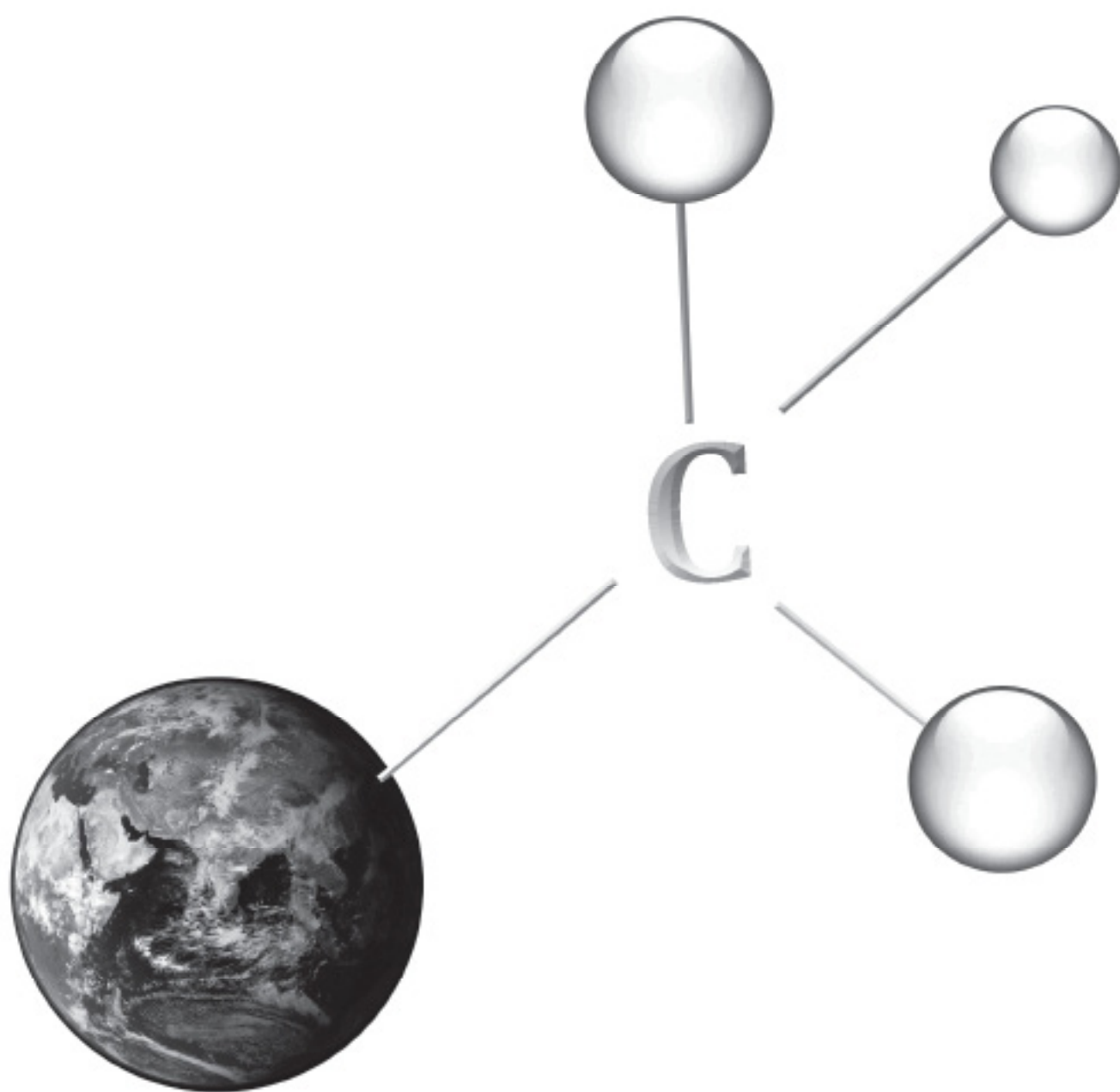


НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2076-7358

МОНИТОРИНГ

наука и технологии



№ 1(67) 2026

«МОНИТОРИНГ. НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

*Журнал издается при поддержке
Научного совета РАН по проблемам геотермии*

Адрес редакции:

367027, Республика Дагестан,
г. Махачкала, ул. Селивантьева, 2

Телефон гл. редактора: (8-926) 067-59-67

Телефон редакции: (8-928) 962-32-60

Эл. почта редакции: monitoringST@mail.ru

Сайт журнала: www.csmos.ru/mnt

*Журнал зарегистрирован в Федеральной
службе по надзору в сфере связи и массовых
коммуникаций. Свидетельство о регистрации
средства массовой информации*

ПИ ФС 77-33138

Издается с 2009 г.

Журнал рецензируется.

Выходит 4 раза в год.

Журнал индексируется в базе РИНЦ.

Журнал реферируется в ВИНИТИ РАН.

Журнал включен в Перечень ВАК.

Подписной индекс в каталоге

«Урал-Пресс»: 84650

*Ответственность за достоверность информации,
содержащейся в рекламных материалах, несут
рекламодатели.*

Учредитель и издатель:

ООО «Центр сопряженного мониторинга
окружающей среды и природных ресурсов»

Главный редактор

Н.М.Булаева

e-mail: bulaeva_nurjagan@mail.ru

Зам. главного редактора

Г.Г.Петрик

e-mail: galina_petrik@mail.ru

Редакционная коллегия:

Алиев Р.М. д.т.н.

Атаев З.В. к.г.н.

Батугин А.С. д.т.н.

Безруких П.П. д.т.н.

Братков В.В. д.г.н.

Гайрабеков И.Г. д.т.н.

Галаганов О.Н. к.ф.-м.н.

Григорьев Б.А. д.т.н.

Дадашев М.Н. д.т.н.

Демежко Д.Ю. д.г.-м.н.

Дубинин Е.П. д.г.-м.н.

Зуй В.И. д.г.-м.н. – Беларусь

Илюшина Т.В. д.г.н.

Керимов И.А. д.ф.-м.н.

Малинников В.А. д.т.н.

Мелкий В.А. д.т.н.

Минцаев М.Ш. д.т.н.

Мухтаров А.Ш. д.г.-м.н. – Азербайджан

Парфенюк О.И. д.ф.-м.н.

Петров И.В. д.э.н.

Утямышев И.Р. д.т.н.

Федаш А.В. д.т.н.

Хуторской М.Д. д.г.-м.н.

Шихнабиева Т.Ш. д.п.н.

Технический редактор

Гаджиханов А.С.

Компьютерная верстка

Загирова З.Б.

© «Мониторинг. Наука и Технологии», 2026

Номер подписан в печать 27.03.2026 г.

Отпечатано в ООО «ЦСМОСиПР»

Адрес издателя/типографии: 367027, РД, г. Махачкала, ул. Селивантьева, 2

Цена свободная. Тираж 350

Заказ №1

«MONITORING. SCIENCE & TECHNOLOGIES»

SCIENTIFIC & TECHNICAL JOURNAL

Published with the support of

The Scientific Council of the Russian Academy of Sciences for Geothermal Problems

Editorial address:

367027, Republic of Dagestan,
Makhachkala, Selivantiev, 2

Editor-in-chief tel: (8-926) 067-59-67

Office tel: (8-928) 962-32-60

E-mail: monitoringST@mail.ru

Website: www.csmos.ru/mnt

Journal is Registered in Federal Supervision
Agency for Information Technologies and
Communications Certificate of Mass Media

Registration

ПН ФС 77-33138

Published from 2009

Peer-reviewed Journal.

Issued 4 times a year.

*Journal is **Indexed** in the
Russian Index of Scientific Citation.*

*Journal is **Referred** in VINITI
Russian Academy of Sciences.*

**Journal is Included in the List of High Attestation
Commission of Russian Federation.**

*Subscription index in the catalog
of «Ural-Press» is **84650***

*Responsibility for the reliability of information
contained in promotional materials
rests with advertisers.*

Founder and publisher:

LLC «Center of the Conjugated Monitoring of
Environment and Natural Resources»

Editor in Chief

N.M.Bulaeva

e-mail: bulaeva_nurjagan@mail.ru

Deputy Editor in Chief

G.G.Petrik

e-mail: galina_petrik@mail.ru

Editorial Board:

Aliyev R.M. Dr.T.S.

Atayev Z.V. Cand.G.S.

Batugin A.S. Dr.T.S.

Bezrukih P.P. Dr.T.S.

Bratkov V.V. Dr.G.S.

Gairabekov I.G. Dr.T.S.

Galaganov O.N. Cand.P.-M.S.

Grigoryev B.A. Dr.T.S.

Dadashev M.N. Dr.T.S.

Demezhko D.Yu. Dr.G.-M.S.

Dubinin E.P. Dr.G.-M.S.

Zui V.I. Dr.G.-M.S. – Belarus

Ilyushina T.V. Dr.G.S.

Kerimov I.A. Dr.P.-M.S.

Malinnikov V.A. Dr.T.S.

Melkiy V.A. Dr.T.S.

Mintshev M.Sh. Dr.T.S.

Mukhtarov A.Sh. Dr.G.-M.S. – Azerbaijan

Parfenyuk O.I. Dr.P.-M.S.

Petrov I.V. Dr.E.S.

Utyamyshev I.R. Dr.T.S.

Fedash A.V. Dr.T.S.

Khutorskoy M.D. Dr.G.-M.S.

Shikhnaeva T.S. Dr.P.S.

Technical Editor

Gadzhikhanov A.S.

Computer Layout

Zagirova Z.B.

© «Monitoring. Science & Technologies», 2026

Signed for printing 27.03.2026

Printed in Center of the Conjugated Monitoring of Environment and Natural Resources
Address of Publisher/Printing Office: 367027, Republic of Dagestan, Makhachkala, Selivantieva, 2
Price is open. Circulation is 350
Order №1

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. Науки о Земле	6
<i>Передерин В.П., Крупенникова И.С., Мокрова А.Н., Розенберг Н.К., Передерин Ф.В., Гусева Т.В., Булаева Н.М., Магомедов Х.Д. Возобновление спутниковых наблюдений на геодинамической сети Республики Дагестан</i>	<i>6</i>
<i>Ассех К.Ф., Беленко В.В. Методика автоматизированного обнаружения изменений состава земель на основе комплекса синтезированных и индексных изображений (на примере земель Кот-Дивуара)</i>	<i>13</i>
<i>Желонкина Е.Э., Хуторова А.О., Пафнutowa Е.Г., Андреев А.А., Хуторов А.А. Оценка продуктивности и значение торфяных месторождений Западной Сибири для сельского хозяйства России</i>	<i>23</i>
<i>Лоссов К.К., Малинников В.А. Верификация методики обнаружения явления апвеллинга на морской поверхности по материалам космических съемок с использованием признаков Харалика</i>	<i>28</i>
<i>Макеев И.А. Снежный покров как индикатор техногенного загрязнения территории города Апатиты</i>	<i>36</i>
<i>Николаева О.Н., Валишин А.Б. Применение ГИС-технологий для картографического моделирования историко-биографических данных</i>	<i>42</i>
РАЗДЕЛ 2. Информационные системы и технологии в науке и образовании	49
<i>Рассказова А.А., Жданова Р.В., Хуторова А.О., Столяров В.М., Иванова Н.А. Неиспользуемые сельскохозяйственные угодья Тверской области: проблемы, перспективы, вовлечение в оборот</i>	<i>49</i>
<i>Лоссов К.И. Самосинхронизирующий поточный алгоритм защиты передачи геоданных с базовой группой, являющейся амальгамированным свободным производением</i>	<i>54</i>
<i>Дега Н.С., Марнопольская Ю.Т. Тенденции динамики климата на территории Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы</i>	<i>60</i>
<i>Байгобылов Д.В. Разработка программного обеспечения для автоматизации выявления нарушений разрешенного и фактического использования объектов недвижимости</i>	<i>66</i>
РАЗДЕЛ 3. Технические науки	72
<i>Джэндубаев З.А.-З. Оценка эффективности альтернативных систем теплоснабжения жилого здания в Забайкальском крае</i>	<i>72</i>
<i>Гордин С.А., Ляковский И.Е. Экспериментальная установка для исследования методов регулирования твердотопливного котла с периодичной подачей топлива</i>	<i>80</i>
<i>Евдокимов А.П. Теоретическое исследование вибрационных колебаний нефте-газопроводов</i>	<i>84</i>
РАЗДЕЛ 4. Информационный раздел	90
<i>Магомедов Х.Д., Адилев З.А., Асекова З.О., Гамидова А.М., Мусалаева З.А., Сагателова Е.Ю., Павличенко И.Н., Шахмарданова С.Г. Каталог землетрясений Северо-Восточного Кавказа (территория Дагестана и приграничные зоны) и акватории Среднего Каспия за IV квартал 2025 г.</i>	<i>90</i>
Информация о редакционном совете	101
Правила для авторов	103

CONTENTS

SECTION 1. Sciences about Earth	6
<i>Perederin V.P., Krupennikova I.S., Mokrova A.N., Rozenberg N.K., Perederin F.V., Guseva T.V., Bulaeva N.M., Magomedov Kh.D.</i> Resumption of satellite observations in the geodynamic network in the Republic of Dagestan ..	6
<i>Asseh K.F., Belenko V.V.</i> Methodology for automated detection of changes in land composition based on a set of synthesised and index images (using the example of land in Ivory Coast)	13
<i>Zhelonkina E.E., Khutorova A.O., Pafnutova E.G., Andreev A.A., Khutorov A.A.</i> Evaluation and meaning of turf deposits in Western Siberia for the agriculture of Russia	23
<i>Lossov K.K., Malinnikov V.A.</i> Verification of the methodology for detecting upwelling phenomena on the ocean surface based on satellite imagery using Haralick features	28
<i>Makeev I.A.</i> Snow cover as an indicator of technogenic pollution of the territory of Apatity	36
<i>Nikolaeva O.N., Valishin A.B.</i> Application of GIS technologies for cartographic modeling of historical and biographical data	42
SECTION 2. Information systems and technologies in science and education	49
<i>Rasskazova A.A., Zhdanova R.V., Khutorova A.O., Stolyarov V.M., Ivanova N.A.</i> Unused agricultural land in the Tver region: problems, perspectives, and involvement in the circulation	49
<i>Lossov K.I.</i> A self-synchronizing streaming geodata security algorithm with a core group that is an amalgamated free product	54
<i>Dega N.S., Marnopolskaya Ju.T.</i> Trends of climate dynamics in the territory of the Right-Yegorlykская irrigation system	60
<i>Baigobylov D.V.</i> Development of a methodology for systematization and analysis of violations of the permitted and actual use of real estate	66
SECTION 3. Technical science	72
<i>Dzhendubaev Z.A.-Z.</i> Assessing the efficiency of alternative heating systems for a residential building in Zabaikalsky krai	72
<i>Gordin S.A., Lyaskovskiy I.E.</i> Experimental installation for the study of methods of regulation of a solid fuel boiler with periodic fuel supply	80
<i>Evdokimov A.P.</i> Theoretical study of vibrational vibrations of oil and gas pipelines	84
SECTION 4. Information section	90
<i>Magomedov Kh.D., Adilov Z.A., Asekova Z.O., Gamidova A.M., Musalaeva Z.A., Sagatlova E.Yu., Pavlichenko I.N., Shakhmardanova S.G.</i> Catalog of earthquakes of the North-Eastern Caucasus (Dagestan and border areas) and the Middle Caspian for the IV quarter of 2025	90
Information about editorial council	101
Rules for authors	103

ВОЗОБНОВЛЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ СЕТИ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

¹Передерин В.П., ¹Крупенникова И.С., ¹Мокрова А.Н., ¹Розенберг Н.К., ¹Передерин Ф.В.,
¹Гусева Т.В., ²Булаева Н.М., ³Магомедов Х.Д.

¹ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук»,
123242, Москва, Россия

²ООО «Центр сопряженного мониторинга окружающей среды и природных ресурсов»,
367027, Махачкала, Россия

³Дагестанский филиал Федерального исследовательского центра
«Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия
e-mail: ik@ifz.ru

Работа посвящена возобновлению наблюдений на геодинимической сети республики Дагестан, необходимость в которых вызвана существенным недостатком данных по координатам и скоростям современных движений земной коры сейсмически активного региона, с интенсивным развитием городских агломераций и туризма в восточной части Кавказа. В 2024 году были возобновлены работы по организации геодезического мониторинга с помощью ГНСС в Республике Дагестан, которые не проводились с 2008 года. Проведено обследование пунктов, на четырех из них выполнены наблюдения ГНСС. В 2025 году проведены повторные измерения и оборудованы пункты наблюдений на четырех сейсмостанциях ДФ ФИЦ ЕГС РАН. Временной ход координат, полученных из измерений 2003-2007 гг., дополненный данными 2024-2025 гг., показывает хорошее качество и преемственность данных наблюдений. Работа по возобновлению наблюдений ГНСС на геодинимической сети Дагестана продолжит мониторинг временного хода координат пунктов и дает возможность более детально исследовать сложную картину деформаций сейсмически активного региона.

Ключевые слова: Северный Кавказ, Дагестан, мониторинг, ГНСС, GPS, ГЛОНАСС, скорости движения, деформации.

RESUMPTION OF SATELLITE OBSERVATIONS IN THE GEODYNAMIC NETWORK IN THE REPUBLIC OF DAGESTAN

¹Perederin V.P., ¹Krupennikova I.S., ¹Mokrova A.N., ¹Rozenberg N.K., ¹Perederin F.V., ¹Guseva T.V.,
²Bulaeva N.M., ³Magomedov Kh.D.

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,
123242, Moscow, Russia

²LLC «Center of the Conjugated Monitoring of Environment and Natural Resources»,
367027, Makhachkala, Russia

³Dagestan branch of Federal Research Center Unified Geophysical Survey of Russian Academy
of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia

This work is devoted to resuming observations on the geodynamic network of the Republic of Dagestan, a necessity arising from a significant lack of data on the coordinates and velocities of recent crustal movements in a seismically active region, with the intensive development of urban agglomerations and tourism in the eastern Caucasus. In 2024, we resumed organizing works on geodetic monitoring using GNSS in the Republic of Dagestan, which had not been carried out since 2008, was resumed. A survey of the sites was conducted, and GNSS observations were conducted at four of them. In 2025, repeat measurements were conducted and observation sites were equipped at four seismic stations of the Far Eastern Branch of the Federal Research Center «Unified Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences». The time series of coordinates of 2003-2007, supplemented by data from 2024-2025, demonstrates the good quality and succession of the observation data. Work on resumption GNSS observations on the Dagestan geodynamic network will continue monitoring the temporal evolution of coordinates and provide an opportunity to study the complex of deformation pattern of the seismically active region more detail.

Keywords: North Caucasus, Dagestan, monitoring, GNSS, GPS, GLONASS, velocity, deformation.

Применение методов космической геодезии в задачах современной геодинимики позволяет изучать не только поверхностные, но и глубинные геодинимические процессы на основе наблюдений смещений земной коры. Целью спутниковых измерений является уточнение количественных характеристик движений и деформаций отдельных блоков земной коры, а также изучение эволюции деформацион-

ных процессов в сейсмоактивных густонаселенных районах с ответственными инженерными сооружениями. Для этого требуется проведение повторных спутниковых наблюдений на сети закрепленных пунктов на протяжении нескольких лет в одно и то же время года для фильтрации влияния сезонных колебаний. Накопленные объемы измерительной спутниковой геодезической информации позволяют

выделять и анализировать не только интенсивные межплитовые деформации, но и значительно менее интенсивные внутриплитовые смещения, что особенно актуально в районах с блоковой структурой земной коры.

Одним из объектов исследований с помощью ГНСС (Глобальных Навигационных Спутниковых Систем) является Северный Кавказ, характеризующийся высокой сейсмичностью (рис. 1), представляющей опасность для народонаселения, гражданской и промышленной инфраструктуры. Первые спутниковые наблюдения на Кавказе были проведены в 1991 году после разрушительного Рачинского землетрясения (апрель 1991 г., $M_w=6.9$) [1-3].

За прошедшие десятилетия Крымско-Северокавказская сеть была расширена и модифицирована. Наблюдения на пунктах сети проводятся регулярно, с интервалом в два года. При их обработке исполь-

зуются также данные ближайших пунктов международной сети IGS и Российской сети ФАГС (рис. 2).

Геодезические спутниковые измерения в Дагестане начались в 1996 г. на геодинамической сети в окрестностях Чиркейской ГЭС с целью организации контроля развития деформационных процессов в горных массивах, окружающих Чиркейский гидротехнический узел, связанных с изменением сейсмического режима [4,5]. Измерения проводились на 9-11 пунктах плано-высотной геодезической сети Чиркейского гидроузла и на двух специально заложённых пунктах ZURA и DUBK сотрудниками ИФЗ РАН совместно с сотрудниками опытно-методической сейсмической партии (ОМСП) АН Дагестана.

