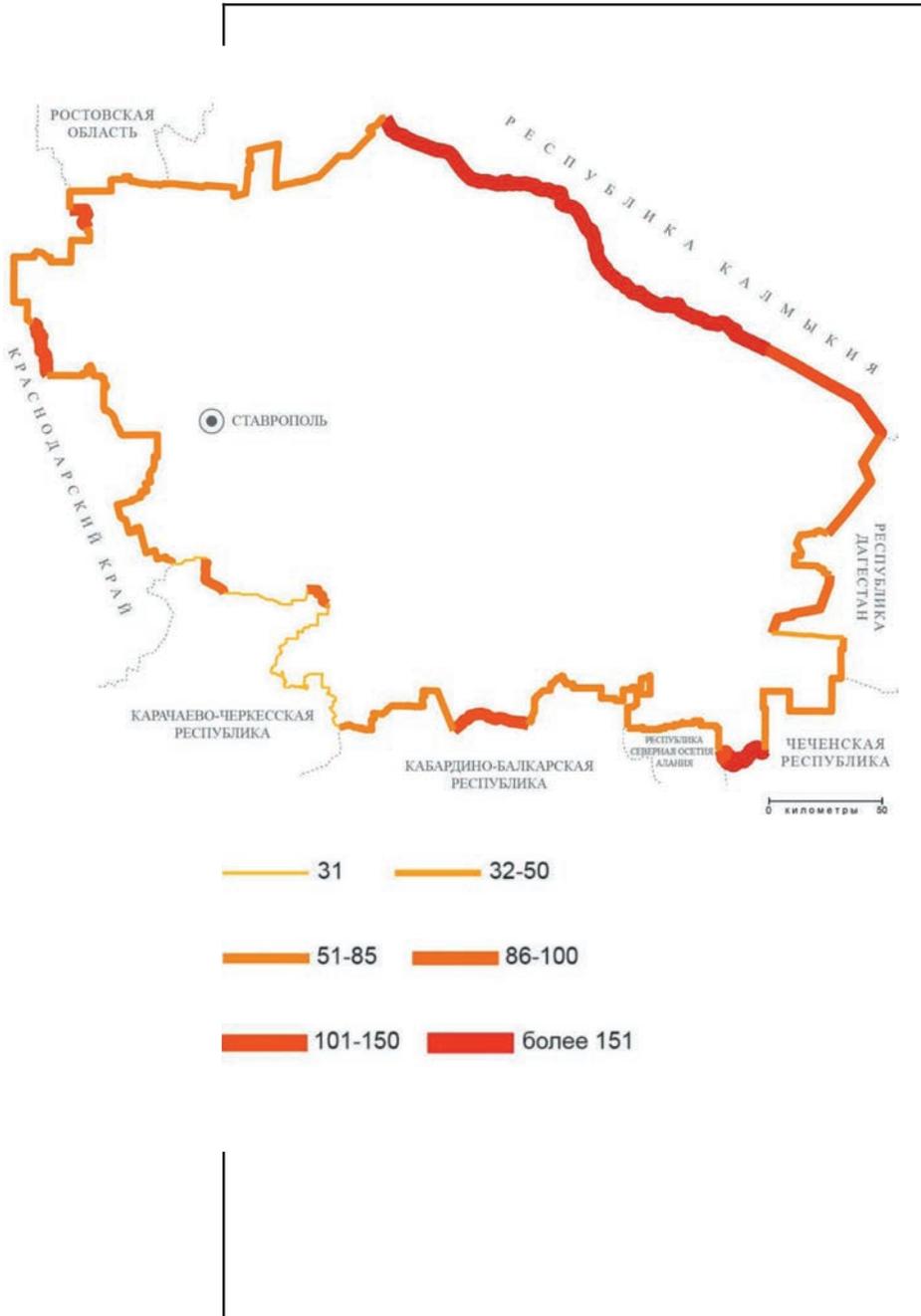


Рис. 7.

Длительность существования участков современной границы Ставропольского края.

Fig. 7. The duration of the existence of sections of the modern border of the Stavropol region.

лили создать геоинформационные модели по отображенным на старинных картах границам АД, а технологии компьютерной графики – создать серии картографических изображений для повышения восприятия информации об истории развития административно-территориального устройства Ставрополя.

Анализ геоинформационных моделей позволил сделать вывод, что большая часть края в современных границах образована территориями, входящими в его состав на протяжении более чем 2-х веков. Анализ устойчивости современных границ Ставропольского края показал их историческую зрелость.