Дальнейшее развитие системы деформационных исследований с применением спутниковых технологий на территории Дагестана продолжилось в 2002 г., когда помимо наблюдательной сети GPS

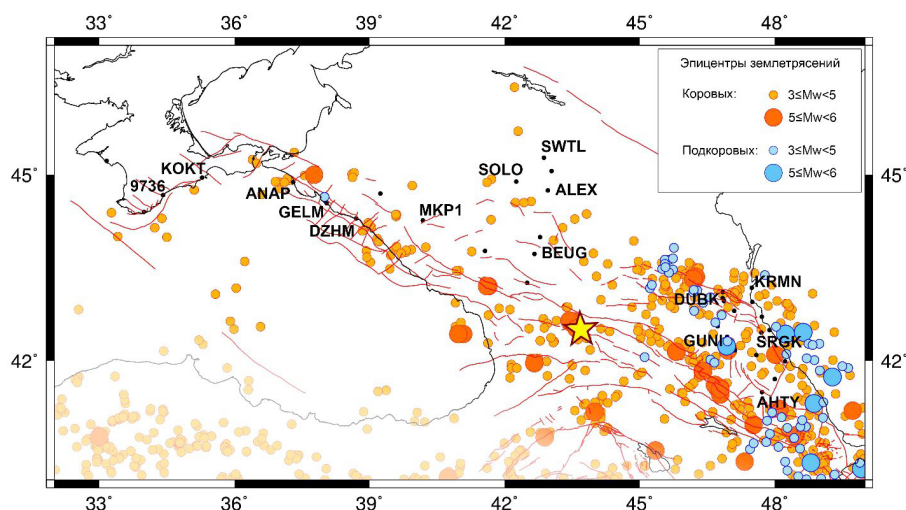


Рис. 1. Эпицентры землетрясений за 2000–2025 гг. для Крымско-Северокавказского региона. Звездочкой отмечено Рачинское землетрясение 1991 г.

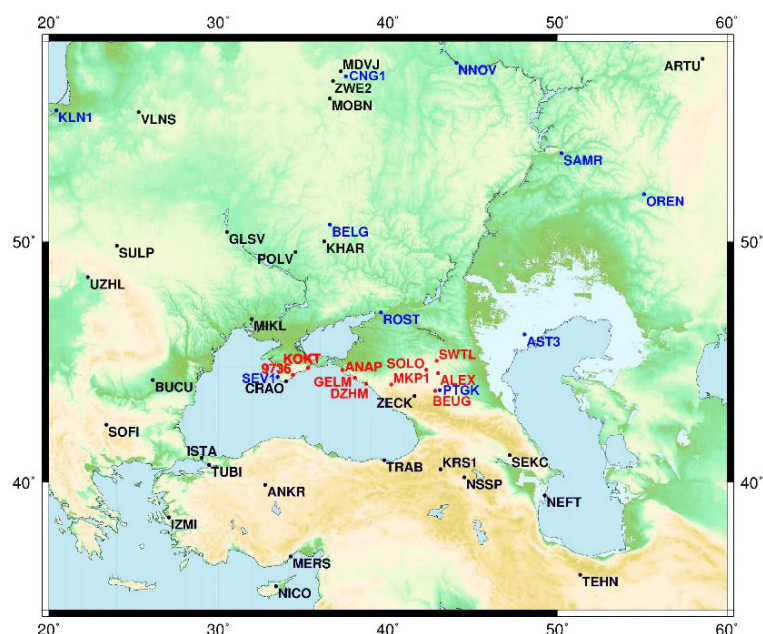


Рис. 2. Расположение пунктов наблюдений ГНСС: черные – IGS; синие – ФАГС; красные – ИФЗ РАН

Чиркейского гидроузла наблюдения стали проводиться на новом пункте в г. Махачкала (МАНА).

Горная часть Дагестана имеет сложное строение, состоит из нескольких структурно-тектонических зон, уступообразно вздымающихся от севера к югу. В этом же направлении наблюдается усложнение складчатости, увеличение количества и амплитуд продольных разрывов [6,7]. Тектонические блоки испытывают разные по скорости и направлению движения, кроме того, восточная часть Кавказа наиболее сейсмически активна (рис. 1). Именно здесь фиксируются глубокие (подкоровые) землетрясения.

Исходя из вышесказанного, на исследуемой территории было целесообразно разместить сеть пунктов GPS, главным образом, в горной части Дагестана. В 2003 году совместно с ООО «Центр сопряженного мониторинга окружающей среды и природных ресурсов» (г. Махачкала) и Дагестанским филиалом геофизической службы РАН заложены 14 пунктов геодинимической сети по всей республике (рис. 3а) [6,7]. Спутниковые наблюдения на ней проводились регулярно с 2003 по 2007 год. После 2007 года они были прекращены.

В 2008 году организованы наблюдения на сейсмостанции «Караман» Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН в районе Махачкалы (пункт KRMN), продолжавшиеся по 2018 г.

Полученные в процессе наблюдений данные проходят обработку в программном комплексе Bernese, в результате чего определяются среднесуточные и средние на эпоху (цикл) измерений геоцентрические и геодезические координаты пунктов в координатной системе ITRF. Среднеквадратическая случайная ошибка определения плановых координат

нат в относительной системе отсчета с четырьмя опорными пунктами, принимаемыми за неподвижные, составляет в среднем 0.2 мм для контрольных пунктов IGS и 0.3-0.5 мм для определяемых.

На основе многолетнего временного ряда наблюдений, с привлечением данных сетей ФАГС и IGS, рассчитываются скорости смещения в разных системах отсчета и площадные деформации. На рис. 4 приведена карта площадных деформаций, рассчитанных по конечно-разностной схеме [8] для всего Крымско-Северокавказского региона, но без пунктов Дагестана, а также отдельно для геодинимической сети Дагестана на основе трех циклов наблюдений (2004-2007 гг.) и данных с пункта KRMN за 2012-2018 гг.

Для получения представления о горизонтальных движениях внутри региона выполнен перерасчет скоростей отдельных пунктов относительно ZECK (Зеленчукская обсерватория), принятого за неподвижный (красный кружок на рис. 4а).

В региональной системе отсчета средние значения скоростей Крымско-Северокавказского региона составляют 1-3 мм/год. В восточной части южные и северные пункты перемещаются навстречу друг другу со скоростями 2-4.8 мм/год, при этом пункты восточной части Кавказа демонстрируют север-северо-восточное направление движений (рис. 4а). В районе Ставропольского свода направления движений приобретают несколько хаотичный характер с преобладанием направления на запад – северо-запад, а скорости снижаются до 1.5-3 мм/год.

Деформационное поле в пределах Крымско-Северокавказского региона довольно однородное (рис. 4а). В основном, оно представлено чередующимися слабыми деформациями сжатия и

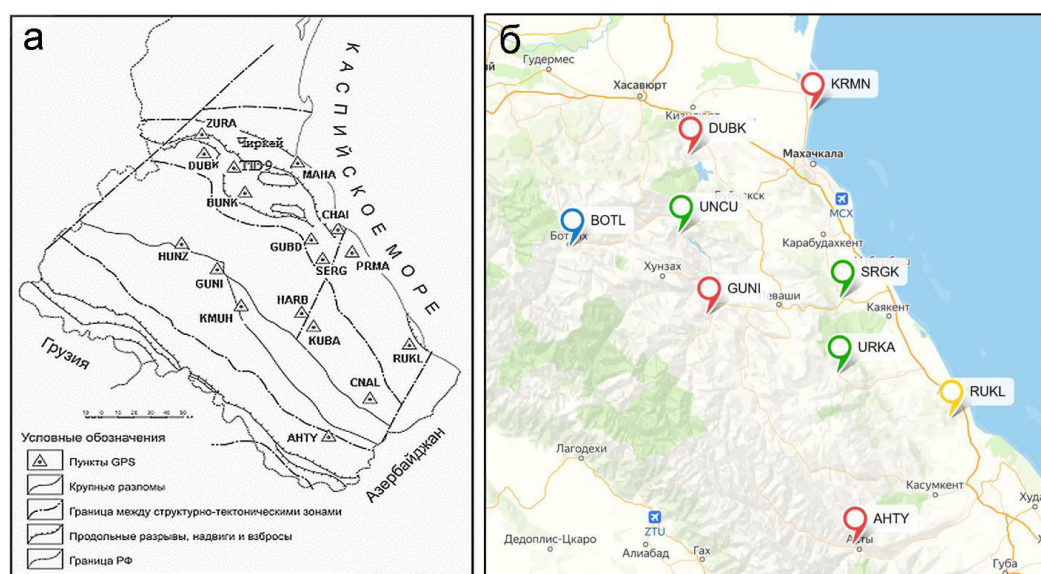


Рис. 3. Схема геодинимической сети республики Дагестан: а) – 2004 г.; б) – 2025 год. Красным цветом обозначены пункты, на которых проведен второй цикл наблюдений ГНСС с 2024 года, желтым – наблюдения проведены впервые с 2007 года, зеленым – вновь заложенные пункты, на которых проведен исходный цикл наблюдений. Синим обозначена станция, на которой в будущем планируется установить пункт наблюдений

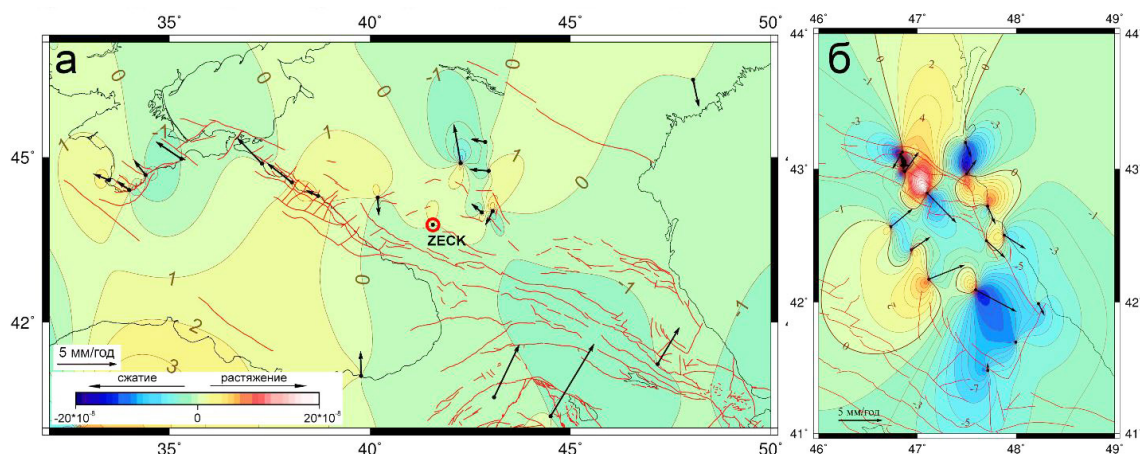


Рис. 4. Карта площадных деформаций для пунктов: Крымско-Северокавказской сети (а) и Дагестанской сети (б). Стрелками показаны скорости смещения пунктов в региональной системе отсчета относительно пункта ZECK (на карте (а) выделен красным кружком), красными линиями показаны основные разрывные нарушения

растяжения со значениями $\pm 2 \times 10^{-8}$ в год. Большая часть Северного Кавказа (восточная и центральная) находится в условиях сжатия, а западная его часть характеризуется растяжением [9,10].

Дагестанский регион попадает в зону сжатия, но в его пределах деформации имеют более выраженный характер со значениями деформаций сжатия – растяжения на порядок выше (рис. 4б). Скорости горизонтального движения в региональной системе отсчета имеют преимущественно юго-восточное направления со средними значениями 2.4 мм/год. Участки повышенных значений деформаций сжатия и растяжения, возможно, обусловлены воздействием внутренних локальных факторов, связанных со сложной блоковой структурой региона.

Три цикла измерений, на основе которых проводился анализ геодинамической обстановки Дагестана, является необходимым минимумом для такого рода построений, но недостаточным для точной оценки геодинамической обстановки исследуемого региона. Таким образом, в связи с существенным недостатком данных по координатам и скоростям современных движений земной коры (СДЗК) сейсмически активного региона, с интенсивным развитием городских агломераций и туризма в восточной части Кавказа, в 2024 году после длительного перерыва принято решение о возобновлении геодинамического мониторинга с помощью ГНСС в Республике Дагестан.

При содействии Дагестанского филиала ФИЦ ЕГС РАН были обследованы несколько пунктов, на которых проводились наблюдения в 2003-2007 гг., на предмет сохранности и возможности возобновления наблюдений ГНСС, и проведены измерения продолжительностью трое суток на трех из них – АНТУ, GUNI, DUBK. На пункте KRMN, используемом в качестве базового, продолжительность наблюдений составила четверо суток. Также проведен осмотр сейсмостанций ДФ ФИЦ ЕГС РАН «Дербент», «Гуниб», «Сергокала», «Уркарах» и

«Унцукуль» с целью определения возможности закладки новых пунктов.

В 2025 году работа по развитию геодинамической сети Республики Дагестан была продолжена. Оборудованы пункты наблюдений ГНСС на сейсмостанциях «Унцукуль» (UNCU), «Уркарах» (URKA), «Сергокала» (SRGK) и выполнен исходный цикл измерений. Проведено обследование и выполнены наблюдения ГНСС на пункте RUKL. Проведены повторные наблюдения на пунктах АНТУ, GUNI, DUBK (рис. 3б). На пункте KRMN наблюдения продолжались на протяжении всего периода полевых работ (22 суток).

В дальнейшем сеть наблюдений в Республике Дагестан планируется расширить и усовершенствовать систему измерений. В рамках работ обследована сейсмостанция «Ботлих» с целью организации наблюдений ГНСС.

В период полевых работ запись данных ГНСС проводилась с помощью двухчастотных двухсистемных геодезических спутниковых приемников Javad Maxor и Javad Alpha и антенн RingAnt G3T. На четырех пунктах (DUBK, АНТУ, GUNI, RUKL) антенны устанавливались на штативах (рис. 5а), еще на четырех пунктах (KRMN, UNCU, SRGK, URKA) с помощью принудительного центрирования на жестком металлическом креплении (рис. 5б). Спутниковые наблюдения проводились в статическом режиме сеансами 1-3 суток. Запись информации со спутников навигационных систем GPS и ГЛОНАСС велась каждые 30 секунд.

Качество данных, полученных в 2025 г., подтверждается графиками временного хода координат для четырех пунктов, на которых проведены повторные наблюдения. На графиках (рис. 6) приведены временные ряды изменения координатных компонент (E, N) для трех пунктов, измерения на которых проводились с 2003 по 2007 гг. (АНТУ, GUNI, DUBK) и возобновлены в 2024 г., и пункта KRMN, на котором перерыв составил с 2018 по 2024 гг.

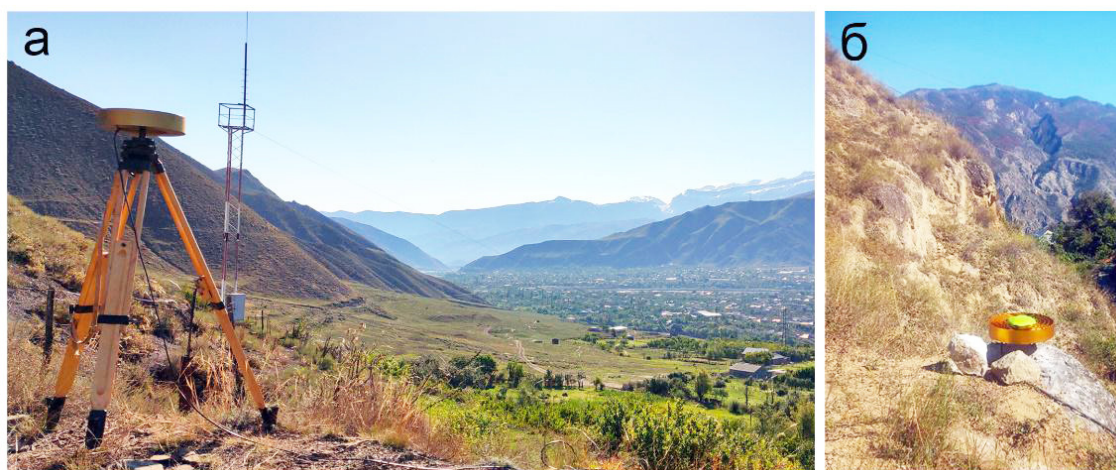


Рис. 5. Установка антенны ГНСС на пункте наблюдений: (а) на штативе (АНТУ), (б) с помощью принудительного центрирования (UNCU)

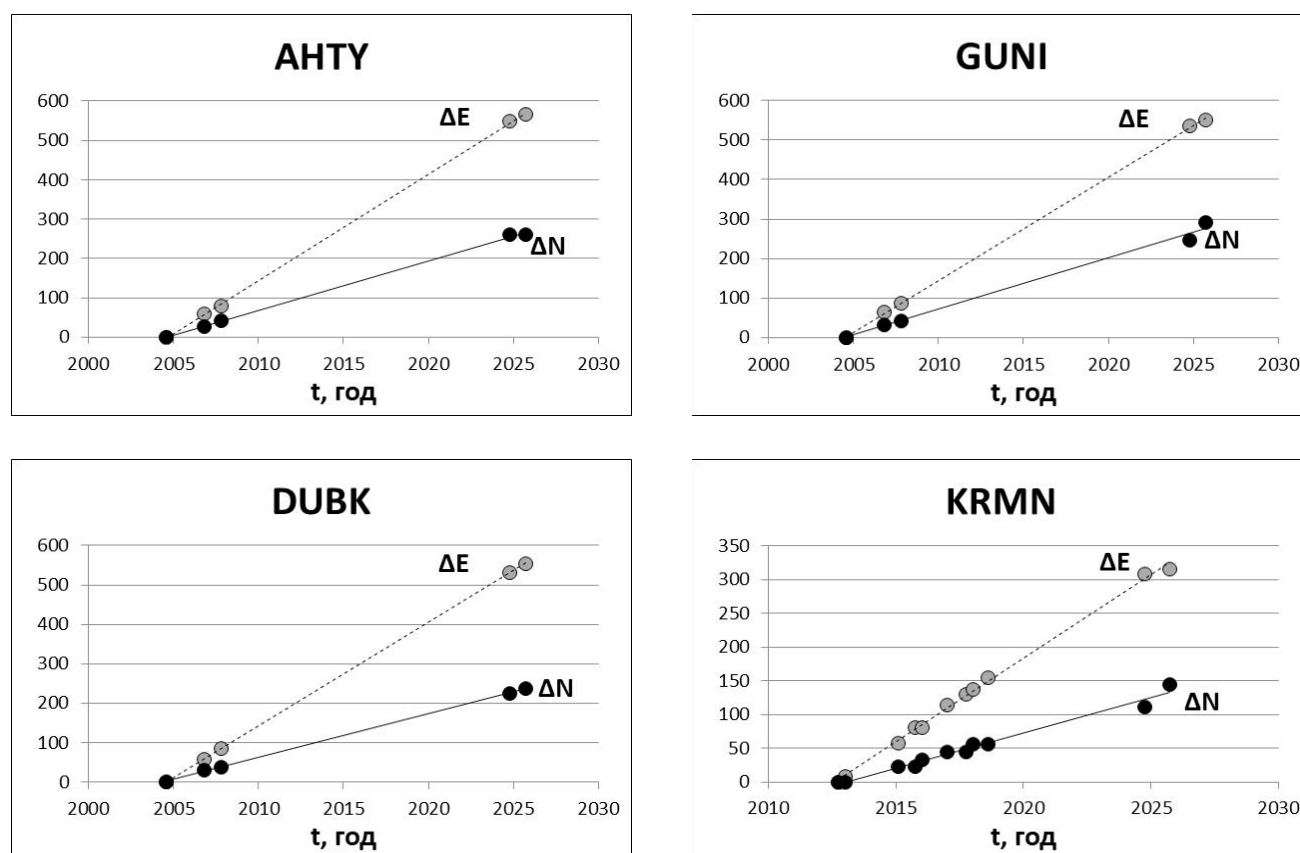


Рис. 6. Графики временного хода координат пунктов геодезической сети Республики Дагестан

Выводы

Мониторинг текущего развития скоростей горизонтальных движений и площадных деформаций Северного Кавказа является необходимым элементом геодезических исследований региона.

После длительного перерыва в 2024 г. начались работы по воссозданию Дагестанской геодезической сети. На сохранившихся пунктах АНТУ, GUNI, DUBK, KRMN были проведены первые наблюдения после семнадцатилетнего перерыва. В 2025 г. были проведены очередные наблюдения ГНСС и закладка на территориях сейсмостанций новых пунктов (UNCU, URKA, SRGK) для расширения Дагестан-

ской геодезической сети.

На территории Дагестана на данный момент отсутствуют пункты постоянных наблюдений IGS или ФАГС. Проведение регулярных наблюдений и восстановление сети – необходимая мера для получения данных о скоростях движения пунктов на миллиметровом уровне точности в наиболее сейсмоактивном и сложном районе Северного Кавказа.

Работа по возобновлению наблюдений на геодезической сети Республики Дагестан продолжит мониторинг СДЗК и актуализирует данные временного хода координат пунктов и расширит область с измеренными с миллиметровой точностью

скоростями смещений земной поверхности, что, в свою очередь, даст возможность более детально

исследовать сложную картину деформаций этого сейсмически активного региона.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИФЗ РАН.

Список литературы

1. Reilinger R.E., Hamburger M.W., Prilepin M.T., Guseva T.V. Epoch Geodynamic GPS Measurement Across the Caucasus Collision zone (abstract), AGU. Fall Meeting. Program. Dec. 9-13, 1991. San-Francisco. California. 1991. Pp. 112.
2. Reilinger R., McClusky S., Souter B., Hamburger M., Prilepin M., Mishin A., Guseva T., Balassanian S. Preliminary estimates of plate convergence in the Caucasus collision zone from global positioning system measurements. *J. Geophys. Res.* 1997. Vol. 24. No. 14. Pp. 1815-1818.
3. Reilinger R., McClusky S., Vernant Ph., Lawrence Sh., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sark K., ArRajehi A., Paradissis D., AlAydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitritsa A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Karam G. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. Pp. B05411.
4. Baranova S., Guseva T., Kurakhmayev A., Rosenberg N. Current movements in the region of Chirkey hydroelectric Station. Proceedings of the Ninth International Symposium on Crustal Movements. November 14-19, 1998. Vol. II. Cairo, Egypt. 2000. Pp. 547-561.
5. Розенберг Н.К., Галаганов О.Н., Гусева Т.В., Передерин В.П. Деформационный мониторинг разномасштабных структур на Северном Кавказе // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы третьей молодежной тектонофизической школы-семинара. 14-18 октября 2013 г. Т. 1. С. 290-297.
6. Булаева Н.М., Галаганов О.Н. Спутниковый мониторинг современных геодинамических движений на территории Дагестана // Мониторинг. Наука и технологии. 2010. №1(2). С. 27-35.
7. Булаева Н.М., Романов Н.Т., Халилов А.Г., Магомедов Б.И., Галаганов О.Н., Гусева Т.В. К созданию геодинамического мониторинга современных движений земной коры на территории Дагестана // Известия ДГПУ. Махачкала. 2008. №2. С. 88-91.
8. Shen Z., Wang M., Zeng Y., & Wang F. Optimal Interpolation of Spatially Discretized Geodetic Data. Bulletin of the Seismological Society of America. 2015. 105(4). Pp. 2117-2127. DOI:10.1785/0120140247.
9. Гусева Т.В., Крупенникова И.С., Мокрова А.Н. Развитие деформационных процессов в Кавказском регионе по данным ГНСС измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Том 16. №5. С. 138-146.
10. Галаганов О.Н., Гусева Т.В., Крупенникова И.С., Мельник Г.Э., Мокрова А.Н., Передерин В.П., Передерин Ф.В., Розенберг Н.К. Сопоставление деформационного поля и сейсмического потока территорий Крыма и Северного Кавказа в зоне коллизии Евразийской и Аравийской литосферных плит // Мониторинг. Наука и технологии. 2023. №1. С. 6-15.

References

1. Reilinger R.E., Hamburger M.W., Prilepin M.T., Guseva T.V. Epoch Geodynamic GPS Measurement Across the Caucasus Collision zone (abstract), AGU. Fall Meeting. Program. Dec. 9-13, 1991. San-Francisco. California. 1991. Pp. 112.
2. Reilinger R., McClusky S., Souter B., Hamburger M., Prilepin M., Mishin A., Guseva T., Balassanian S. Preliminary estimates of plate convergence in the Caucasus collision zone from global positioning system measurements. *J. Geophys. Res.* 1997. Vol. 24. No. 14. Pp. 1815-1818.
3. Reilinger R., McClusky S., Vernant Ph., Lawrence Sh., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sark K., ArRajehi A., Paradissis D., AlAydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitritsa A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Karam G. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. Pp. B05411.
4. Baranova S., Guseva T., Kurakhmayev A., Rosenberg N. Current movements in the region of Chirkey hydroelectric Station. Proceedings of the Ninth International Symposium on Crustal Movements. November 14-19, 1998. Vol. II. Cairo, Egypt. 2000. Pp. 547-561.
5. Rozenberg N.K., Galaganov O.N., Guseva T.V., Perederin V.P. Deformation monitoring of multi-scale structures in the North Caucasus, Sovremennaya tektonofizika. *Metody i rezul'taty. Materialy molodezhnoy tektonofizicheskoy shkoly-seminara* [Modern tectonophysics. Methods and results. Proceedings of the third youth tectonophysical school-seminar]. October 14-18, 2013. V. 1. Pp. 290-297.
6. Bulaeva N.M., Galaganov O.N. Satellite monitoring of modern geodynamic movements on the territory of Daghestan. *Monitoring. Nauka i tekhnologii.* 2010. No. 1(2). Pp. 27-35.
7. Bulaeva N.M., Romanov N.T., Khalilov A.G., Magomedov B.I., Galaganov O.N., Guseva T.V. Towards the creation of geodynamic monitoring of modern movements of the earth's crust on the territory of Dagestan. *Izvestia DSPU. Makhachkala.* No. 2. 2008. Pp. 88-91.
8. Shen Z., Wang M., Zeng Y., & Wang F. Optimal Interpolation of Spatially Discretized Geodetic Data. Bulletin of the Seismological Society of America. 2015. 105(4). Pp. 2117-2127. DOI:10.1785/0120140247.
9. Guseva T.V., Krupennikova I.S., Mokrova A.N. Development of deformation processes in the Caucasus region according to GNSS measurements. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2019. V. 16. No. 5. Pp. 138-146.
10. Galaganov O.N., Guseva T.V., Krupennikova I.S., Mel'nik G.E., Mokrova A.N., Perederin V.P., Perederin F.V., Rozenberg N.K. Comparison of the deformation field and seismic flow of the Crimea and the North Caucasus territories of in the collision zone of the Eurasian and Arabian lithospheric plates. *Monitoring. Nauka i tekhnologii.* 2023. No. 1. Pp. 6-15.

**Сведения об авторах
Принадлежность к организации**

Передерин Виктор Петрович

старший научный сотрудник, лаборатория «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, Россия

Крупенникова Ирина Сергеевна

научный сотрудник, лаборатория «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, Россия

Мокрова Анна Николаевна

научный сотрудник, лаборатория «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, Россия

Розенберг Наталия Климентьевна

научный сотрудник, лаборатория «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, Россия

Передерин Фёдор Викторович

научный сотрудник лаборатории «Лаборатория аэрокосмической съёмки и геофизики ландшафта», ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, Россия

Гусева Тамара Вениаминовна

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН», 123242, Москва, Россия

Булаева Нуржаган Маисовна

доктор технических наук, действительный член Академии информатизации образования, генеральный директор ООО «Центр сопряженного мониторинга окружающей среды и природных ресурсов», 367027, Махачкала, Россия

Магомедов Хаскил Джарулаевич

кандидат технических наук, директор Дагестанского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия

**Information about authors
Affiliations**

Perederin Viktor Petrovich

Senior Researcher of the Laboratory «Satellite Methods of Studying Geophysical Processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Krupennikova Irina Sergeevna

Researcher of the Laboratory «Satellite Methods of Studying Geophysical Processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Mokrova Anna Nikolaevna

Researcher of the Laboratory «Satellite Methods of Studying Geophysical Processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Rozenberg Nataliya Kliment'evna

Senior Researcher of the Laboratory «Satellite Methods of Studying Geophysical Processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Perederin Feodor Viktorovich

Researcher of the Laboratory «Aerospace surveying and landscapes geophysics», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Guseva Tamara Veniaminovna

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory «Satellite Methods of Studying Geophysical Processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Bulaeva Nurzhagan Maisovna

Doctor of Technical Sciences, Member of the Academy of Informatization of Education, General Director of the Center of the Dual Monitoring of Environment and Natural Resources, 367027, Makhachkala, Russia

Magomedov Khaskil Dzharulaevich

PhD in Technical Sciences, Director of Dagestan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia

Поступила в редакцию 04.02.2026 г.

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТАВА ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА СИНТЕЗИРОВАННЫХ И ИНДЕКСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЗЕМЕЛЬ КОТ-Д'ИВУАРА)

Ассех К.Ф., Беленко В.В.

Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Москва, Россия

e-mail: belenko.v.v@yandex.ru

Динамика землепользования является важным показателем экологических и социально-экономических изменений, особенно в развивающихся странах, которые испытывают сильное антропогенное давление. В Кот-д'Ивуаре часто отмечается постоянное отсутствие системы мониторинга землепользования, что ограничивает возможности государственных органов по прогнозированию и управлению изменениями на территории. Таким образом, цель данной статьи — предложить методологию автоматизированного обнаружения изменений в составе земель на основе набора индексных изображений. Методология основана на двух подходах: контролируемой классификации максимального правдоподобия и спектральных индексах, основанных на композиции каналов, что позволяет лучше различать классы землепользования. Ожидаемые результаты демонстрируют потенциал методологии в создании однородных и сопоставимых во времени тематических карт на основе спутниковых изображений разных периодов.

Ключевые слова: землепользование, автоматизированное обнаружение изменений, синтезированные и индексные изображения, пространственно-временной анализ, картографирование, Кот-д'Ивуар.

METHODOLOGY FOR AUTOMATED DETECTION OF CHANGES IN LAND COMPOSITION BASED ON A SET OF SYNTHESISED AND INDEX IMAGES (USING THE EXAMPLE OF LAND IN IVORY COST)

Asseh K.F., Belenko V.V.

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Moscow, Russia

Land use dynamics are a key indicator of environmental and socio-economic changes, particularly in developing countries that are under significant anthropogenic pressure. In Ivory cost, there is often a continuing lack of land use monitoring systems, limiting the ability of government authorities to predict and manage changes in the territory. The aim of this article is therefore to propose a methodology for the automated detection of changes in land composition based on a set of indexed images. The methodology is based on two approaches: supervised classification by maximum likelihood and spectral indices using a combination of multispectral bands to better discriminate between different land use classes. The expected results highlight the methodology's potential to generate homogeneous thematic maps that are comparable over time from satellite images from different periods.

Keywords: land use, automated change detection, spatio-temporal analysis, mapping, synthesiz and index images, Ivory Cost.

Введение

Изменения в землепользовании и землеустройстве являются ключевым фактором устойчивого развития [1], и их изучение представляет собой важную задачу. Демографические изменения оказывают сильное давление на природные образования, которые подвергаются серьезной деградации [2]. В связи с бесконтрольными методами эксплуатации, которые сегодня используют прибрежные населенные пункты для добычи ресурсов, а также в связи с очень сильным демографическим ростом, характерным для Кот-д'Ивуара, существование всех без исключения природных ресурсов находится под угрозой [3]. Эта ситуация не обходит стороной территорию Кот-д'Ивуара, которая в течение нескольких десятилетий переживает глубокие преобразования из-за сильного давления со стороны земельных и демографических факторов.

В Кот-д'Ивуаре эта проблема имеет особое значение. На протяжении нескольких десятилетий Кот-д'Ивуар переживает ускоренную трансформацию

своей территории из-за стремительного роста населения, интенсификации сельского хозяйства, развития инфраструктуры, лесозаготовок и урбанизации. По данным Национального бюро технических исследований и развития (BNETD) и Постоянного исполнительного секретариата REDD+ (SEP-REDD+), 57% лесов Кот-д'Ивуара исчезли в период с 1990 по 2015 год, а лесной покров сократился с 7.8 млн га в 1990 году до 5.1 млн га в 2000 году, а затем до 3.4 млн га в 2015 году, что составляет около 11% территории страны [4]. Все эти изменения территории влияют на качество жизни населения, подвергая его экологическим рискам и затрудняя городское планирование [5]. Во многих развивающихся странах динамика изменений земель документируется редко или недостаточно из-за отсутствия систем мониторинга изменения и использования земель. Реализация этой стратегии требует, среди прочего, регулярного мониторинга динамики землепользования и землеустройства с помощью дистанционного зондирования [6].

Несмотря на то, что динамике землепользования в Кот-д'Ивуаре посвящено множество исследований, большинство из них носят фрагментарный характер и ограничиваются небольшими территориями. Кроме того, отсутствует автоматизированная методология обнаружения, основанная на сочетании спектральных индексов с пороговыми значениями с использованием космических изображений для решения проблемы землепользования. В связи с этим была поставлена цель разработать методику автоматизированного обнаружения изменений в землепользовании на основе набора индексных изображений. Этот подход предназначен для органов, ответственных за территориальное планирование, с целью более эффективного мониторинга урбанизации в рамках наблюдения за обезлесением, чтобы обеспечить его восстановление экологическими учреждениями, а также для реализации политики устойчивого управления.

Материалы и методы исследования

Материалы. В рамках данного исследования использовались спутниковые изображения Landsat. Изображения Landsat TM и ETM+ уже давно используются для анализа динамики землепользования. Преимуществом этих изображений является их достаточное пространственное разрешение (30 метров) и широкий временной охват [7]. Изображения LANDSAT используются чаще всего, поскольку они бесплатны и позволяют получить доступ к более старым данным, что дает возможность проводить дихроматический анализ за несколько десятилетий. Landsat был выбран потому, что его датчики предо-

ставляют больше изображений для обнаружения изменений в составе земель за более длительные промежутки времени. Основные характеристики Landsat представлены в таблице 1.

Методы исследования. Принятый методологический подход основан на системном и структурированном методе, направленном на автоматизированное обнаружение изменений в землепользовании на основе набора индексных изображений. Он структурирован в четыре функционально взаимосвязанных блока обработки данных ДЗЗ из космоса: блок предварительной обработки, блок дешифрирования и анализ, блок оценки качества результатов дешифрирования и анализа данных ДЗЗ из космоса, блок оформления результатов дешифрирования и анализа данных ДЗЗ из космоса (рис. 1).

Блок предварительной обработки данных ДЗЗ из космоса. Предварительная обработка заключается в корректировке изображений Landsat путем удаления ошибок, артефактов и искажений, возникших в процессе съемки, с обеспечением их временной сопоставимости. Радиометрическая коррекция направлена на устранение атмосферных эффектов (поглощения и рассеяния) и угловых эффектов солнечного света, которые изменяют спектральные свойства, характерные для типа землепользования на изображении [8]. Атмосферная коррекция направлена на устранение воздействия атмосферы и получение реальных измерений отражательной способности исследуемых объектов [9]. Затем изображения объединяются в цветной синтез и определяется область исследования. После этих

Таблица 1

Характеристики космических оптико-электронных аппаратов

Название аппарата	Дата запуска	Характеристики спутников
Landsat 4-5	16 июля 1982 г. 1 марта 1984 г.	7 спектральных диапазонов: 6 мультиспектральных с разрешением 30 м и 1 панхроматический с разрешением 15 м. 1 тепловая спектральных диапазона с разрешением 120 м.
Landsat-7	15 апреля 1999 г.	8 спектральных диапазонов: 6 мультиспектральных с разрешением 30 м и 1 панхроматический с разрешением 15 м. 1 тепловая спектральных диапазона с разрешением 60 м.
Landsat-8	11 февраля 2013 г.	11 спектральных диапазонов: 9 видимых спектральных диапазонов, включая 8 мультиспектральных с разрешением 30 м и 1 панхроматический с разрешением 15 м. 2 тепловых спектральных диапазона с разрешением 60 м.
Landsat-9	27 сентября 2021 г.	11 спектральных диапазонов: 9 видимых спектральных диапазонов, включая 8 мультиспектральных с разрешением 30 м и 1 панхроматический с разрешением 15 м. 2 тепловых спектральных диапазона с разрешением 100 м.

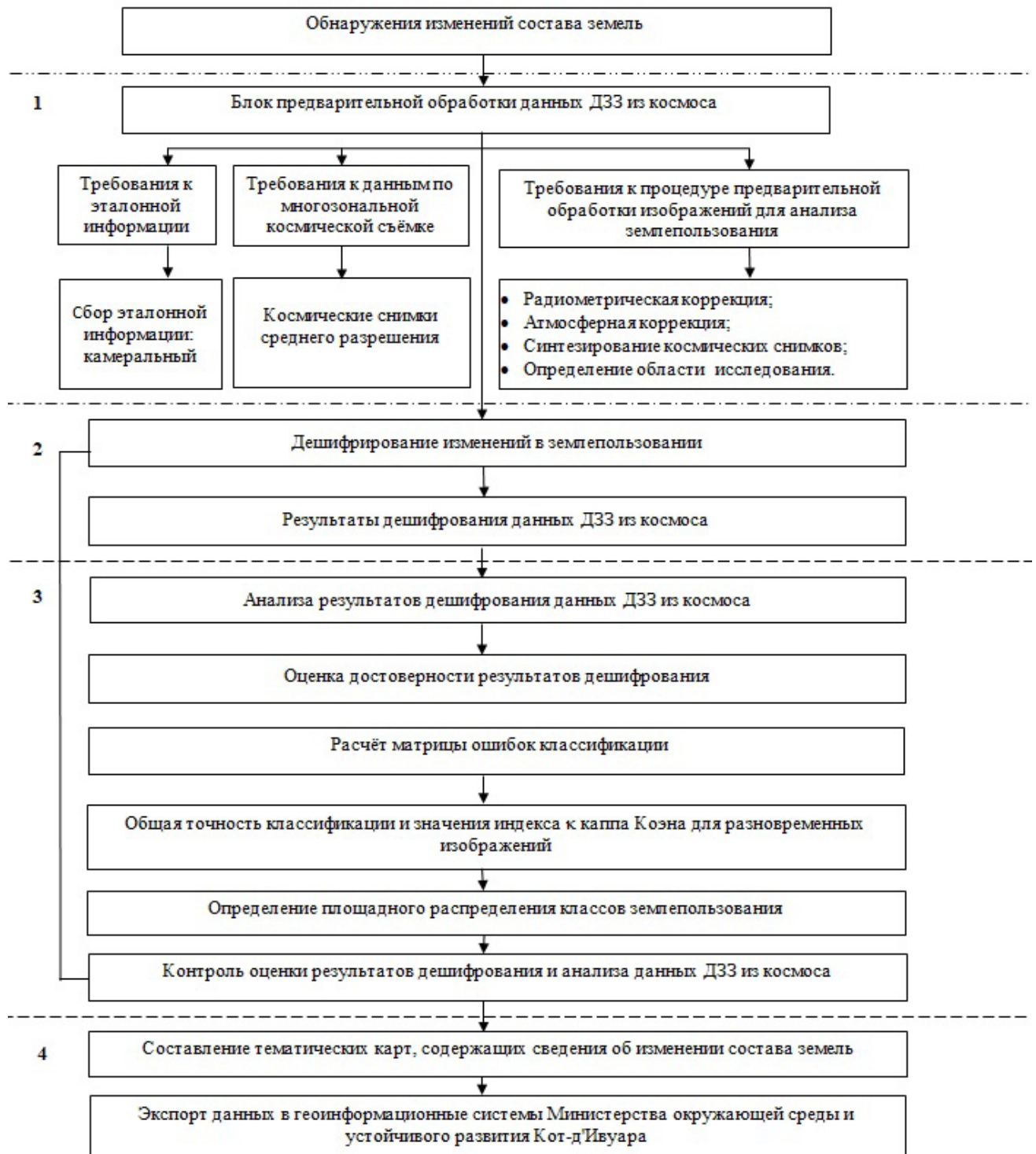


Рис. 1. Схема методики обнаружения изменений состава земель по данным многозональной космической съёмки

операций предварительной обработки мы получаем исправленные, однородные спутниковые изображения, готовые к использованию для визуальной интерпретации и классификации земельных участков по компонентам.

Блок дешифрования и анализа данных ДЗЗ из космоса. Цель этого этапа – идентифицировать и классифицировать различные классы землепользования на основе предварительно обработанных изображений. Применяется контро-

лируемая классификация методом максимальным правдоподобием, с целью отнести каждый пиксель к определенному классу. Спектральные индексы рассчитываются с целью улучшения различения между различными классами землепользования. В результате применения этих двух подходов получается серия многовременных карт землепользования, описывающих пространственное распределение различных классов землепользования.

Блок оценки качества результатов дешифрования и анализа данных ДЗЗ из космоса. Эта фаза направлена на оценку надежности классификации и изменений классов. Составленные карты сравниваются с эталонными данными, такими как тематические карты или результаты полевых измерений, с помощью матрицы ошибок. Рассчитываются общая точность и коэффициент Карра для проверки соответствия полученных классов реальным классам на местности. Этот этап позволяет проверить статистические карты, гарантируя их точность и надежность для научного применения.

Блок оформления результатов дешифрирования и анализа данных ДЗЗ из космоса. На этом этапе результаты анализа преобразуются в карты, пригодные для использования. Растровые данные преобразуются в векторные и интегрируются в географическую информационную систему. Тематические карты, иллюстрирующие изменения в землепользовании, разрабатываются и оформляются для использования в учреждениях. Конечный продукт состоит из серии карт, готовых к использованию Министерством окружающей среды и устойчивого развития Кот-д'Ивуара в рамках мониторинга и планирования территории.

Методы цифровой обработки космических снимков. Цифровая обработка спутниковых изображений осуществлялась в два основных этапа: предварительная обработка и обработка.

Предварительная обработка. Предварительная обработка данных включает в себя все операции, необходимые перед основным анализом [10]. Процесс предварительной обработки изображений Landsat состоит из 4 этапов. Радиометрическая коррекция выполняется для калибровки значений пикселей и/или исправления ошибок в значениях [11]. Атмосферная коррекция состоит в преобразовании, с одной стороны, числового значения DN в радиантность TOA, а с другой стороны, отражательной способности TOA в значения отражательной способности поверхности с использованием алгоритма DOS (Dark Object subtraction) [12]. Этот процесс был выполнен с помощью плагина SCP (Semi Automatic Classification) программного обеспечения QGIS. Выбор комбинации полос состоит в объединении информации, содержащейся в трех полосах, и отображении ее в трех основных цветах (красном, зеленом и синем). Цель состоит в том, чтобы получить изображение, позволяющее четко различать различные типы объектов. Различные цветовые композиции позволили определить и выделить шесть основных классов землепользования (таблица 2). Спектральные каналы были выбраны, поскольку они представляют собой наилучшую комбинацию для классификации изображения по типу землепользования. Различные комбинации цветов были созданы с помощью QGIS. После определения клас-

сов землепользования пространственные изображения были разбиты по границам зоны интереса, чтобы упростить обработку и сократить время. Для выполнения этой задачи был использован алгоритм (extract by mask), включенный в программное обеспечение ArcGIS.

Методы обработки космических снимков. Методика, используемая в данном исследовании, направлена на определение изменений в составе земель и основана на методах обработки спутниковых снимков Landsat. В качестве методов используются классификация под наблюдением и анализ спектральных индексов.