Библиографический список

1. Административно-территориальное устройство Ставрополя с конца XVIII века по 1920 год. Ставрополь: Издательско-полиграфическая фирма «Ставрополье», 2008. 399 с.
2. Белозеров А.А., Панин А.Н., Приходько Р.А., Чихичин В.В., Черкасов А.А. Этнический атлас Ставропольского края. Ставрополь: изд-во «ФОК-Юг», 2014. 314 с.
3. Васильев А. П. Устойчивость границ департаментов Франции и земель Германии: сравнительный анализ // Псковский регионологический журнал. 2019. №3 (39). С. 23–35.
4. Ватлина Т.В., Евдокимов С.П. Картографический анализ изменения административно-территориального деления территории Смоленской области до 1939 г. // Географическая среда и живые системы. 2021. №4. С. 6–18.
5. Герман Р. Э. Направления и специфика деятельности гражданских административных органов на Ставрополье в конце XVIII – начале 60-х гг. XIX в. // Вестник государственного и муниципального управления. 2014. №3. С. 6–13.
6. Кавказский край: дорожная карта / сост. и литографирована в Военно-топографическом отделе Кавказского воен-

ного округа; гравировал И. Михайлов. 1:840000. Тифлис, 1903. 24 л.

7. Карманный почтовый атлас всей Российской империи, разделенной на губернии, с показанием главных почтовых дорог / сочинен, гравирован и печатан в 1808 году при собственном Его Императорского Величества Депо карт. Санкт-Петербург, 1808. 79 с.
8. Манаков А.Г., Евдокимов С.И. Устойчивость границ Псковского региона: историко-географический анализ // Псковский регионологический журнал. 2010. № 10. С. 29–48.
9. Орджоникидзевский край: бланковая карта / сост. и издана Управлением Землеустройства КрайЗО. 1:1000000. Ворошиловск, 1940. 1 л.
10. Подробный атлас Российской Империи с планами главных городов, состоящий из 22 карт / подгот. к издательству картографическим заведением Н. Зуева в 1860 г. СПб.: Типография И.И. Глазунова и Комп., 1860. 39 с.
11. Российский атлас из сорока четырех карт состоящий и на сорок два наместничества империю разделяющий / соч. грав. и печ. при Горном уч-ще; соч. А. Вильбрехт. СПб., 1792. С. 43.
12. Северо-Кавказский край: бланковая карта административного деления на 1 июля 1935 г. // сост. Северо-Кавказской Краевой Плановой Комиссией. 1:2000000. Харьков, 1935. 1 л.
13. Северо-Кавказский край: схематическая карта административного деления на 1 января 1927 г. // Всесоюзная перепись населения 1926 г. Т. V. 1:3937000. Москва: ЦСУ, 1928. 1 л.
14. Ставропольская губерния: административная карта / сост. и подгот. к печати Картографической фабрикой №3 ГУГК; отв. ред. М.Н. Кочешкова. 1:600000. Москва: ГУГК, 1952. 1 л.
15. Ставропольский край: общегеографическая карта / сост. и подгот. к печати Тбилисской картографической фабрикой ГУГК; ред. М.Н. Кочешкова. 1:600000. Москва: ГУГК МВД СССР, 1958. 1 л.
16. Ставропольский край: почвенная карта / сост. и подгот. к печати Кубанским государственным проектным институтом по землеустройству Кубаньгипрозем Ставропольский

- филиал; директор Л.Н. Ушаков. 1:300000. Картографический филиал Росземпроекта, 1978. 4 л.
17. Ставропольский край: статистическая карта / сост. по сведениям 1874 г. членом секретарем губернского статистического комитета И. Бентковским; литография Военно-топографического отдела Кавказского военного округа. 1:420000. Изд-во. Ставроп. губ. стат. Комитета, 1874. 1 л.
 18. Тархов С.А. Историческая эволюция административно-территориального и политического деления России // Регионализация и развитие России: географические процессы и проблемы / под ред. А.И. Трейвиша и С.С. Артоболевского. Москва: Эдиториал УРСС, 2001. С. 191–213.
 19. Турун П.П. История административно-территориального деления Ставрополя в XX веке // Миграции и пространственная мобильность в сельско-городском континууме России в XX веке: управляемость, адаптивность и стратегии преодоления. Российско-немецкая научная конференция (Ставрополь, 16–18 июня 2011 г.): сборник рабочих материалов. Ставрополь: Изд-во СГУ, 2011. С. 237–242.
 20. Цуциев А.А. Атлас этнополитической истории Кавказа (1774–2004). Москва: Европа, 2006. 128 с.

References

1. Administrative-territorial structure of the Stavropol region from the end of the 18th century to 1920. Stavropol: OJSC "Publishing and Printing Company "Stavropolie", 2008. 399 p.
2. Belozеров А.А., Панин А.Н., Приходко Р.А., Чикхичин В.В., Черкасов А.А. Ethnic atlas of the Stavropol Territory – Stavropol: publishing house FOK-Yug, 2014. 314 P.
3. Vasiliev A. P. Stability of the borders of the departments of France and the lands of Germany: a comparative analysis // Pskov regional journal. 2019. No. 3 (39). P. 23–35.
4. Vatlina T. V., Evdokimov S. P. Cartographic analysis of changes in the administrative-territorial division of the territory of the Smolensk region until 1939 // Geographical environment and living systems. 2021. No. 4. С. 6–18.