Контролируемая классификация. Контролируемая классификация, также известная как направленная классификация, является краеугольным камнем обработки изображений, которая отразит качество работы и предоставит тематическую информацию о выполненной работе. Нами в качестве алгоритма контролируемой классификации был выбран метод максимального правдоподобия. Классификация с контролем по максимальному правдоподобию заключалась в присвоении каждому пикселю наиболее вероятного класса в зависимости от спектрального сходства между пикселями и сигнатурой класса. Таким образом, все пиксели каждого спутникового изображения были классифицированы по алгоритму максимального правдоподобия путем экстраполяции спектральных характеристик обучающих зон на все изображение. С этой целью были определены зоны обучения, соответствующие шести классам землепользования. Затем оценка точности классификации изображений была основана на матрице ошибок, на основе которой были рассчитаны общая точность и коэффициент Каппа Козна. Эта матрица ошибок генерируется автоматически с помощью плагина SCP (Semi Automatic Classification), включенного в программное обеспечение QGIS. Общая точность определяет общую эффективность алгоритма, которая измеряется путем деления общего числа правильно помеченных образцов на общее число протестированных образцов [13]. Коэффициент Каппа указывает степень согласованности между фактическими данными и прогнозируемыми значениями [14].



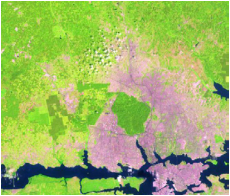
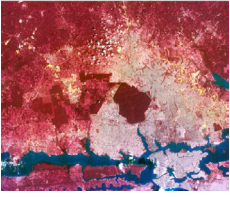

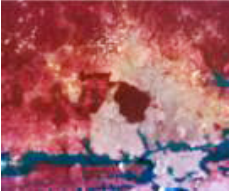
Оценка точности классификации позволяет количественно определить степень согласованности результатов классификации с эталонными данными.

После классификации и оценки точности классифицированные изображения были векторизованы и преобразованы в тематические карты, иллюстрирующие динамику во времени, чтобы облегчить управление ими в программном обеспечении для анализа ГИС QGIS.

Анализ динамики землепользования. Для оценки изменений в землепользовании территорий Кот-д'Ивуар были определены разные зоны для

Таблица 2

Классификация землепользования по данным Landsat: спектральные комбинации каналов

Класс землепользования	Комбинация и изображение каналов	Спектральный диапазон	Роль комбинации
Застроенные территории	7:6:4 	Коротковолновый инфракрасный (SWIR)	Четкое разделение антропогенных объектов (здания, дороги) и природных ландшафтов благодаря высокой отражательной способности искусственных материалов в SWIR-диапазоне.
Густой лес	5:4:3 	Ближний инфракрасный (NIR) и красный	Выделение плотной растительности: NIR канал чувствителен к хлорофиллу, красный — к структуре листвы.
Вторичный лес	6:5:4 	Средний инфракрасный (MIR)	Различение молодой и зрелой растительности за счет разной поглощающей способности в MIR.
Посадки леса	6:4:2 	Красный и зеленый	Усиление контраста между искусственными посадками (ровные ряды) и естественными экосистемами через анализ текстуры и цвета.
Поверхностные водотоки и водоемы	4:3:2 	Видимый диапазон	Оптимальное распознавание водных объектов благодаря поглощению света водой в видимом спектре.
Открытые грунты	6:4:2 	Красный и зеленый	Красный и зеленый диапазоны подчеркивают высокую отражательную способность открытых грунтов, в отличие от растительности, поглощающей красный свет.

разных классов земельного покрова. Изменения были проанализированы за исследуемый период с основной целью определить, как площади различных типов земель изменились с течением времени. Для измерения этих изменений использовались два показателя: общая скорость изменения (T_g) и среднегодовая скорость пространственного расширения (T_c) [15]. Глобальная скорость изменения

была рассчитана с использованием математической формулы, которая позволяет определить изменение площади каждого класса земного покрова между двумя периодами исследования. Общая скорость изменения определяется по формуле (1):

$$T_g = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \times 100 \quad (1)$$

где T_g – общая скорость изменения; S_1 – площадь класса на дату t_1 ; S_2 – площадь класса на дату t_2 .

После чего был проведен углубленный анализ для детальной оценки изменений, произошедших внутри каждого класса землепользования. Этот анализ проводился по скорости изменения (T_c) или среднегодовому пространственному выражению. Среднегодовая скорость пространственного расширения определяется по формуле (2):

$$T_c = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/t} - 1 \right] \times 100 \quad (2)$$

где T_c – скорость изменения (%); S_1 – площадь класса на дату t_1 ; S_2 – площадь класса на дату t_2 ; t – количество лет между двумя датами.

Когда значения скорости изменения являются положительными, они указывают на прогрессию, а когда они являются отрицательными, это объясняется деградацией класса. Что касается значений, близких к нулю, это означает, что класс стабилен.

Анализ спектральных индексов. На основе мультиспектральных данных Landsat было сгенерировано пять радиометрических индексов. Формулы этих индексов приведены в таблице 3. Каждый индекс предназначен для представления основных категорий землепользования. Среди этих индексов мы использовали спектральные индексы, такие как NDVI, NDWI, NDBI, NDSI и SAVI, которые позволяют извлекать важную информацию о растительном покрове и широко используются для картографирования землепользования. Индекс нормализованной разницы растительности (NDVI) позволяет идентифицировать, обнаруживать и четко различать растительные зоны (такие как леса) и нерастительные зоны (водоемы и голые земли) [16]. Для различения водных поверхностей и растительности был использован индекс нормализованной разницы водных поверхностей (NDWI). Этот индекс позволил уточнить особенности водных объектов и составить карту водоемов, лагун, озер и рек. Индекс застроенных территорий с нормализованной разницей (NDBI) [17] используется для указания плотности застройки территории. Он был выбран для выделения и обозначения застроенных территорий, в частности жилых районов, зданий и дорожной инфраструктуры, и их отличия от незастроенных земель. Индекс NDSI используется для различения незастроенных земель и застроенных территорий [18]. Этот индекс использовался для отличия голых земель, особенно песчаных карьеров, развивающихся промышленных зон, расчищенных сельскохозяйственных земель и эродированных почв от других типов почвенного покрова исследуемой зоны, в частности урбанизированных зон и водно-болотных угодий, которые имеют сходное спектральное отражение и

не идентифицируются индексом NDSI. Индекс растительности, скорректированный с учетом почвы (SAVI), представляет собой индекс растительности, который направлен на минимизацию влияния яркости почвы с помощью поправочного коэффициента [19]. Этот индекс был использован для выделения сельскохозяйственных зон, затронутых человеческой деятельностью, таких как плантации какао, каучуковых деревьев и бананов, которые быстро расширяются в нашей исследуемой зоне.

Спектральные индексы были рассчитаны с помощью инструмента raster calculator программного обеспечения QGIS. Такой подход позволяет лучше различать и создавать изображения, на которых четко видны различные классы землепользования.

Результаты и обсуждение

Применение методологии, предложенной в данной статье, направлено на создание структурированной, воспроизводимой и научно обоснованной системы для автоматического обнаружения изменений в составе земель на основе набора индексных изображений. На данном этапе нашего исследования полученные результаты не являются окончательными тематическими картами, а скорее, методологическими и аналитическими результатами, позволяющими оценить эффективность подхода к выявлению, сравнению и интерпретации пространственно-временных изменений, связанных с землепользованием на территории Кот-д'Ивуара.

Процесс обработки направлен на создание однородных и сопоставимых во времени тематических карт на основе спутниковых изображений, полученных в разные периоды времени. Применение двух подходов – классификации с максимальной вероятностью и одновременной интеграции мультиспектральных изображений и спектральных индексов – направлено на значительное улучшение различения между различными категориями землепользования. Использование комбинации спектральных каналов, адаптированных к каждому классу, позволяет уменьшить спектральную путаницу, часто наблюдаемую в случаях, когда классификация с контролем основана только на одной комбинации спектральных каналов. Структурирование методологии по функциональным блокам позволяет лучше контролировать каждый этап, избегать кумулятивных ошибок и улучшить воспроизводимость анализа, что является фундаментальным элементом для пространственно-временного мониторинга.

Результаты этого исследования являются продолжением предыдущих исследований, проведенных, в частности, в Западной Африке и других регионах, с учетом значительных методологических усовершенствований.

Кроме того, исследования, проведенные A.S. Koffi, A.A. Fora, H. Elbelrhiti [20] и S.E.B. Bouiadja, W.E. Zerey, K. Benabdeli [21], базируются на

Индексные изображения, использованные в настоящем исследовании

Название индекса	Идентификатор индекса	Используемые полосы	Формула	Функция
Нормализованный разностный индекс растительности	NDVI	NIR, красный	$(NIR - \text{красный}) / (NIR + \text{красный})$	Позволяет идентифицировать, обнаружить и четко отделить растительные участки (густые леса, вторичные леса) от нерастительных (водоемы и открытые грунты) с целью картографирования и оценки воздействия антропогенных изменений на лесной покров.
Нормализованный индекс разности воды	NDWI	Зеленый - NIR	$(\text{Зеленый} - NIR) / (\text{Зеленый} + NIR)$	Для различения водных поверхностей (лагун, озер и рек) от растительных поверхностей, для картографирования водоемов и обнаружения изменений в окружающей среде.
Нормализованная разность индекса застройки	NDBI	SWIR, NIR	$(SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$	Различать и выделять все застроено, то есть жилые районы, здания и дорожную инфраструктуру, и отделять их от незастроенных земель.
Нормализованный разностный почвенный индекс	NDSI	SWIR, NIR	$(SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$	Для выделения оголенных участков, включая песчаные карьеры, развивающиеся промышленные зоны, расчищенные сельскохозяйственные угодья, эродированные почвы из других типов почвенного покрова.
Индекс растительности с поправкой на почву	SAVI	NIR, красный	$((NIR - \text{Rouge}) / (NIR + \text{Rouge} + 0.5)) * 1.5$	для выявления сельскохозяйственных зон, подверженных воздействию человеческой деятельности, таких как плантации какао, каучука и бананов, которые быстро расширяются.

использовании спектрального индекса NDVI для оценки состояния растительного покрова. Хотя этот метод эффективен для определения наличия или отсутствия растительности, он имеет значительные ограничения, когда речь идет об идентификации нескольких классов землепользования. Данное исследование позволяет преодолеть это ограничение, в частности, путем объединения спектральных индексов со спектральными изображениями, что улучшает различие категорий землепользования, в частности между естественной растительностью, вторичной растительностью и сельскохозяйственными угодьями.

Исследования L. Coulibaly, K.H. KOUASSI, G.E. Soro, I. Savane [22] основаны на классификации с максимальной вероятностью на основе изображений Landsat. Этот метод позволил выделить 5 классов землепользования и выявить пространственно-временную динамику землепользования. Хотя эта методология является актуальной, она базируется на использовании комбинации спектральных каналов (синтез 4-5-7), применяемой в целом ко всем

различным классам. В тропических условиях такая конфигурация может привести к спектральной путанице даже при использовании данных, полученных на местности, из-за сильной пространственной неоднородности и близких спектральных сигнатур между классами. В нашем исследовании специфическое использование комбинации спектральных каналов, адаптированных к каждому классу, способствует лучшей идентификации классов при их определении, тем самым уменьшая спектральную путаницу, когда классификация основана на одной комбинации спектральных полос, а также позволяя лучше различать категории землепользования и иметь несколько классов землепользования.

Кроме того, в научных исследованиях C.B. Tiesse, E.N. Wandan, H.D. N'da [23] и Z. Koumoi, A. Allassane, M. Djangbedja, T. Boukpepsi, A.E. Kouya [24] ни в одном случае не представлены результаты матриц ошибок для различных исследуемых дат. Этот факт не позволяет оценить надежность и точность полученных классификаций. Напротив, методология, предложенная в данном исследовании,

уделяет большое внимание оценке надежности результатов, систематически генерируя матрицы ошибок и указания на точность. Этот этап, который часто не описывается подробно в предыдущих работах, имеет важное значение для обеспечения научной обоснованности исследования.

Полученные результаты демонстрируют, что предложенная методология представляет собой последовательный и подходящий подход к анализу изменений в составе и использовании земель на основе набора индексных изображений. Использование комбинации спектральных каналов для обнаружения каждого класса в рамках контролируемой классификации значительно улучшает разграничение между различными категориями землепользования, особенно в тропических условиях, где высокая неоднородность ландшафта способствует спектральной путанице. Сравнение методологии с предыдущими исследованиями показывает, что во многих исследованиях для обнаружения различных классов используется либо один спектральный индекс, либо одна комбинация спектральных каналов. Этот метод снижает точность различения между различными категориями землепользования. В отличие от предлагаемого подхода, данное исследование основано на точном выборе комбинации спектральных каналов и индексов, подходящих для каждого класса, что позволяет уменьшить путаницу между классами и получить представление, более близкое к наблюдаемой пространственной организации.

Таким образом, предлагаемая методология не просто воспроизводит существующие методы, но обогащает и совершенствует их, предоставляя организованную, воспроизводимую и основанную на научных данных структуру. Она составляет прочную основу для долгосрочного мониторинга динамики землепользования на территории Кот-д'Ивуара и может использоваться в различных областях, в частности в области территориального планирования, управления природными ресурсами и экологического планирования.

Заключение

Это исследование позволило разработать четко структурированную методологию анализа изменений в составе и использовании земель на основе набора мультиспектральных изображений Landsat со средним пространственным разрешением. Результаты этого исследования показывают, что предложенная методология эффективно соответствует особенностям тропической среды, где разнообразие

ландшафта и близость спектральных сигнатур затрудняют исследование по анализу землепользования.

Научный вклад данного исследования заключается в дифференцированном применении различных комбинаций мультиспектральных полос и спектральных индексов, которые выбираются в зависимости от каждой категории землепользования в рамках тщательно организованной методологии, состоящей из нескольких этапов. В отличие от многих исследований, в которых авторы ограничиваются применением комбинации единственных мультиспектральных каналов или единственного спектрального индекса ко всем классам, предлагаемая методология позволяет улучшить различие между различными категориями землепользования. Эта способность лучше различать классы важна для изучения динамики землепользования.

С методологической точки зрения, интеграция оценки точности посредством расчета матриц ошибок и показателей надежности является одним из основных преимуществ данного исследования. Этот этап часто отсутствует в некоторых предыдущих исследованиях, проводившихся в Западной Африке. Он очень важен, поскольку позволяет объективно оценить качество различных полученных классификаций с целью повышения научной достоверности результатов.

С практической точки зрения, полученные результаты имеют важное значение для Кот-д'Ивуара. Предложенная методология может служить оперативным инструментом для органов, ответственных за территориальное планирование, с целью более эффективного контроля за урбанизацией в рамках мониторинга обезлесения, чтобы обеспечить его восстановление экологическими учреждениями, а также для реализации политики устойчивого управления.

В итоге, это исследование выходит за рамки простого использования технологий дистанционного зондирования, предлагая релевантный методологический подход, основанный на научных принципах и адаптированный к экологическим и институциональным реалиям территории Кот-д'Ивуара. Оно также представляет собой релевантную основу для будущих исследований в области разработки методологии мониторинга территориальной динамики. Результаты экспериментальных исследований будут представлены в следующей статье.

Список литературы

1. Dires T., Temesgen. F. Assessing land use and land cover change detection using remote sensing in the Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia. *Cogent Environmental Science*. 2020. V. 6. No. 1.
2. Ouattara T.A., Kouamé K.F., Zo-Bi I.C., Vaudry R., Grinand C. Changements d'occupation et d'usage des terres entre 2016 et 2019 dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire : impact des cultures de rente sur la forêt. *Bois et Forêts des Tropiques*. 2021. No. 347. Pp. 89-104.

3. El Hage Hassan. H, Ardillier-Carras F, Charbel L. Les changements d'occupation des sols dans la Béqaa Ouest (Liban) : le rôle des actions anthropiques. *Cahiers Agricultures*. 2019. V. 28. Pp. 10.
4. BNETD. Réalisation d'une étude sur l'identification, l'analyse et la cartographie des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en Côte d'Ivoire. Rapport technique. Abidjan, Côte d'Ivoire. 2016. Pp. 104.
5. FAO, SEP-REDD+. Données forestières de base pour la REDD+ en Côte d'Ivoire: Cartographie de la dynamique forestière de 1986 à 2015. Rome, Italie, FAO. 2017. Pp. 32.
6. Jofack Sokeng V., Akpa Y. L., Assoma T., Kouamé F., Corgne S., Rudant J.P. Suivi par télédétection des affectations des terres pour la promotion d'une agriculture intégrée au développement forestier en Côte d'Ivoire. HAL science ouverte. 2019. Pp. 17.
7. Ваш спутник в мире геопространственных решений: офиц. сайт. URL: <https://innoter.com/sputniki/> (дата обращения: 17.09.2021).
8. Manjula K.R., Jyothi S., Anand K.V. Data Preprocessing in Multi-Temporal Remote Sensing Data for Deforestation. *Global Journal of Computer Science and Technology Software & Data Engineering*. 2013. V. 13. No. 6.
9. Jensen J.R. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. Third edition, Prentice Hall. 2005. Pp. 316.
10. Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W. Remote sensing and image interpretation. Seventh Edition. 2015. Pp. 736.
11. Congedo L. Semi-automatic classification plugin documentation. Release. 2016. Pp. 29.
12. Chavez P.S. Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. V. 62. No. 9. Pp. 1025-1036.
13. Understanding Maximum Likelihood Estimation in Supervised: офиц. сайт. URL: <https://theaisummer.com/mle/> (дата обращения: 05/05/2025).
14. Congalton R.G., Green K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data. Principles and Practices, Third Edition. 2009. Pp. 200.
15. Geist H.J., Lambin E.F. What Drives Tropical Deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. *LUCC Report Series*. 2001. No. 4. Pp. 136.
16. Clandillon S., Fraipont P., Yesou H. In Assessment of the future spot 4 mir for wetland monitoring and soil moisture analysis: Simulation over the ried center Alsace France. *SPIE Remote Sensing for Agriculture, Forestry, and Natural Resources*, Paris, France. 1995.
17. Zha Y., Gao J., Ni S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2003. V. 24. No. 3. Pp. 583-594.
18. Elhag M. Evaluation of Different Soil Salinity Mapping Using Remote Sensing Techniques in Arid Ecosystems, Saudi Arabia. *Journal of Sensors*. 2016. Pp. 96175.
19. Rodgers J.L., Nicewander W.A. Thirteen ways to look at the correlation coefficient. *390 The American Statistician*. 1988. V. 42. No. 1. Pp. 59-66.
20. Koffi A.S., Fora A.A., Elbelhiti H. Cartographie De L'état Du Couvert Végétal Du Nord De La Côte D'Ivoire À Partir D'images Satellites : Exemple De La Zone De Korhogo. *European Scientific Journal*. 2016. V. 12. No. 29. Pp. 204.
21. Bouiadja S.E.B., Zerey W.E., Benabdeli K. Étude diachronique des changements du couvert végétal dans un écosystème montagneux par télédétection spatiale : cas des monts du Tessala (Algérie occidentale). *Physio-Géo*. 2011. V. 5. Pp. 59-66.
22. Coulibaly L., KOUASSI K.H., Soro G.E., Savane I. Analyse du processus de savanisation du nord de la Côte d'Ivoire par télédétection: Cas du département de Ferkessédougou. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 2017. V. 1. No. 1. Pp. 136-143.
23. Tiesse C.B., Wandan E.N., N'da H.D. Apport De La Teledetection Pour Le Suivi SpatioTemporel De L'occupation Du Sol Dans La Region Montagneuse Du Tonkpi (Cote D'Ivoire). *European Scientific journal*. 2017. V. 15. Pp. 310.
24. Koumou Z., Alassane A., Djangbedja M., Boukpepsi T., Kouya A.E. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le centre-Togo. *AHOHO – Revue de Géographie du LARDYMES*. 2013. V. 10. Pp. 163-172.

References

1. Dires T., Temesgen. F. Assessing land use and land cover change detection using remote sensing in the Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia. *Cogent Environmental Science*. 2020. V. 6. No. 1.
2. Ouattara T.A., Kouamé K.F., Zo-Bi I.C., Vaudry R., Grinand C. Changements d'occupation et d'usage des terres entre 2016 et 2019 dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire : impact des cultures de rente sur la forêt. *Bois et Forêts des Tropiques*. 2021. No. 347. Pp. 89-104.
3. El Hage Hassan. H, Ardillier-Carras F, Charbel L. Les changements d'occupation des sols dans la Béqaa Ouest (Liban) : le rôle des actions anthropiques. *Cahiers Agricultures*. 2019. V. 28. Pp. 10.
4. BNETD. Réalisation d'une étude sur l'identification, l'analyse et la cartographie des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en Côte d'Ivoire. Rapport technique. Abidjan, Côte d'Ivoire. 2016. Pp. 104.
5. FAO, SEP-REDD+. Données forestières de base pour la REDD+ en Côte d'Ivoire: Cartographie de la dynamique forestière de 1986 à 2015. Rome, Italie, FAO. 2017. Pp. 32.
6. Jofack Sokeng V., Akpa Y. L., Assoma T., Kouamé F., Corgne S., Rudant J.P. Suivi par télédétection des affectations des terres pour la promotion d'une agriculture intégrée au développement forestier en Côte d'Ivoire. HAL science ouverte. 2019. Pp. 17.
7. Your companion in the world of geospatial solutions: official website. URL: <https://innoter.com/sputniki/> (date of access: 17.09.2021).
8. Manjula K.R., Jyothi S., Anand K.V. Data Preprocessing in Multi-Temporal Remote Sensing Data for Deforestation. *Global Journal of Computer Science and Technology Software & Data Engineering*. 2013. V. 13. No. 6.
9. Jensen J.R. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. Third edition, Prentice Hall. 2005. Pp. 316.
10. Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W. Remote sensing and image interpretation. Seventh Edition. 2015. Pp. 736.
11. Congedo L. Semi-automatic classification plugin documentation. Release. 2016. Pp. 29.
12. Chavez P.S. Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. V. 62. No. 9. Pp. 1025-1036.
13. Understanding Maximum Likelihood Estimation in Supervised: офиц. сайт. URL: <https://theaisummer.com/mle/> (date of access: 05/05/2025).
14. Congalton R.G., Green K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data. Principles and Practices, Third Edition. 2009. Pp. 200.
15. Geist H.J., Lambin E.F. What Drives Tropical Deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. *LUCC Report Series*. 2001. No. 4. Pp. 136.

16. Clandillon S., Fraipont P., Yesou H. In Assessment of the future spot 4 mir for wetland monitoring and soil moisture analysis: Simulation over the ried center Alsace France. SPIE Remote Sensing for Agriculture, Forestry, and Natural Resources, Paris, France. 1995.
17. Zha Y., Gao J., Ni S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. International Journal of Remote Sensing. 2003. V. 24. No. 3. Pp. 583-594.
18. Elhag M. Evaluation of Different Soil Salinity Mapping Using Remote Sensing Techniques in Arid Ecosystems, Saudi Arabia. Journal of Sensors. 2016. Pp. 96175.
19. Rodgers J.L., Nicewander W.A. Thirteen ways to look at the correlation coefficient. 390 The American Statistician. 1988. V. 42. No. 1. Pp. 59-66.
20. Koffi A.S., Fora A.A., Elbelrhiti H. Cartographie De L'état Du Couvert Végétal Du Nord De La Côte D'ivoire À Partir D'images Satellites : Exemple De La Zone De Korhogo. European Scientific Journal. 2016. V. 12. No. 29. Pp. 204.
21. Bouiadja S.E.B., Zerey W.E., Benabdeli K. Étude diachronique des changements du couvert végétal dans un écosystème montagneux par télédétection spatiale : cas des monts du Tessala (Algérie occidentale). Physio-Géo. 2011. V. 5. Pp. 59-66.
22. Coulibaly L., KOUASSI K.H., Soro G.E., Savane I. Analyse du processus de savanisation du nord de la Côte d'Ivoire par télédétection: Cas du département de Ferkessédougou. International Journal of Innovation and Applied Studies. 2017. V. 1. No. 1. Pp. 136-143.
23. Tiesse C.B., Wandan E.N., N'da H.D. Apport De La Teledetection Pour Le Suivi SpatioTemporel De L'occupation Du Sol Dans La Region Montagneuse Du Tonkpi (Cote D'ivoire). European Scientific journal. 2017. V. 15. Pp. 310.
24. Koumoi Z., Alassane A., Djangbedja M., Boukpepsi T., Kouya A.E. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le centre-Togo. АНОНО – Revue de Geographie du LARDYMES. 2013. V. 10. Pp. 163-172.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Ассех Куаме Фабрис

соискатель, кафедра космического мониторинга и экологии, Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Москва, Россия

Беленко Виктор Владимирович

доктор технических наук, профессор, кафедра космического мониторинга и экологии, Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Москва, Россия

Information about authors
Affiliations

Asseh Kouame Fabrice

Applicant, Department of Space Monitoring and Ecology, Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Moscow, Russia

Belenko Viktor Vladimirovich

Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department of Space Monitoring and Ecology, Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Moscow, Russia

Поступила в редакцию 24.02.2026 г.

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ И ЗНАЧЕНИЕ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ

Желонкина Е.Э., Хуторова А.О., Пафнутова Е.Г., Андреев А.А., Хуторов А.А.
ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», 105064, Москва, Россия
e-mail: e.pafnut140576@mail.ru

Торф относится к классу углеводородсодержащего природного сырья и наряду с нефтью, газом и каменным углем является сырьем для производства широкого ряда торфяной продукции, имеющей спрос в народном хозяйстве. Содержит до 3% органического азота, богат макро- и микроэлементами, различными органическими кислотами, витаминами, гуминовыми стимуляторами роста, обладает высокими показателями биологической активности, емкости ионного обмена и уникальными тепловыми, физико-механическими и структурными свойствами. Из него получают продукцию для сельского хозяйства, овощеводства, садоводства и лесоводства. Добыча торфа сопряжена с антропогенным воздействием на окружающую среду, что вызывает необходимость мониторинга таких месторождений и проведения работ по восстановлению болотных территорий в целях восстановления растительного разнообразия и гидрологического режима.

Ключевые слова: торф, месторождение торфа, использование торфяной продукции, растительность торфяных болот, сельское хозяйство, растительность болот, химические свойства, компост, плодородие почвы, антропогенное воздействие, экосистема, природный мониторинг.

EVALUATION AND MEANING OF TURF DEPOSITS IN WESTERN SIBERIA FOR THE AGRICULTURE OF RUSSIA

Zhelonkina E.E., Khutorova A.O., Pafnutova E.G., Andreev A.A., Khutorov A.A.
State University of Land Use Planning, 105064, Moscow, Russia

Turf belongs to the class of hydrocarbon-containing natural raw materials and, together with oil, natural gas and coal, is used for production of the wide range of turf products, which are highly demanded in national economy. It contains up to 3% of organic nitrogen. It is rich in macro- and microelements, different organic acids, vitamins, humin growth-promoting agents. It has high biological activity, ion exchange capacity, and unique thermal, physical and mechanical, structural characteristics. It is used for the needs of agriculture, vegetable farming, gardening, and forest growing. Peat extraction is associated with anthropogenic impact on the environment, which necessitates monitoring of such deposits and restoration of wetland areas in order to restore plant diversity and hydrological regime.

Keywords: turf, turf deposit, use of turf products, turf swamps vegetation, agriculture, swamps vegetation, chemical characteristics, compost, soil fertility, anthropogenic impact, ecosystem, environmental monitoring.

Введение

В области переработки торфа и получения торфяных продуктов, используемых в сельскохозяйственном производстве, в настоящее время определились два направления:

– переработка низинного торфа высокой степени разложения

для получения органических удобрений, акти-вирующих добавок в качестве основы для компостов с целью сохранения и повышения плодородия почв;

– переработка верхового мохового торфа низкой степени разложения для получения искусственной почвы (субстрата) в различных вариантах (рассыпные, прессованные, формованные) и использования в тепличном овощеводстве, садоводстве, лесоводстве, любительском и промышленном цветоводстве.

Торф как адсорбент в борьбе с загрязнением нефтью привлекает все большее внимание: фактически он вытеснил все другие приемлемые адсорбенты. Торф применяется для обработки сточных вод скотобоен, при озеленении земельных участков различной категории (парков, садов), склонов и ко-

согоров. Используется при рекультивации земель, подверженных техногенному воздействию [1,2].

Материалы и методы исследования

Территория Западной Сибири – крупнейший в мире регион по залежам торфа, в котором сосредоточено около 70% всех мировых запасов. Создавшиеся особые климатические условия способствуют образованию торфа и в настоящее время, по данным ученых, увеличение торфяной массы происходит примерно на 3 мм в год. Площадь заболоченных территорий равнины составляет около 82%, из них половина приходится на торфяные болота. В центре Западно-Сибирской равнины находится Васюганское месторождение торфа, протяженностью 73 тыс. км² и входящее в Новосибирскую, Омскую, Томскую и Тюменскую области и имеет около 18.8 млрд т. торфяных залежей, основные объемы торфа сформировались на территории Тюменской и Томской областей, запасы которых составляют 87% [3].

В Нефтеюганском районе определено 179 месторождений торфа, но исследования по его свойствам и количеству мало изучены. Поисково-оценочные

геологические работы проведены на 2-х месторождениях, но они удалены (62-81 км) от дорожно-транспортной сети Нефтеюганска. Выбор месторождений проводился по отчетам НИР, степени полученных данных о месторождениях, их местонахождению, качеству торфяного сырья, разветвленности дорожно-транспортной сети [4,5].

Результаты исследования и их обсуждение

В целях освоения торфяников необходимо провести выбор торфяных месторождений с высококачественным торфяным сырьем верхового типа.

К такому сырью относятся сфагновые слабо-разложившиеся торфы, пригодные для различных видов прессованной продукции, и хорошо разложившиеся битуминозные торфы, пригодные для производства сырого торфяного воска. Все перечисленные виды сырья являются экономически рентабельной продукцией, которая может реализовываться в различных регионах России и за рубежом. Однако следует учитывать, что процесс производства такой продукции требует значительных капитальных вложений.

По данным мониторинга Нефтеюганского района, для исследования подобрано два низинных торфяных месторождения (далее – т.м.): «Усть-Балыкское» («Сингапай»), «Южно-Балыкское» («Мамонтовское») и два верховых: «Петеленское» и «Правдинское» («Пойковское»).

Т.м. «Усть-Балыкское» («Сингапай») расположено в пойме р. Юганская Обь, общей площадью более 12 га, имеет неровную овальную форму с извилистой нулевой границей. В периоды сильных паводков территория месторождения практически полностью затопливается. Растительный покров в основном состоит из осоковых сообществ с угнетенным ярусом березы и ивы. Торфяная залежь низинного типа площадью 80 га с общим объемом торфа – 2 835 тыс. м³ при средней глубине 3.5 м. Торф имеет хорошо выраженную структуру разложения со степенью по слоям от 30 до 50%. Большая часть территории месторождения занята древесно-тра-

вяной растительностью с преобладанием остатков осоковых, нижние слои состоят из осоково-шейцериевой растительности. На участке ведется активная добыча торфа, поэтому верхний живой слой растительности с поверхности удален.

Т.м. «Южно-Балыкское» («Мамонтовское») расположено в пойме ручья Ай-Яун и подвержено затоплению полыми водами. Редколесье состоит из ярусов древесного (березняка, хвойных пород), кустарникового (шиповника, ивовых) и травяно-кустарничкового, мхово-лишайникового ярусов. Месторождение в достаточной мере не изучено.

Показатели радиационной безопасности и химический анализ проб низинных торфяных месторождений «Усть-Балыкское» («Сингапай»), «Южно-Балыкское» («Мамонтовское») представлены на рис. 1, рис. 2.

На территориях т.м. «Усть-Балыкское» («Сингапай») и «Южно-Балыкское» («Мамонтовское») агрохимические показатели торфа имеют высокое содержание минерально-органических соединений. Кроме того, торф «Южно-Балыкское» («Мамонтовское») содержит азот и существенное количество фосфора (~1%). Данное обстоятельство позволяет отнести его к вивианитовым торфам и использовать в чистом виде, в качестве компонента, заменяющего фосфорные удобрения, а также в качестве источника соединений фосфора.

Отметим, что верхние генетические горизонты торфяных месторождений характеризуются средней степенью разложения, что позволяет использовать их для производства торфяных субстратов.

Высокая степень разложения низинных торфов, которые содержат значительное количество органических веществ и гуминовых кислот, повышает их агрохимическую ценность для производства высокоэффективных комплексных гранулированных удобрений пролонгированного действия. Такие удобрения отличаются повышенной прочностью, влагостойкостью и являются удоботранспортируемыми.

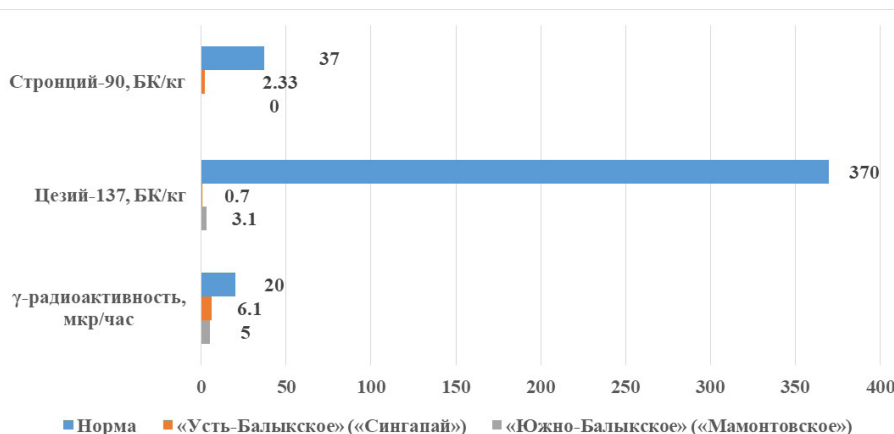


Рис. 1. Содержание естественных радионуклидов, γ-радиоактивность на территории низинных болот «Усть-Балыкское» («Сингапай»), «Южно-Балыкское» («Мамонтовское»)

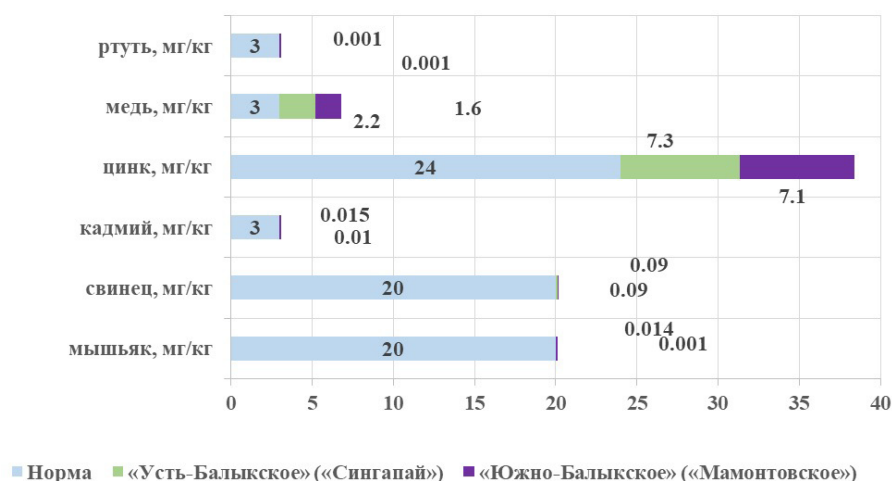


Рис. 2. Химический анализ проб низинных болот «Усть-Балыкское» («Сингапай»), «Южно-Балыкское» («Мамонтовское») (фрагмент)

Из разложившихся низкозольных торфов путем гидролиза получают гуминовые стимуляторы для улучшения роста сельскохозяйственных культур и декоративного растениеводства. Стимулятор служит защитным средством от болезнетворных грибковых и бактериальных инфекций для овощей и картофеля, в том числе от альтернариоза (сухой гнили), фитофтороза и др. Это достигается путем добавления в гидрогумат отдельных химических добавок. Производить такие препараты можно в составе минеральных удобрений и совместно с пестицидами.

Для выращивания сельскохозяйственных культур особо ценным является торфяная подстилка, которая может использоваться россыпью и в уплотненном виде (кипованная в мешки, прессованная в плитках). Торфяная подстилка используется на сельскохозяйственных фермах для утилизации навоза животных и птиц. Она хорошо сохраняет питательные вещества, необходимые для выращивания растений, и отличается высокой водо- и газопоглотительной способностью [6].

Торфяная подстилка в зависимости от качества торфяного сырья подразделяется на категории: подстилка из слаборазложившегося верхового и переходного торфа (1 категория); подстилка из более разложившегося переходного и низинного торфа (2 категория).

Т.м. «Петеленское» имеет неровную форму с нулевой границей и расположено в долине р. Малый Балык, протекающей по восточной стороне месторождения. Территория перемежается суходолами и подвержена подтоплению полыми водами, микрорельеф волнистый. Территория относится к недостаточно разведанной. Геолого-тематической партией частично был разведан отдельный участок месторождения площадью 6.4 га.

По данным разведывательных работ, общий объем торфа-сырца – 205.0 тыс. м³, средняя глубина залегания – 3.2 м. Торфяная залежь верхового типа.

Растительность на участке угнетенно-олиготрофная, ярусная, невысокая – от 2.5 до 4.0 м – и представлена древесными (сосна, береза), травяно-кустарничковыми, вересковыми видами, морошкой, сфагновыми мхами.

По данным опробования торфяной залежи т.м. «Петеленское», на разведанном участке данного месторождения представлена верховая ангустифолиум-залежь глубиной 2.0 м. Торфяная залежь сложена разнообразными по ботаническому составу верховыми торфами: фускум-, ангустифолиум-, фаллак-торфом, шейхцерицево-сфагновым, а ее придонный слой – переходным древесно-сфагновым торфом.

Степень разложения торфов по слоям варьирует от 5 до 60%, средняя по шурфу – 25.6%. Торф характеризуется низкими показателями зольности: от 1.9 до 2.5% и достаточно высокими показателями влажности – от 89 до 91%. Показатели рНСОЛ по слоям варьируют от 3.0 до 3.1, то есть торфа являются сильно кислыми.

По показателям степени разложения, торфяная залежь является двухслойной. Верхний слой толщиной 1.0 м сложен слаборазложившимися (5-25%) торфами, нижний – средне и хорошо разложившимися (30-60%) торфами.

Т.м. «Правдинское» («Пойковское») имеет разветвленную форму с нулевой границей, сильно изрезанной глубоко вклинивающимися суходолами; находится в долине р. Малый Балык. Полыми водами затапливается часть месторождения, расположенная в пойме, разведан участок, расположенный в 18 км от п. Пойковский, в районе нефтедобывающего куста. Площадь разведанного участка т.м. «Правдинское» – 10 га с общим объемом торфа – 350 тыс. м³, средняя глубина залегания – 3.5 м. Торфяная залежь верхового типа.

На обследованном участке выражен олиготрофный грядово-мочажинный комплекс кустарничково-морошково-сфагновыми грядами и шейхцерицево-сфагновыми мочажинами. На грядах, занимающих

около 70%, доминирует сфагнум-фускум, в мочажинах – сфагнум-манус. На разведанном участке месторождения представлена верховая фускум-залежь.

Показатели радиационной безопасности и химический анализ проб верховых торфяных месторождений «Петелинское» и «Правдинское» («Пойковское») представлены на рис. 3 и рис. 4.

Торф «Петелинского» и «Правдинского» («Пойковского») месторождений относятся к торфам верхового типа, характеризуются кислой реакцией среды (~2.5%), зольностью (1.5-2.0%). Верхний горизонт т.м. «Петелинского» месторождения (0.5-0.75 м) имеет низкую степень разложения (5%), торф остальных генетических горизонтов имеет среднюю степень разложения (15-25%). Агрохимические свойства и высокое содержание органического вещества верховых торфяников можно использовать в сельском хозяйстве для производства торфяных дрожжей, удобрений и др.

Выводы

Анализ свойств исследуемых торфов показыва-

ет возможность создания на их основе комплексного торфяного производства и получения широкого спектра торфяной продукции. При создании производства по переработке торфа необходимо правильно оценить стратегию развития производства и из широкого спектра торфяной продукции выбрать ее первоочередные, наиболее экономически целесообразные виды.

Для создания конкретного производства переработки торфа необходимо провести детальную разведку месторождения с точной оценкой запасов торфяного сырья [7]. Необходим более глубокий анализ органолептических и химических свойств торфа с отбором экспериментальных проб на разных корреляционных площадях. Поэтому, прежде чем начинать промышленную добычу, необходимо провести мониторинг, смоделировать возможности перспективной добычи и выработки торфа, а также изучить, как ведет себя экосистема, что позволит предотвратить риски ущерба, наносимого природной среде Севера.

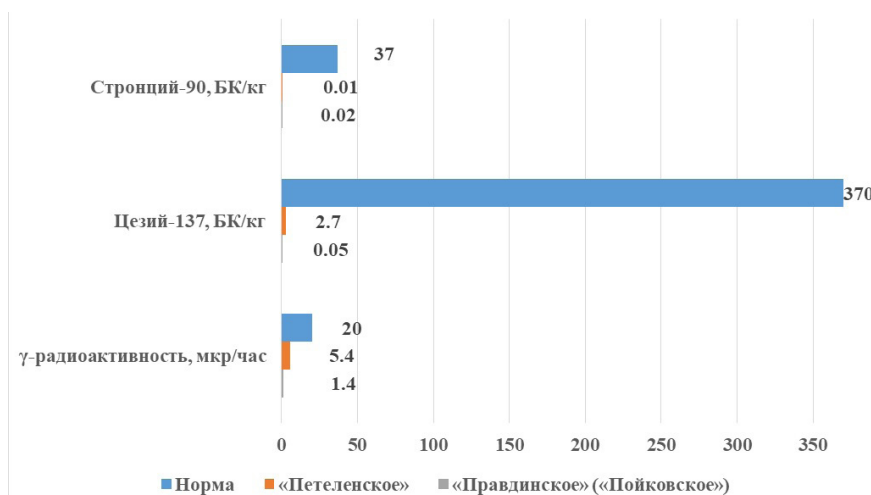


Рис. 3. Содержание естественных радионуклидов, γ-радиоактивность на территории верховых торфяных болот «Петелинское» и «Правдинское» («Пойковское»)

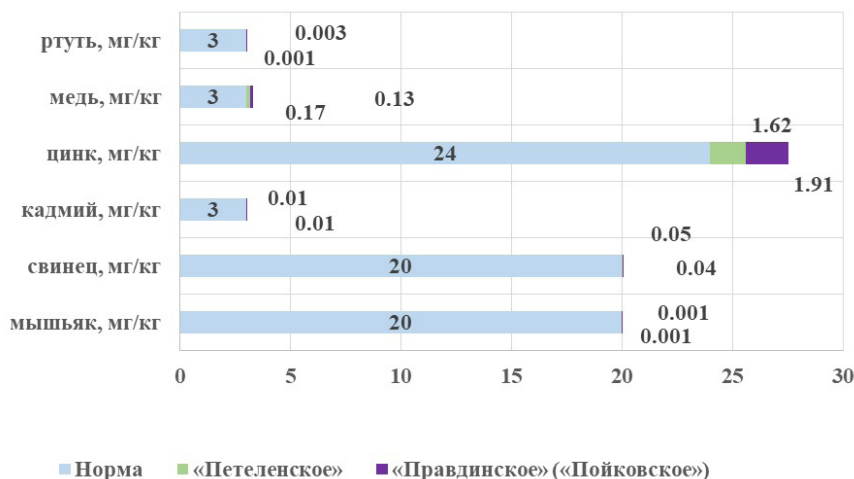


Рис. 4. Химический анализ проб верховых торфяных болот «Петелинское» и «Правдинское» («Пойковское») (фрагмент)

Список литературы

1. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. М.: «Наука и техника». 1975. 320 с.
2. Торф в народном хозяйстве (под ред. Соколова Б., Н_с). М.: Недра. 1988. 266 с.
3. Кадастровый справочник «Торфяные месторождения Тюменской области». М. 1971. 284 с.
4. Отчет о НИР «Совершенствование методики поисков торфяных месторождений Западной Сибири». М. 1989. 216 с.
5. Отчет о НИР «Оценка минерально-сырьевой базы Нефтеюганского района» / Каталог месторождений и проявлений твердых полезных ископаемых, т. II. Тюмень: ЧП «Агроэкоинжгео». 1992. 186 с.
6. Желонкина Е.Э., Пафнута Е.Г., Фомина А.В. Особенности землепользования в направлении агропромышленного комплекса северной территории ЮГРА В сборнике: Географические исследования в контексте социально-экономического развития регионов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), посвященной 75-летию кандидата географических наук, доцента, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации Ахмеда Лечаевича Устаева. Грозный. 2022. С. 314-322.
7. Желонкина Е.Э., Пафнута Е.Г., Бойценюк Л.И. Создание и анализ математической модели антропогенного воздействия на локальную экологическую систему. В сборнике: Биологическое разнообразие – основа устойчивого развития. Материалы международной научно-практической конференции. 2019. С. 70-77.