5. German R. E. Directions and specifics of the activities of civil administrative bodies in the Stavropol region in the late 18th – early 60s. XIX centuries // Bulletin of State and Municipal Administration. 2014. No. 3. P. 6–13.
6. Caucasus region: road map / compiled and lithographed in the Military Topographic Department of the Caucasian Military District; engraved by I. Mikhailov. 1:840000. Tiflis, 1903. 24 p.
7. A pocket postal atlas of the entire Russian Empire, divided into provinces, with an indication of the main postal roads / composed, engraved and printed in 1808 at His Imperial Majesty's own Map Depot. St. Petersburg, 1808. 79 p.
8. Manakov A.G., Evdokimov S.I. Stability of the borders of the Pskov region: historical and geographical analysis // Pskov regional journal. 2010. No. 10. P. 29–48.
9. Ordzhonikidze region: blank map / compiled and published by the Department of Land Management of the KraiZO. 1:1000000. Voroshilovsk, 1940. 1 sheet.
10. A detailed atlas of the Russian Empire with plans for the main cities, consisting of 22 maps / prepared for publishing by the cartographic institution of N. Zuev in 1860. S. Pb.: Printing house of I. I. Glazunov and Company, 1860. 39 p.
11. A Russian atlas of forty-four maps, dividing the empire for forty-two governorships / composed, engraved and printed at the Mining School; composed by A. Wilbrecht. St. Petersburg, 1792. P. 43.
12. North Caucasian Territory: a blank map of the administrative division on July 1, 1935 // compiled by the North Caucasian Regional Planning Commission. 1:2000000. Kharkov, 1935. 1 sheet.
13. North Caucasian Territory: a schematic map of the administrative division as of January 1, 1927 // All-Union population census of 1926, T. V. 1: 3937000. M.: TsSU, 1928. 1 p.
14. Stavropol province: administrative map / compiled and prepared for printing by the Cartographic Factory No. 3 of the GUGK; executive editor M. N. Kocheshkova. 1:600000. M.: GUGK, 1952. 1 sheet.
15. Stavropol Territory: general geographic map / compiled and prepared for printing by the Tbilisi Cartographic Factory

- GUGK; editor M. N. Kocheshkova. 1:600000. M.: GUGK of the Ministry of Internal Affairs of the USSR, 1958. 1 sheet.
16. Stavropol Territory: soil map / compiled and prepared for printing by the Kuban State Design Institute for Land Management Kubangiprozem Stavropol Branch; director L.N. Ushakov. 1:300000. Cartographic branch of Roszemproekt, 1978. 4 p.
 17. Stavropol Territory: statistical map / compiled according to the data of 1874 by a member of the secretary of the provincial statistical committee I. Bentkovsky; lithograph of the Military Topographic Department of the Caucasian Military District. 1:420000. Publishing house of the Stavropol provincial statistical committee, 1874. 1 sheet.
 18. Tarkhov S. A. Historical evolution of the administrative-territorial and political division of Russia // Regionalization and development of Russia: geographical processes and problems / Ed. A. I. Treivish and S. S. Artobolevsky. M.: Editorial URSS, 2001. P. 191–213.
 19. Tsutsiev A.A. Atlas of the ethnopolitical history of the Caucasus (1774–2004). M.: Europe, 2006. 128 p.
 20. Turun P.P. History of administrative-territorial division of Stavropol in the XX century // Migration and spatial mobility in the rural-urban continuum of Russia in the XX century: manageability, adaptability and coping strategies. Russian-German Scientific Conference (Stavropol, June 16–18, 2011): collection of working materials. Stavropol: Publishing House of SSU, 2011. P. 237–242.

**Поступило в редакцию 11.05.2022,
принята к публикации 14.06.2022.**

Об авторах

Каторгин Игорь Юрьевич, кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь, Россия.

Телефон: (905) 461-53-30.

E-mail: katorgin1974@mail.ru

Роман Александр Николаевич, кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь, Россия.
Телефон: (988) 092-51-61.
E-mail: roman_alex@mail.ru

About the authors

Katorgin Igor Yurievich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor. Department of Cartography and Geoinformatics, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia;
Phone: +7(905) 461-53-30.
E-mail: katorgin1974@mail.ru

Roman Alexander Nikolaevich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia.
Phone: +7(988) 092-51-61.
E-mail: roman_alex@mail.ru



НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

Т

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

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

Подписано в печать 23.06.2022 г. Выход в свет 30.06.2022 г.
Формат 70 × 108 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага
офсетная. Усл. печ. л. 14,35. Тираж 1000 экз. Цена 534 руб.

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