References

1. Lishtvan I.I., Korol' N.T. *Osnovnye svoystva torfa i metody ikh opredeleniya* [Basic properties of peat and methods for their determination]. Moscow: «Science and technology». 1975. 320 p.
2. *Torf v narodnom khozyaystve (pod red. Sokolova B., N_s)* [Peat in the National Economy (edited by Sokolov B., N_s)]. Moscow: Nedra. 1988. 266 p.
3. *Kadastrivyy spravochnik «Torfyanye mestorozhdeniya Tyumenskoy oblasti»* [Cadastral Directory «Peat Deposits of the Tyumen Region»]. Moscow. 1971. 284 p.
4. Research Report «Improving the Methodology for Exploring Peat Deposits in Western Siberia». Moscow. 1989. 216 p.
5. Research report «Assessment of the mineral resource base of the Nefteyugansk region». Catalogue of deposits and occurrences of solid minerals, vol. II. Tyumen: ChP «Agroekoinzhgeo». 1992. 186 p.
6. Zhelonkina E.E., Pafnutova E.G., Fomina A.V. *Osobennosti zemlepol'zovaniya v napravlenii agropromyshlennogo kompleksa severnoy territorii YUGRA V sbornike: Geograficheskiye issledovaniya v kontekste sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya regionov* [Features of land use in the direction of the agro-industrial complex of the northern territory of UGRA In the collection: Geographical research in the context of the socio-economic development of regions]. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference (with international participation) dedicated to the 75th anniversary of the Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation Akhmed Lechaevich Ustaev. Grozny. 2022. Pp. 314-322.
7. Zhelonkina E.E., Pafnutova E.G., Boytsenyuk L.I. *Sozdaniye i analiz matematicheskoy modeli antropogennogo vozdeystviya na lokal'nyu ekologicheskuyu sistemu. V sbornike: Biologicheskoye raznoobrazie – osnova ustoychivogo razvitiya* [Development and analysis of a mathematical model of anthropogenic impact on a local ecological system. In the collection: Biological diversity – the basis of sustainable development]. Proceedings of the international scientific and practical conference. 2019. Pp. 70-77.

Сведения об авторах Принадлежность к организации

Желонкина Елена Эдуардовна

кандидат географических наук, ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», 105064, Москва, Россия

Хуторова Алла Олеговна

кандидат географических наук, ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», 105064, Москва, Россия

Пафнута Елена Геннадьевна

ведущий аналитик Аналитического центра научно-образовательной политики агропромышленного комплекса ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», 105064, Москва, Россия

Андреев Артем Андреевич

ведущий аналитик Аналитического центра научно-образовательной политики агропромышленного комплекса ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», 105064, Москва, Россия

Хуторов Алексей Андреевич

главный специалист – эксперт Управление Росреестра по Москве, 115191, Москва, Россия

Information about authors Affiliations

Zhelonkina Elena Eduardovna

Candidate of Geographical Sciences, State University of Land Use Planning, 105064, Moscow, Russia

Khutorova Alla Olegovna

Candidate of Geographical Sciences, State University of Land Use Planning, 105064, Moscow, Russia

Pafnutova Elena Gennadiyevna

Leading Analyst at the Analytical Center for Scientific and Educational Policy in the Agro-Industrial Complex, State University of Land Use Planning, 105064, Moscow, Russia

Andreev Artem Andreevich

Leading Analyst at the Analytical Center for Scientific and Educational Policy in the Agro-Industrial Complex, State University of Land Use Planning, 105064, Moscow, Russia

Khutorov Alexey Andreevich

Chief Specialist – Expert of the Rosreestr Office for Moscow, 115191, Moscow, Russia

Поступила в редакцию 22.01.2026 г.

ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ ОБНАРУЖЕНИЯ ЯВЛЕНИЯ АПВЕЛЛИНГА НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИЗНАКОВ ХАРАЛИКА

Лоссов К.К., Малинников В.А.

Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Москва, Россия

e-mail: Lssksn@gmail.com

В статье проведена верификация применения признаков Харалика, с помощью которых описываются текстурные характеристики изображений. Данные для исследования получены с помощью спутниковых спектрорадиометров MODIS и Sentinel.

Для анализа использовались матрицы признаков Харалика, сформированные на основе фрагментов изображений, содержащих и не содержащих зоны апвеллинга. В результате были вычислены 14 признаков Харалика, таких как контраст, корреляция, дисперсия и энтропия и т. д., что позволяет оценить текстурные различия между изображениями. Основное внимание уделялось попарному сравнению норм разностей матриц признаков Харалика, включая норму Фробениуса и p -нормы ($p=1, 2, \infty$). Наиболее значительные различия были выявлены при использовании p -нормы с $p=\infty$, что позволило сделать вывод о различии изображений, содержащих и не содержащих явление апвеллинга. Результаты показали, что различия норм разностей матриц для изображений с апвеллингом и без него достигали 50%.

В статье подчеркивается, что текстурные признаки Харалика, в особенности имеющие высокую корреляцию со средней температурой поверхности моря (ТПМ), могут служить эффективным инструментом для мониторинга явлений апвеллинга. Полученные результаты открывают новые перспективы для дальнейших исследований в области дистанционного зондирования и управления морскими экосистемами, а также предлагают методику для оперативного обнаружения апвеллинга на основе анализа текстурных характеристик спутниковых изображений.

Ключевые слова: апвеллинг, текстурные признаки Харалика, матричные вычисления, корреляция, дистанционное зондирование.

VERIFICATION OF THE METHODOLOGY FOR DETECTING UPWELLING PHENOMENA ON THE OCEAN SURFACE BASED ON SATELLITE IMAGERY USING HARALICK FEATURES

Lossov K.K., Malinnikov V.A.

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Moscow, Russia

This study investigates the potential of using Haralick texture features to detect upwelling events in the Southeast Baltic and the Laptev Sea regions. A strong correlation between sea surface temperature (SST) and certain Haralick features was established in previous research [4], suggesting that a methodology based on this relationship could be effective for detecting upwelling. Using matrix computations, the study verifies the applicability of Haralick features for identifying upwelling phenomena. The most effective method for distinguishing between Haralick feature matrices derived from satellite images containing and not containing upwelling zones was found to be the p -norm of the differences with $p=\infty$.

Data from MODIS (Aqua, Terra) and Sentinel spectroradiometers were utilized, focusing on four infrared images of the Lena River delta region, two of which exhibited upwelling. A sliding window approach was employed to extract image fragments, and 14 Haralick features were calculated for each fragment, resulting in 14×10 matrices. Pairwise comparisons of the norms of these matrices revealed significant differences, particularly when analyzing the difference variance and entropy features.

The results indicate that the choice of sliding window parameters may be region-specific, and further analysis confirmed the effectiveness of Haralick features in detecting upwelling events. The study proposes a methodology for regional coastal upwelling detection based on pairwise comparisons of Haralick feature matrices, contributing to improved monitoring and understanding of coastal marine dynamics.

Keywords: Upwelling, Haralick features, matrix calculations, correlation, remote sensing.

Введение

Прибрежный апвеллинг (ПА) – морское явление конвективного характера, часто встречающееся в прибрежных водах. ПА переносит глубинные, часто холодные и соленые воды, богатые питательными веществами и углеродом, а также играет жизненно важную роль в локальном газообмене и теплообмене между воздухом и морем, поддержании морской экосистемы и физической динамике

океана. Именно прибрежные апвеллинги среди всех типов конвективных явлений оказывают непосредственное влияние на человеческую деятельность, так как эти явления поддерживает биоразнообразие за счет влияния на первичную (фитопланктон) [1] и вторичную (моллюски, пелагические виды рыб и т.д.) [2,3] продукцию.

Наличие устойчивой корреляционной зависимости между средней температурой поверхности

моря (ТПМ) и некоторыми текстурными признаками Харалика было получено в результате исследования, представленного в статье [4]. Исходя из этих результатов можно предположить, что одной из возможных методик обнаружения явлений апвеллинга является методика на основе установления зависимости между этими параметрами. В настоящей статье, с применением средств матричных вычислений произведена верификация возможности использования признаков Харалика для детектирования явлений апвеллинга в регионах Юго-Восточной Балтики и моря Лаптевых. Наибольшую эффективность для определения различия матриц признаков Харалика, построенных на основании фрагментов спутниковых изображений, содержащих и не содержащих зоны апвеллинга, показала p -норма разностей матриц с $p=\infty$. В качестве исходных данных были использованы данные о состоянии морской поверхности, полученные с помощью спектрорадиометров MODIS (Aqua, Terra) и Sentinel. Наилучшее соотношение значений норм разностей матриц снимков с присутствием апвеллинга и значений норм разностей матриц снимков с отсутствием апвеллинга продемонстрировали матрицы признаков Харалика, максимально коррелирующих с ТПМ. Такой подход позволил разработать методику для обнаружения региональных прибрежных апвеллингов на основе попарного сравнения норм разностей матриц текстурных признаков Харалика для фрагментов изображений, полученных с помощью дистанционного зондирования в ИК диапазоне (ГИС Copernicus, инструмент Sentinel-3 OLCLI).

Данные и методы

Для данного исследования было выбрано четыре изображения региона моря Лаптевых в инфракрасном диапазоне, полученные с использованием ГИС Copernicus и инструмента Sentinel-3 OLCLI [6]. Из этих изображений два были сделаны в условиях проявления явления апвеллинга, а два других – в период его отсутствия. Даты наблюдений явления апвеллинга распределены по годам.



Рис. 1. Траектория скользящего окна 128*128 (белая линия) для региона моря Лаптевых

По аналогии с исследованием из статьи [6] в качестве исходных данных используются 10 фрагментов каждого из изображений, полученных с помощью скользящего окна 128x128 пикселей вдоль выбранной траектории (рис. 1).

Для оцифрованных изображений были вычислены 14 признаков Харалика, описанных в [6]. После этого для каждого из десяти фрагментов были сформированы четыре матрицы Харалика [7] размером 14x10.

С помощью попарного сравнения норм разностей матриц (в качестве нормы использовались: норма Фробениуса и p -норма с $p=1, 2, \text{inf}$. Подробное описание которых представлено в [8]) по всей совокупности признаков Харалика не удалось выявить явного различия между изображениями, содержащими апвеллинг, и его не содержащими (*Изображение 1 – Изображение 2, Изображение 3 – Изображение 4, Изображение 2 – Изображение 3, Изображение 1 – Изображение 4* см. матрицы Харалика табл. 1-4). Полученные значения нормы разностей матриц для пар изображений *Изображение 1 – Изображение 2* и *Изображение 3 – Изображение 4* были выше, чем значения норм разностей матриц для пары изображений *Изображение 2 – Изображение 3*.

После этого было выполнено сравнение попарно матриц размером (2x10) с использованием нескольких сочетаний двух признаков Харалика :

- суммарная дисперсия и суммарная энтропия
- разностная дисперсия и разностная энтропия
- контраст и корреляция

Результаты сравнения описаны, соответственно, в таблицах 1, 2 и 3.

В первом столбце таблиц отражен факт наличия апвеллинга на двух сравниваемых изображениях.

При сравнении норм разностей (использовались все нормы, указанные выше) матриц по признакам суммарной дисперсии и суммарной энтропии (табл. 1) не удалось выявить явного различия между изображениями, содержащими апвеллинг,

Таблица 1

Значения нормы разностей матриц (p -норма с $p=2$) для признаков Харалика (окно 128*128 региона моря Лаптевых) – Суммарная дисперсия и суммарная энтропия

Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	24.85
Изображение 3 - Изображение 4	28.66
Изображение 2 - Изображение 3	21.65
Изображение 1 - Изображение 4	36.33

Таблица 2

Значения нормы разностей матриц (p -норма с $p=2$ и $p=\inf$) для признаков Харалика (окно 128*128 региона моря Лаптевых) – Разностная дисперсия и Разностная энтропия

Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	1.14
Изображение 3 - Изображение 4	1.00
Изображение 2 - Изображение 3	1.29
Изображение 1 - Изображение 4	1.57

Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	2.91
Изображение 3 - Изображение 4	2.63
Изображение 2 - Изображение 3	3.63
Изображение 1 - Изображение 4	4.31

Таблица 3

Значения нормы разностей матриц (p -норма с $p=2$ и $p=\inf$) для признаков Харалика (окно 128*128 региона моря Лаптевых) – контраст и корреляция

Норма $P=2$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	1.20
Изображение 3 - Изображение 4	1.07
Изображение 2 - Изображение 3	1.35
Изображение 1 - Изображение 4	1.66

Норма $P=\inf$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	3.04
Изображение 3 - Изображение 4	2.78
Изображение 2 - Изображение 3	3.78
Изображение 1 - Изображение 4	4.51

и не содержащими. Полученные результаты были аналогичны результатам сравнения матриц для полного набора признаков Харалика – значения нормы разностей матриц для пар изображений *Изображение 1 – Изображение 2* и *Изображение 3 – Изображение 4* были выше, чем значения норм разностей матриц для пары изображений *Изображение 2 – Изображение 3*.

Сравнение норм разностей матриц по разностной дисперсии и разностной энтропии показало наиболее явные отличия.

При этом сравнение норм разностей матриц по контрасту и корреляции так же выявило различие между изображениями, содержащими апвеллинг, и не содержащими. Лучших результатов удалось достичь путем использования матричной нормы с $p=\inf$ (бесконечность) для сравнения разностной дисперсии и разностной энтропии. Различие норм

между изображениями, содержащими апвеллинг, и не содержащими для данного эксперимента составило 37%.

С целью подтверждения целесообразности применения текстурных признаков Харалика для выявления явлений апвеллинга в других регионах был проведён анализ пар изображений Юго-Восточной Балтики (ЮВБ), как содержащих, так и не содержащих апвеллинга.

Аналогично анализу изображений апвеллинга в регионе моря Лаптевых, вдоль траектории скользящего окна размером 64×64 (рис. 2) было выделено по 10 фрагментов для каждого из четырёх изображений, в результате чего были сформированы матрицы признаков Харалика размером 14×10 (таблица 4 а, б, в, г).

После этого было выполнено сравнение попарно матриц размером (2×10) с использованием

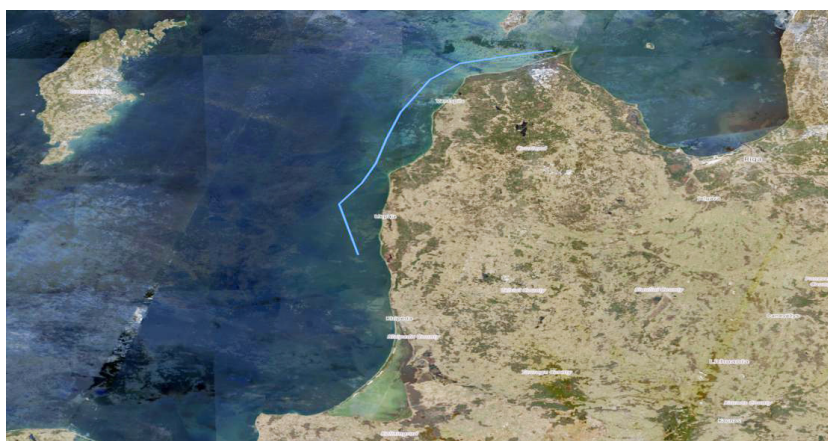


Рис. 2. Траектория (синяя линия) скользящего окна 64*64 в регионе ЮВБ

Таблица 4

Матрицы признаков Харалика для фрагментов изображения с присутствующим апвеллингом в регионе Юго-Восточной Балтики

Изображение 1										
Дата съемки 07.07.2018 (апвеллинг присутствует)										
Признак Харалика	Фрагмент изображения									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.3796	0.3800	0.6199	0.2967	0.1847	0.2232	0.1371	0.1268	0.1226	0.2794
2	1.1312	1.5469	1.2299	1.5923	1.2490	1.4509	0.4608	0.5744	0.5595	1.3338
3	0.8754	0.7201	0.7506	0.7992	0.8769	0.8628	0.9571	0.9454	0.9462	0.8362
4	25.3361	23.5963	20.6941	20.3813	27.1632	24.8318	25.8388	27.9798	23.3510	26.1757
5	0.9255	0.8453	0.9254	0.8358	0.8400	0.8450	0.8874	0.8600	0.8628	0.8529
6	9.1518	9.1600	8.5702	8.1349	9.4311	8.8730	9.0794	9.5635	8.5531	9.4345
7	80.9627	72.7969	70.2512	58.4277	76.0745	71.4343	69.3581	74.6924	60.6470	77.2319
8	1.1559	1.2043	0.7205	1.4893	1.8794	1.6803	2.1272	2.2007	2.1951	1.5425
9	1.7495	1.9094	1.1190	2.3379	2.9390	2.6080	3.2472	3.4072	3.3739	2.3942
10	1.0727	1.4336	1.1676	1.4732	1.1474	1.3415	0.4103	0.5078	0.4947	1.2335
11	0.3317	0.4588	0.3042	0.5482	0.7667	0.5568	0.5687	0.6812	0.6510	0.5784
12	-0.6596	-0.3959	-0.4766	-0.4638	-0.5207	-0.5487	-0.6846	-0.6183	-0.6467	-0.5311
13	0.9062	0.7812	0.7096	0.8696	0.9347	0.9278	0.9828	0.9760	0.9799	0.9072
14	0.8972	0.7297	0.7586	0.8088	0.8882	0.8945	0.9660	0.9477	0.9641	0.8713

а

Изображение 2										
Дата съемки 24.06.2020 (апвеллинг присутствует)										
Признак Харалика	Фрагмент изображения									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.2133	0.2408	0.3206	0.2779	0.4149	0.5058	0.3473	0.4026	0.3043	0.4179
2	1.3507	1.0025	1.3765	1.3460	2.7599	2.6349	3.1344	1.2837	1.2951	1.2768
3	0.8866	0.8701	0.8006	0.8498	0.6091	0.5386	0.6041	0.8536	0.8824	0.7524
4	25.1864	22.2156	25.9275	21.8513	25.5377	26.3631	21.7393	22.8914	24.5309	21.6149
5	0.8559	0.8714	0.8569	0.8661	0.8363	0.8421	0.8147	0.8958	0.8924	0.8723
6	8.8016	8.6002	9.5129	8.3668	9.4137	9.7282	8.4648	8.6354	8.7550	8.7574
7	73.2048	62.2094	78.7573	65.1462	82.4706	87.0266	67.4882	71.8111	74.9865	67.3200
8	1.6792	1.6881	1.3689	1.3977	0.9810	0.8829	1.0628	1.1815	1.3887	1.1231
9	2.5927	2.5952	2.1410	2.1683	1.5897	1.4419	1.7309	1.8186	2.1312	1.7621
10	1.2500	0.9227	1.2753	1.2498	2.6024	2.4844	2.9537	1.2046	1.2160	1.1860
11	0.5227	0.5959	0.5045	0.4225	0.4757	0.4849	0.5094	0.4266	0.5029	0.4083
12	-0.6089	-0.6021	-0.4826	-0.5508	-0.2959	-0.2409	-0.2833	-0.5739	-0.5915	-0.4574
13	0.9469	0.9450	0.8624	0.8987	0.6514	0.5712	0.6597	0.8767	0.9127	0.8051
14	0.9502	0.9130	0.8259	0.8757	0.6096	0.5387	0.6050	0.8858	0.8848	0.8012

б

Таблица 4 (Продолжение)

Изображение 3										
Дата съемки 08.06.2019 (апвеллинг отсутствует)										
Признак Харалика	Фрагмент изображения									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.1781	0.2733	0.3694	0.3441	0.7909	0.3388	0.4121	0.3479	0.3508	0.5998
2	0.7488	1.9896	2.1401	3.0883	0.9095	2.1845	2.4296	2.5312	2.4608	1.3403
3	0.9152	0.8221	0.7649	0.6141	0.5275	0.7442	0.6894	0.6974	0.7059	0.7357
4	22.1915	24.4758	23.7642	19.8629	17.3728	27.3753	24.1471	21.8740	26.6594	23.6931
5	0.8696	0.8572	0.8582	0.8182	0.9323	0.8477	0.8479	0.8398	0.8446	0.9112
6	8.4640	8.7227	8.7979	7.9965	8.1332	9.6448	9.0283	8.4435	9.5129	9.2307
7	60.5638	73.0745	73.1842	61.1446	61.2311	85.2248	75.2596	67.5224	84.3375	79.8897
8	1.8566	1.4631	1.2400	1.0520	0.4983	1.2586	1.1513	1.1412	1.1426	0.7994
9	2.8674	2.2755	1.9415	1.7109	0.7926	1.9839	1.8236	1.8198	1.8168	1.2487
10	0.6799	1.8697	2.0140	2.9108	0.8610	2.0531	2.2887	2.3837	2.3180	1.2671
11	0.5188	0.5823	0.5177	0.4927	0.3140	0.5476	0.5136	0.5257	0.5181	0.3717
12	-0.6129	-0.5269	-0.4732	-0.2920	-0.2723	-0.4358	-0.4422	-0.3708	-0.3840	-0.4431
13	0.9595	0.8965	0.8366	0.6655	0.4702	0.8179	0.8030	0.7505	0.7604	0.7133
14	0.9235	0.8791	0.8100	0.6141	0.5608	0.7626	0.8696	0.6977	0.7074	0.7573

В

Изображение 4										
Дата съемки 13.07.2020 (апвеллинг отсутствует)										
Признак Харалика	Фрагмент изображения									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.2522	0.2031	0.3344	0.3587	0.5424	0.3978	0.6046	0.5598	0.2704	0.1607
2	0.8929	0.8772	1.2790	2.7927	2.3492	2.6870	1.8658	2.3276	2.5176	2.9033
3	0.8971	0.9032	0.8009	0.6489	0.5526	0.6344	0.5782	0.5359	0.6899	0.6815
4	26.1245	26.2807	22.5275	23.3785	21.4787	22.3518	23.2333	24.5165	21.7178	26.4206
5	0.8815	0.8712	0.8632	0.8291	0.8528	0.8359	0.8773	0.8586	0.7751	0.7297
6	9.3666	9.3584	8.8212	8.8408	8.7153	8.6746	9.2011	9.4139	8.4358	9.3829
7	74.6892	74.4951	68.2541	73.0155	69.4431	70.0650	77.1664	81.6015	60.0956	70.7082
8	1.7356	1.7924	1.2922	1.1011	0.8865	1.0554	0.8234	0.8175	1.6256	1.9410
9	2.6633	2.7540	2.0187	1.7719	1.4364	1.6994	1.3199	1.3302	2.6479	3.2031
10	0.8220	0.8026	1.1843	2.6308	2.2135	2.5321	1.7584	2.1955	2.3398	2.6951
11	0.6045	0.6344	0.4943	0.5197	0.5071	0.5196	0.4693	0.4663	0.7953	1.0526
12	-0.6194	-0.6025	-0.5139	-0.3297	-0.2528	-0.3129	-0.2873	-0.2392	-0.3155	-0.2825
13	0.9531	0.9523	0.8674	0.7094	0.5832	0.6838	0.5981	0.5508	0.7932	0.8071
14	0.9413	0.9089	0.9127	0.6520	0.5536	0.6349	0.5790	0.5383	0.7006	0.6821

Г

сочетаний двух признаков Харалика, давших в прошлом эксперименте наиболее значимые результаты (таб. 5).

Сравнение норм разностей матриц подтвердило вышеописанные результаты [4] в части выявления различий между изображениями, содержащими апвеллинг, и изображениями, его не содержащими (таблица 9).

В качестве следующей итерации исследования размеры скользящего окна, используемого для получения изображений первого региона (море Лаптевых), так же было скорректировано до 64*64 пиксела.

Полученные в результате анализа изображений результаты (таблица 6) не позволили сделать явных выводов о наличии различий между изображениями, содержащими апвеллинг, и изображениями,

его не содержащими, т.к. процентное значение отношения значений норм разностей матриц снимков с присутствием апвеллинга и значений норм разностей матриц снимков с отсутствием апвеллинга было менее 30% и составило 14.9% и 15.3% для признаков контраст и корреляция (для $P=2$ и $P=\inf$ соответственно) и 14.9% и 14.6% для признаков разностная дисперсия и разностная энтропия (для $P=2$ и $P=\inf$ соответственно).

На основании данного анализа можно сделать вывод о том, что выбор параметров скользящего окна может быть индивидуален для каждого из регионов.

Чтобы дополнительно проверить состоятельность выводов о возможности обнаружения явлений апвеллинга с помощью текстурных признаков Харалика, решено было проверить корреляцию данных,

свидетельствующих о наличии данных явлений, с данными ТПМ. Для этого для трех изображений из разных регионов (1 изображение из региона дельта реки Лена и два изображения из региона ЮВБ), содержащих апвеллинги, вдоль траектории скользящего окна были получены значения ТПМ в 10 точках, соответствующих координатам изображений, используемых для расчета текстурных признаков Харалика. После этого данные были добавлены к уже сформированным матрицам признаков Харалика в качестве дополнительных параметров.

На основании значений коэффициентов корреляции были выбраны признаки Харалика, продемонстрировавшие максимальное значение корреляции относительно ТПМ (Корреляция и максимальный коэффициент корреляции). Затем для данной пары признаков был выполнен расчет нормы разностей матриц для всех трех изображений при норме $p=\text{inf}$. Результаты расчетов показали, что для всех трех изображений процентное значение отношения значений норм разностей матриц снимков с присутствием апвеллинга и значений норм разностей матриц снимков с отсутствием апвеллинга было примерно равно 50%.

Таким образом, мы смогли подтвердить корреляцию

между значениями признаков Харалика и показателями ТПМ.

Вывод

В данном исследовании был проведен сравнительный анализ пар фрагментов изображений, содержащих и не содержащих явление апвеллинга. Для выделения целевых фрагментов применялись скользящие окна размером 128×128 и 64×64 пикселей, что обеспечивало извлечение по 10 фрагментов из каждого изображения вдоль заданной траектории. Для каждого из 10 фрагментов были вычислены 14 признаков Харалика, на основе которых были сформированы матрицы Харалика размером 14×10 . Основное внимание в исследовании было сосредоточено на попарном сравнении норм разностей этих матриц, включая норму Фробениуса и p -нормы ($p=1, 2, \infty$), что позволило оценить степень различий между фрагментами изображений в контексте явления апвеллинга.

Наиболее значимый результат дает сравнение снимка, подлежащего проверке на наличие апвеллинга с эталонными снимками той же области, на которых явление апвеллинга отсутствует для признаков Харалика, показывающих наибольшую корреляцию с ТПМ. Для получения эталонного снимка,

Таблица 5

Значения нормы разностей матриц (p -норма с $p=2$ и $p=\text{inf}$) для пар признаков Харалика (окно 64×64 региона ЮВБ) Контраст и корреляция (а) и Разностная дисперсия и разностная энтропия (б)

Контраст и корреляция	
Норма $P=2$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	3.55
Изображение 3 - Изображение 4	2.69
Изображение 2 - Изображение 3	3.47
Изображение 1 - Изображение 4	4.07
Норма $P=\text{inf}$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	8.03
Изображение 3 - Изображение 4	6.74
Изображение 2 - Изображение 3	9.58
Изображение 1 - Изображение 4	11.18

а

Разностная дисперсия и Разностная энтропия	
Норма $P=2$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	3.37
Изображение 3 - Изображение 4	2.57
Изображение 2 - Изображение 3	3.29
Изображение 1 - Изображение 4	3.82
Норма $P=\text{inf}$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	7.63
Изображение 3 - Изображение 4	6.32
Изображение 2 - Изображение 3	9.12
Изображение 1 - Изображение 4	10.66

б

Таблица 6

Значения нормы разностей матриц (p -норма с $p=2$ и $p=\inf$) для пар признаков Харалика (окно 64*64 региона моря Лаптевых) Контраст и корреляция (а) и Разностная дисперсия и разностная энтропия (б)

Контраст и корреляция	
Норма $P=2$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	1.29
Изображение 3 - Изображение 4	1.53
Изображение 2 - Изображение 3	1.76
Изображение 1 - Изображение 4	1.66
Норма $P=\inf$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	3.04
Изображение 3 - Изображение 4	3.77
Изображение 2 - Изображение 3	4.35
Изображение 1 - Изображение 4	4.61

а

Разностная дисперсия и Разностная энтропия	
Норма $P=2$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	1.22
Изображение 3 - Изображение 4	1.45
Изображение 2 - Изображение 3	1.67
Изображение 1 - Изображение 4	1.57
Норма $P=\inf$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	2.92
Изображение 3 - Изображение 4	3.61
Изображение 2 - Изображение 3	4.14
Изображение 1 - Изображение 4	4.40

б

Таблица 7

Значения нормы разностей матриц ($p=\inf$) для пар признаков Харалика (Корреляция и Максимальный коэффициент корреляции) для региона моря Лаптевых окно 128*128(а), окно 64*64 (б) и региона ЮВБ окно 64*64 (в)

Корреляция и Максимальный коэффициент корреляции	
Норма $P=\inf$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	0.48
Изображение 3 - Изображение 4	0.59
Изображение 2 - Изображение 3	0.61
Изображение 1 - Изображение 4	0.88

а

Корреляция и Максимальный коэффициент корреляции	
Норма $P=\inf$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	0.73
Изображение 3 - Изображение 4	0.77
Изображение 2 - Изображение 3	0.70
Изображение 1 - Изображение 4	1.16

б

Корреляция и Максимальный коэффициент корреляции	
Норма $P=\inf$	
Сравниваемые изображения	Значение нормы разностей матриц
Изображение 1 - Изображение 2	1.58
Изображение 3 - Изображение 4	0.86
Изображение 2 - Изображение 3	1.28
Изображение 1 - Изображение 4	2.38

в

на котором явление отсутствует, для интересующего региона с потенциально возникающим явлением апвеллинга требуется сделать серию снимков, на достаточном временном промежутке. В случае обнаружения аномального отклонения ТПМ, которое потенциально может указывать на возникновение апвеллинга, требуется взять изображение за более раннюю дату (t-n) и подтвердить отсутствие апвеллинга с помощью дополнительных измерений (например концентрация Chl A). При поступлении

снимка, подлежащего определению на наличие апвеллинга, следует посчитать процентное значение отношения значения норм разностей матриц определяемого снимка со значениями норм разностей матриц снимков с отсутствием апвеллинга. Если процентное значение данного отношения превышает 30% (+/-2%), то можно констатировать наличие апвеллинга (гипотеза, проверяется при помощи статистических методов).

Список литературы

1. Arrigo K.R. and van Dijken G.L. Continued increases in Arctic Ocean primary production. Prog. Oceanogr. 136. 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.05.002>. Synthesis of Arctic Research (SOAR). 2015.
2. Ryan R. Rykaczewski David M. Checkley, Jr: Influence of ocean winds on the pelagic ecosystem in upwelling regions. <https://doi.org/10.1073/pnas.0711777105>.
3. Aurelie Jolivet, Lars Asplin, Øivind Strand, Julien Thebault, Laurent Chauvaud: Coastal upwelling in Norway recorded in Great Scallop shells. Limnol. Oceanogr. 60. 2015. 1265-1275.
4. Лоссов К.К., Малинников В.А. Разработка методики использования признаков Харалика для детектирования зон апвеллинга на морской поверхности по материалам космических съемок // Мониторинг. Наука и технологии. 2025. №4 (66).
5. Alexander Osadchiev, Ksenia Silvestrova and Stanislav Myslenkov Wind-Driven Coastal Upwelling Near Large River Deltas in the Laptev and East-Siberian Seas. Remote Sens. 2020. 12. 844.
6. М.В. Капустина, А.В. Зимин. Изменчивость характеристик апвеллинга в юго-восточной части Балтийского моря в первые два десятилетия XXI века // Морской Гидрофизический Журнал. Том 39. №6. 2023.
7. Haralick R.M., Textural Features for Image Classification, IEEE Trans. Syst. Man and Cybernetics. 1973. Vol. 3. No. 6. Pp. 610-621.
8. Троицкий А.К. Визуализация текстурных характеристик изображений на базе матрицы Харалика. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». Россия. 2016-3 04.
9. Голуб Ч., Ван Лоун. Матричные вычисления. Москва: «Мир». 1999.

References

1. Arrigo K.R. and van Dijken G.L. Continued increases in Arctic Ocean primary production. Prog. Oceanogr. 136. 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.05.002>. Synthesis of Arctic Research (SOAR). 2015.
2. Ryan R. Rykaczewski David M. Checkley, Jr: Influence of ocean winds on the pelagic ecosystem in upwelling regions. <https://doi.org/10.1073/pnas.0711777105>.
3. Aurelie Jolivet, Lars Asplin, Øivind Strand, Julien Thebault, Laurent Chauvaud: Coastal upwelling in Norway recorded in Great Scallop shells. Limnol. Oceanogr. 60. 2015. 1265-1275.
4. Lossov K.K., Malinnikov V.A. Development of a methodology for using Haralick features to detect upwelling zones on the ocean surface based on satellite imagery. Monitoring. Nauka i tekhnologii. 2025. No. 4 (66).
5. Alexander Osadchiev, Ksenia Silvestrova and Stanislav Myslenkov Wind-Driven Coastal Upwelling Near Large River Deltas in the Laptev and East-Siberian Seas. Remote Sens. 2020. 12. 844.
6. Kapustina M.V., Zimin A.V. Variability of upwelling characteristics in the southeastern Baltic Sea during the first two decades of the 21st century. Morskoy Gidrofizicheskiy Zhurnal. V. 39. No. 6. 2023.
7. Haralick R.M., Textural Features for Image Classification, IEEE Trans. Syst. Man and Cybernetics. 1973. Vol. 3. No. 6. Pp. 610-621.
8. Troitskiy A.K. Vizualizatsiya teksturnykh kharakteristik izobrazheniy na baze matritsy Kharalika [Visualization of image texture characteristics based on the Haralick matrix]. National Research Nuclear University. Russia. 2016-3 04.
9. Golub Ch., Van Loan. Matrichnyye vychisleniya [Matrix computations]. Moscow: «Mir». 1999.

Сведения об авторах Принадлежность к организации

Лоссов Константин Константинович

аспирант, Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Москва, Россия

Малинников Василий Александрович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой космического мониторинга и экологии, Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Москва, Россия

Information about authors Affiliations

Lossov Konstantin Konstantinovich

Graduate Student, Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Moscow, Russia

Malinnikov Vasily Alexandrovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Space Monitoring and Ecology, Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Moscow, Russia

Поступила в редакцию 22.01.2026 г.

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ КАК ИНДИКАТОР ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА АПАТИТЫ

Макеев И.А.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, Россия

e-mail: mackeevilja@yandex.ru

Статья посвящена оценке техногенного загрязнения территории города Апатиты (Мурманская область) с использованием снежного покрова как интегрального индикатора. Цель исследования – определить уровень и пространственное распределение микроэлементов и макрокомпонентов в снеге для выявления основных источников антропогенной нагрузки. В ходе работы в марте 2025 года было отобрано 25 проб снега в различных функциональных зонах города. Концентрации элементов (Al, Fe, Zn, Cu, Pb, Sr, Mo, As, SO₄ и др.) определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS).

Результаты показали значительное превышение фоновых концентраций по ряду показателей: алюминий (>100 раз), железо (>50 раз), цинк (>20 раз) и сульфаты (>150 раз). Расчет суммарного индекса загрязнения (СИЗ) и пространственный анализ позволили выделить основные очаги загрязнения: промышленные зоны (Fe, Al, Sr, Mo), автодороги (Zn, Cu, Pb, Cd) и район ТЭЦ (V, Ni, As, SO₄). Установлено, что, хотя абсолютные концентрации большинства элементов не превышают ПДК для воды, их кумулятивный эффект и миграция при таянии снега создают потенциальную угрозу для экосистем и здоровья населения.

На основе проведенного анализа предложен комплекс природоохранных мер, включающий модернизацию систем очистки на предприятиях, развитие электротранспорта, внедрение снегоплавильных установок с очисткой стоков, а также организацию системы постоянного экологического мониторинга. Исследование подтверждает возможность использования снежного покрова как репрезентативного индикатора для оценки и управления техногенной нагрузкой в условиях промышленного города Крайнего Севера.

Ключевые слова: снежный покров, техногенное загрязнение, тяжёлые металлы, сульфаты, Апатиты, суммарный индекс загрязнения, экологический мониторинг, охрана окружающей среды.

SNOW COVER AS AN INDICATOR OF TECHNOGENIC POLLUTION OF THE TERRITORY OF APATITY

Makeev I.A.

Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Russia

The article is devoted to assessing the technogenic pollution of the territory of Apatity (Murmansk region) using the snow cover as an integral indicator. The aim of the study was to determine the level and spatial distribution of microelements and macrocomponents in snow to identify the main sources of anthropogenic load. In March 2025, 25 snow samples were collected from various functional zones of the city. The concentrations of elements (Al, Fe, Zn, Cu, Pb, Sr, Mo, As, SO₄, etc.) were determined using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

The results showed a significant excess of background concentrations for a number of indicators: aluminum (>100 times), iron (>50 times), zinc (>20 times), and sulfates (>150 times). Calculation of the total pollution index (TPI) and spatial analysis identified the main pollution hotspots: industrial zones (Fe, Al, Sr, Mo), roads (Zn, Cu, Pb, Cd), and the area of the thermal power plant (V, Ni, As, SO₄). It was established that, although the absolute concentrations of most elements do not exceed the maximum permissible concentrations (MPC) for water, their cumulative effect and migration during snowmelt pose a potential threat to ecosystems and public health.

Based on the analysis, a set of environmental protection measures is proposed, including the modernization of purification systems at enterprises, the development of electric transport, the introduction of snow-melting installations with effluent treatment, greening, and the organization of a system for continuous environmental monitoring. The research confirms the effectiveness of snow cover as a representative indicator for assessing and managing technogenic load in the conditions of an industrial city in the Far North.

Keywords: snow cover, technogenic pollution, heavy metals, sulfates, Apatity, total pollution index (TPI), environmental monitoring, environmental protection.

Введение

Город Апатиты, расположенный в центральной части Кольского полуострова, является одним из крупнейших промышленных и научных центров Мурманской области РФ. Наличие горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, а также интенсивное движение автотранспорта создают значительную антропогенную нагрузку на окружающую среду. Оценка состояния атмосферы по

степени загрязнения снегового покрова является традиционным методом геоэкологического изучения городских экосистем. Снеговой покров, как информационный носитель атмосферных выпадений, характеризует уровень загрязнения воздуха. В моменты оттепелей и весной при массовом снеготаянии на городских территориях и за их пределами различные токсичные вещества (тяжёлые металлы, полициклические ароматические углеводороды)

попадают в природные среды (открытые водоемы и подземные воды), вызывая загрязнение, представляющее опасность для живых организмов [1]. Одним из методов, позволяющих оценить степень техногенной нагрузки на окружающую среду, является мониторинг загрязнения атмосферных осадков. Для комплексной характеристики антропогенного воздействия, как правило, используется оценка загрязнения депонирующих сред, таких как донные отложения водоёмов, почвы и снежный покров. Благодаря высокой сорбционной способности снег накапливает в своём составе практически все вещества, поступающие в атмосферу. В связи с этим, его можно рассматривать как репрезентативный индикатор загрязнения окружающей природной среды [2]. Снежный покров отражает существующее загрязнение атмосферного воздуха, тогда как химический состав поверхностного слоя почв является суммирующим результатом геохимических особенностей материнской почвообразующей породы и биогеохимических процессов, происходящих в почве, а также многолетнего воздействия загрязнения атмосферы, колебания уровней загрязнения, связанные с изменениями технологического процесса, эффективностью пылегазоулавливания, влиянием метеорологических и других факторов [3].

Загрязнение снега происходит в два этапа. При образовании снежинки вбирают в себя загрязняющие вещества из атмосферы, поэтому выпавший снег уже является загрязнённым. Далее происходит ещё большее загрязнение уже выпавшего снега, на него загрязняющие вещества оседают из атмосферы, а также поступают из подстилающих почв и горных пород [4]. Можно сделать вывод, что загрязнение снега происходит по тем же причинам, что и загрязнение атмосферного воздуха. К таким причинам относятся: выхлопные газы, промышленные выбросы и так далее.

Целью данного исследования была оценка уровня и пространственного распределения техногенных микроэлементов в снежном покрове г. Апатиты с использованием современных методов аналитической химии и оценка уровня и пространственной дифференциации техногенной нагрузки на территорию г. Апатиты по данным химического

анализа макрокомпонентов снегового покрова.

Методы исследования

В период с 17.03.2025 по 17.03.2025 г. было отобрано 25 проб снега на территории г. Апатиты и его окрестностей. Точки отбора охватывали различные функциональные зоны города: селитебные территории, районы вблизи промышленных объектов и автотрасс. Пробы отбирались в пластиковые контейнеры с соблюдением мер предосторожности для предотвращения вторичного загрязнения.

Концентрации микроэлементов определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на приборе Agilent 7900. Анализировались следующие элементы: алюминий, титан, ванадий, хром, марганец, железо, никель, медь, цинк, мышьяк, стронций, иттрий, ниобий, молибден, кадмий, свинец, натрий, калий, аммоний, магний, кальций, хлориды, нитриты, нитраты, фосфаты, сульфаты. Для обеспечения контроля качества проводились измерения холостых проб (Blank) и калибровочных стандартов (STD) с известными концентрациями (10 и 100 ppb). Процедура включала три параллельных измерения для каждой пробы, что позволило оценить воспроизводимость и погрешность метода. Стандартное отклонение (СКО) для большинства элементов в пробах не превышало 10%, что свидетельствует о высокой надежности полученных данных.

Результаты исследования

Результаты анализа показали значительную вариабельность концентраций микроэлементов в снежном покрове (таблица 1).

Наиболее высокие концентрации наблюдались для алюминия и железа, что может быть связано с выбросами предприятий горнодобывающего и металлургического комплексов, а также с абразивным износом дорожного покрытия и шин автотранспорта. Значительные содержания цинка и свинца традиционно связывают с работой автотранспорта и износом шин. Повышенные концентрации стронция и молибдена указывают на возможное влияние специфических промышленных процессов.

Был рассчитан для каждой точки суммарный индекс загрязнения (СИЗ) по формуле:

Таблица 1

Средние, минимальные и максимальные концентрации микроэлементов в снежном покрове г. Апатиты (ppb)

Элемент	Среднее	Min	Max	Превышение фона
Al	28.5	0.35	90.2	>100x
Fe	95.8	1.30	283.9	>50x
Zn	16.2	1.41	41.7	>20x
Sr	12.1	0.02	32.2	>10x
Cu	1.4	0.06	3.1	>5x
Pb	0.11	0.01	0.38	>3x
Mo	0.12	0.02	0.64	>10x
As	0.65	0.01	1.21	>5x

$$C_{ИЗ} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{PDK_i}$$

где C_i – концентрация металла в ppb (мкг/л). СИЗ рассчитывался для всех 24 точек и учитывал такие металлы, как железо, алюминий, цинк, медь, никель, хром, свинец, кадмий, ванадий, марганец, мышьяк, молибден. Категории по СИЗ были следующими: 10 и более – критическое, 5-10 – высокое, 2-5 – среднее, < 2 – низкое.

Построение карт-схем распределения элементов позволило выявить несколько очагов загрязнения: пробы №12, №13, №19, находящиеся около промышленной зоны, характеризовались аномально высокими содержаниями железа, алюминия, стронция и молибдена. Пробы, отобранные вблизи основных автодорог (№7, №15), показали повышенные концентрации цинка, меди и свинца. Некоторые пробы на периферии города (№1) демонстрировали относительно низкие уровни большинства элементов, что позволяет рассматривать их как условно-фоновые для данной местности.

Рассчитанные коэффициенты концентрации
(отношение фактической концентрации к фоновой)

для таких элементов, как железо, свинец, мышьяк и молибден, превышали фоновые значения в 3-20 раз, что свидетельствует о значительном техногенном вкладе. Хотя абсолютные концентрации большинства элементов не превышают ПДК для водных объектов, их кумулятивный эффект и способность к миграции в почвы и грунтовые воды в период снеготаяния представляют потенциальную опасность для экосистем и здоровья населения.

Результаты химического анализа представлены в таблице 2. Концентрации ионов NO_2^- и PO_4^{3-} во всех пробах находились ниже предела обнаружения методики ($<0.001 \text{ мг/кг}$), что указывает на отсутствие значимого загрязнения нитритами и фосфатами.

Анализ данных выявил несколько значимых тенденций

Наибольшая аномалия наблюдается по сульфатам. Фоновая концентрация составляет 0.011 мг/кг, в то время как во всех городских пробах значения многократно превышают фон – от 0.25 мг/кг (точка №2) до 3.585 мг/кг (точка №21). Средняя концентрация по городу (1.72 мг/кг) более чем в 150 раз превышает фоновую. Высокие концентрации сульфатов связаны с выбросами предприятий энергетики, сжиганием угля и мазута.

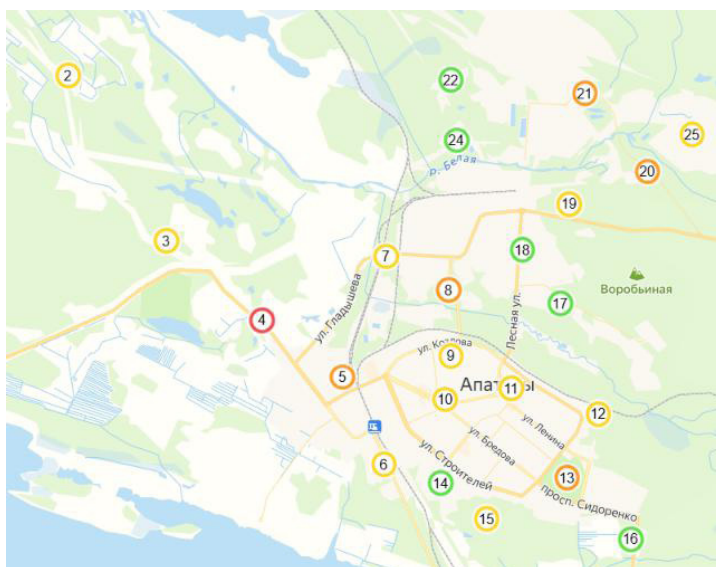


Рис. 1. Карта точек отбора снега и их суммарный индекс загрязнения. Красный цвет – Критическое (СИЗ > 10). Оранжевый – Высокое (СИЗ 5-10). Желтый – Среднее (СИЗ 2-5). Зеленый – Низкое (СИЗ < 2)

Таблица 2

Сводные данные по концентрациям основных ионов и катионов в пробах снега (мг/кг)

Показатель	Фон	Min	Max	Среднее
Na+	3.68	3.01	3.69	3.38
K+	0.22	0.18	0.36	0.24
NH4+	0.153	0.115	0.52	0.22
Mg2+	0.13	0.12	0.28	0.18
Ca2+	0.77	0.46	1.93	1.10
Cl-	3.16	1.08	3.16	2.03
NO3-	0.76	0.24	0.76	0.35
SO42-	0.011	0.25	3.585	1.75

Концентрация кальция также существенно выше фонового значения (0.77 мг/кг) на большинстве точек, достигая максимума 1.93 мг/кг (точка №12). Средняя концентрация (1.10 мг/кг) превышает фон в 1.4 раза. Повышенное содержание кальция может быть обусловлено как техногенными факторами (строительная пыль, выбросы предприятий), так и естественными (почвенная пыль).

Концентрации Cl^- в городских пробах (среднее 2.03 мг/кг) ниже, чем на фоновой точке (3.16 мг/кг), что, вероятно, связано с влиянием морских аэрозолей на фоновую территорию. Относительно стабильные концентрации Na^+ по всем точкам (3.01-3.69 мг/кг) также подтверждают его преимущественно природное (морское) происхождение.

Содержание нитратов в городских пробах (среднее 0.35 мг/кг) ниже, чем на фоновой точке (0.76 мг/кг). Это может указывать на локальный характер загрязнения нитратами на фоновой точке или на сложные процессы трансформации азотсодержащих соединений в снежном покрове.

Концентрации аммония варьируются, демонстрируя отдельные очаги повышенного содержания (до 0.52 мг/кг, точка №14), что может быть связано с коммунально-бытовыми выбросами и работой автотранспорта.

Пространственный анализ показывает, что наиболее высокие концентрации сульфатов наблюдаются в центральной и южной частях города (точки №5, 6, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25), что позволяет предположить расположение основных источников загрязнения в данном направлении или влияние розы ветров.

Были обнаружены некоторые закономерности по загрязнению. По причине эрозии почв и промышленной и транспортной пыли максимальные уровни содержания железа были обнаружены в пробах 5, 8, 4, 1, 20. Повышенные концентрации ванадия, наиболее вероятно от сжигания мазута на ТЭЦ, найдены в точке 4. В пробах 1 и 8 было зафиксировано большое количество цинка из-за износа шин, металлообработки. Большие концентрации алюминия были обнаружены почти везде, но особенно в пробах 5, 20, 22, 14, что связано с почвенной и строительной пылью.

В городе Апатиты и окрестностях находятся горно-обогатительные комбинаты и хвостохранилища, что вызывает пыление, приводящее к повышенным концентрациям железа, алюминия и марганца. Автотранспорт также вносит свой вклад в ухудшение экологической обстановки. Так, например, использование зимней резины и износ покрышек приводят к выбросам цинка, меди и кадмия. Сжигание угля и мазута на ТЭЦ, котельных увеличивают содержание в атмосфере и снеге ванадия, никеля и мышьяка. Например, в самой неблагоприятной точке 4 наибольший вклад в расчёте суммарного индек-

са загрязнения приходится на ванадий, что напрямую указывает на выбросы от угольной Апатитской ТЭЦ.

В восточных районах (пробы 13,16) были зафиксированы максимальные значения железа, алюминия и стронция. Вероятными источниками могут быть промышленные предприятия. В центральных районах, особенно в пробе №9 были обнаружены повышенные концентрации цинка, меди и свинца. Это связано с интенсивным автомобильным движением.

В северо-западных и южных окраинах выявлены минимальные концентрации всех металлов, причиной этому является отсутствие значимых источников загрязнения. Локальный максимум достигается в районе пробы №7, в которой обнаружено повышенное содержание железа и цинка.

Заключение

На основе проведённого исследования снежного покрова г. Апатиты, выявившего значительное техногенное загрязнение тяжёлыми металлами и сульфатами, можно предложить комплекс взаимосвязанных мер для улучшения экологической ситуации. Первоочередным направлением должно стать снижение выбросов от промышленных предприятий, в частности горнодобывающего и металлургического комплексов, а также ТЭЦ. Это может быть достигнуто за счёт внедрения современных систем газо- и пылеочистки, перевода энергообъектов на более экологичное топливо и минимизации пыления через применение закрытых технологий транспортировки и хранения материалов.

Параллельно необходимо снижать негативное воздействие автотранспорта, который является источником цинка, меди, свинца и кадмия. Этому будет способствовать развитие электротранспорта и общественного транспорта, постепенный отказ от шипованных шин, а также регулярная мойка и уборка улиц для удаления осевшей пыли. Важным дополнением станет контроль за выбросами от строительной деятельности и износа дорожного покрытия через использование малопылящих материалов и технологий.

Для эффективного управления рисками требуется создать систему постоянного экологического мониторинга снега, почвы и воздуха, особенно в зонах с критическим и высоким индексом загрязнения. Данные мониторинга, нанесённые на карты с учётом розы ветров, позволят оперативно корректировать природоохранные мероприятия и планировать городское развитие, избегая размещения жилой застройки в наиболее загрязнённых районах. В этих же районах следует проводить рекультивацию почв, в том числе с использованием методов фиторемедиации.

Одним из способов решения проблемы загрязнения снега является мобильная снегоплавильная

установка, описанная в патенте № RU 2695676 E01H 5/10. Предлагаемое устройство предполагает плавление и проведение механической и химической очистки снежных масс, что поможет улучшить экологическую ситуацию. Кроме того, установка имеет возможность мобильного перемещения посредством ходовой части. Внедрение мобильной снегоплавильной установки поможет снизить загрязнение окружающей среды и уменьшить воздействие отрицательных факторов на организм человека. Улучшится обстановка с избытком снега в труднодоступных районах для малых нужд, например, придомовые территории, территория школ, участков и т.п. [5].

Во избежание попадания вредных веществ при таянии снега весной в почвы, а в дальнейшем в растения и организмы животных, предлагается создать в окрестностях города Апатиты специальные снегоплавильные станции и полигоны. С помощью профессионального оборудования отходы будут измельчаться и нагреваться до полного расплавления. Полученные водные массы будут обрабатываться и очищаться. Только после этого полученная жидкость сбросится в канализацию [6].

Для уменьшения количества пыли и выхлопных газов от автомобилей необходимо в зимний период правильно утилизировать снег, а летом высаживать вдоль дорог больше деревьев и кустарников [7].

Проведённое исследование снежного покрова города Апатиты подтвердило его высокую информативность в качестве индикатора техногенного загрязнения территории. Анализ 25 проб снега, отобранных в различных функциональных зонах, выявил значительное превышение фоновых концентраций для ряда микро- и макроэлементов. Наиболее выраженные аномалии установлены для алюминия (превышение фона более чем в 100 раз), железа (>50 раз), цинка (>20 раз) и особенно, сульфатов (>150 раз). Пространственный анализ и расчёт суммарного индекса загрязнения (СИЗ) позволили чётко идентифицировать основные источники загрязнения и зоны их влияния. Промышленные зоны (пробы №12, 13, 19) характеризуются аномально высокими содержаниями железа, алюми-

ния, стронция и молибдена, что напрямую связано с деятельностью горнодобывающих, обогащательных и металлургических предприятий, а также с пылением от хвостохранилищ. Транспортные магистрали (пробы №7, 9, 15) являются очагами повышенных концентраций цинка, меди, свинца и кадмия, источником которых служит износ шин, дорожного покрытия и выхлопные газы автотранспорта. Энергетический комплекс (ТЭЦ) идентифицирован как ключевой источник поступления ванадия, никеля, мышьяка и сульфатов в атмосферу и снег, что особенно ярко проявилось в пробе №4 с критическим значением СИЗ.

Хотя абсолютные концентрации большинства исследуемых элементов не превышают установленных ПДК для водных объектов, их кумулятивный эффект и способность к миграции в почвы и грунтовые воды в период снеготаяния создают реальную потенциальную угрозу для городских экосистем и здоровья населения. На основе полученных результатов сформулирован комплекс практических рекомендаций, направленных на снижение техногенной нагрузки. Для промышленного сектора приоритетными являются модернизация систем газо- и пылеочистки, внедрение закрытых технологий транспортировки и хранения сырья, а также рассмотрение перевода энергообъектов на более экологичные виды топлива. Для транспортной системы целесообразно развитие электротранспорта и общественного транспорта, постепенный отказ от шипованных шин, регулярная мойка улиц и озеленение придорожных территорий. Для управления снежными массами критически важным является внедрение современных методов утилизации снега, таких как использование мобильных снегоплавильных установок с последующей очисткой талых вод, что предотвратит массированное поступление загрязняющих веществ в окружающую среду весной.

Таким образом, исследование не только диагностировало существующий уровень загрязнения территории г. Апатиты, но и определило научно обоснованные пути минимизации экологических рисков, связанных с техногенной деятельностью в условиях Крайнего Севера.

Список литературы

1. Салтан Н.В. Оценка загрязнения снежного покрова урбоэкосистем Кольского Севера в зоне влияния железнодорожных отводов / Н.В. Салтан, Е.А. Святковская, Н.Н. Тростенюк // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. №12. С. 78-83.
2. Першина Н.А., Семенец Е.С., Павлова М.Т., Свистов П.Ф. (2021) Влияние погодных условий на химический состав снежного покрова // Климат и природа. 41(4). С. 26-34.
3. Wang F., Zhang X., Wang F., Song M., Li Z., Ming J. (2022) Urban air quality in Xinjiang and snow chemistry of Urumqi Glacier No. 1 during COVID-19's restrictions. Environ. Sci. Pollut. Res. 29. 76 026-76 035.
4. Соловьева Н.Е. Исследование талой воды (снега) как показатель загрязнения атмосферы урбанизированной среды / Н.Е. Соловьева, Е.А. Олькова, А.А. Алябьева, О.В. Краева. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2015. №14 (94). С. 668-672.
5. Патент на изобретение РФ №2695676, 09.01.2018. Смирнова С.В., Потапов К.А., Мушарапов Р.Н., Мингазетдинов И.Х. Мобильная снегоплавильная установка // Оpubл. 25.07.2019 г. Бюл. №21.
6. АртТранс [Электронный ресурс] // URL: <https://artranss.ru/company/articles/a-zachem-voobshe>.
7. Рубанова В.А. Грязный снег у автомобильных трасс – опасен ли он для растений?: исследовательская работа / В.А. Рубанова, Д.Ф. Мамедова. ГБОУ Школа №171. Москва. 2022. 17 с.

References

1. N.V. Saltan, E.A. Svyatkovskaya, N.N. Trostenyuk. Assessment of pollution of snow cover of urban ecosystems of the Kola North in the zone of influence of railway sidings. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2022. V. 26. No. 12. Pp. 78-83.
2. Pershina N.A., Semenets E.S., Pavlova M.T., Svistov P.F. (2021) The influence of weather conditions on the chemical composition of snow cover. *Klimat i priroda*. 41(4). Pp. 26-34.
3. Wang F., Zhang X., Wang F., Song M., Li Z., Ming J. (2022) Urban air quality in Xinjiang and snow chemistry of Urumqi Glacier No. 1 during COVID-19's restrictions. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29. 76 026-76 035.
4. N.E. Solovyova, E.A. Olkova, A.A. Alyabyeva, O.V. Kraeva. Study of melt water (snow) as an indicator of atmospheric pollution in an urban environment. *Molodoy uchenyy*. 2015. No. 14 (94). Pp. 668-672.
5. Patent for invention of the Russian Federation No. 2695676, 09.01.2018. Smirnova S.V., Potapov K.A., Musharapov R.N., Mingazetdinov I.Kh. Mobile snow-melting unit. Published July 25, 2019. Bulletin No. 21.
6. ArtTrans [Electronic resource]. URL: <https://artranss.ru/company/articles/a-zachem-voobshch>.
7. V.A. Rubanova, D.F. Mamedova. *Gryaznyy sneg u avtomobil'nykh trass – opasen li on dlya rasteniy?: issledovatel'skaya rabota* [Is dirty snow along highways dangerous for plants? Research suggests]. State Budgetary Educational Institution School No. 171, Moscow. 2022. 17 p.

Сведения об авторах Принадлежность к организации

Макеев Илья Андреевич

аспирант кафедры рационального природопользования географического факультета МГУ им. Ломоносова, 119991, Москва, Россия

Information about authors Affiliations

Makeev Ilya Andreevich

Postgraduate Student, Department of Environmental Management Faculty of Geography Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Russia

Поступила в редакцию 25.01.2026 г.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИСТОРИКО-БИОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

^{1,2}Николаева О.Н., ¹Валишин А.Б.

¹Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Москва, Россия

²Сибирский государственный университет геосистем и технологий,

630108, Новосибирск, Россия

e-mail: onixx76@mail.ru

Статья посвящена актуальной задаче популяризации истории России через создание современных картографических произведений – историко-биографических карт, под которыми авторы понимают тематические картографические произведения, визуализирующие пространственно-временную динамику жизни и деятельности конкретной исторической личности. Основное внимание уделяется проблеме трансформации нарративных текстов в визуальные образы. В качестве основного источника использовались уникальные материалы – камер-фурьерские журналы, отражающие повседневную жизнь и государственную деятельность императора Николая II. Авторами рассмотрена специфика данного источника, выявлены методологические трудности, возникающие при верификации и пространственной привязке ретроспективных данных. В работе предложены концептуальные подходы к формализации текстовых записей, позволяющие преодолеть фрагментарность и неточность старинных описаний. Практическим результатом исследования стала разработка двух авторских историко-биографических карт, наглядно демонстрирующих передвижения и события из жизни Николая II. Сформулированные принципы визуализации данных направлены на повышение достоверности картографических материалов. Работа закладывает теоретическую основу для создания инновационных образовательных ресурсов, способствующих более глубокому освоению национального исторического наследия широким кругом пользователей.

Ключевые слова: исторические карты, историческое картографирование, историко-биографические карты, Николай II, камер-фурьерские журналы, визуализация ретроспективных данных, верификация исторических источников.

APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES FOR CARTOGRAPHIC MODELING OF HISTORICAL AND BIOGRAPHICAL DATA

^{1,2}Nikolaeva O.N., ¹Valishin A.B.

¹Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Moscow, Russia

²Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Novosibirsk, Russia

This article addresses the significant task of popularizing Russian history through the creation of modern cartographic works, specifically historical-biographical maps. The authors define these as thematic cartographic works that visualize the spatiotemporal dynamics of a specific historical figure's life and activities. Particular attention is paid to the challenge of transforming narrative texts into visual representations. The study utilizes unique materials – the Court Ceremonial Journals (Kamer-furerskie zhurnaly) – which reflect the daily life and state activities of Emperor Nicholas II, as its primary source. The authors examine the nature of this source and identify methodological difficulties arising during the verification and georeferencing of retrospective data. Finally, the paper proposes conceptual approaches for formalizing text records, thereby overcoming fragmentation and inaccuracies in archival descriptions.

The practical outcome of the study is the development of two original historical-biographical maps that visualize the movements and events in the life of Nicholas II. The proposed principles of data visualization aim to enhance the reliability of cartographic materials. This study establishes a theoretical foundation for creating innovative educational resources that facilitate a deeper understanding of national historical heritage for a broad audience.

Keywords: historical maps, historical mapping, historical-biographical maps, Nicholas II, Court Ceremonial Journals, retrospective data visualization, verification of historical sources.

Введение

В настоящее время наблюдается значительный рост общественного и научного интереса к истории России, поэтому одной из актуальных задач российской картографии становится создание картографических произведений, способствующих популяризации исторических знаний [1-3]. Решение этой задачи осложняется тем, что материалы об исторических событиях и жизни исторических личностей, как правило, имеют вид текстов различной информационной наполненности. В то же время для

создания информативных исторических карт важно располагать максимальным количеством источников геопривязанных данных. Работая с архивами, картографы сталкиваются со множеством сложностей, связанных как с локализацией исторически значимых объектов и событий, так и с выбором общегеографической основы для создания итоговой карты [1,4].

Особую проблему представляет интерпретация субъективных описаний, содержащихся в мемуарах, путевых заметках и официальных отчетах прошлых

веков. Зачастую авторы текстов использовали локальные ориентиры, которые к настоящему времени утрачены или полностью изменили свой облик. Трансформация ландшафта, исчезновение малых населенных пунктов и переименование топонимов создают «белые пятна», затрудняющие правильную географическую локализацию исторических событий [5-7].

Внедрение геоинформационных систем (ГИС) в науку и практику исторической картографии позволило перейти от простых иллюстраций исторических событий к созданию новых картографических моделей, агрегирующих и интерпретирующих исторические знания с целью реконструкции исторической реальности и представления ее в виде, доступном для понимания [1,8-10]. Однако создание исторических карт в ГИС-среде требует от автора не только технических навыков, но и глубокого понимания исторического контекста эпохи.

В данной статье будет рассмотрен опыт создания исторических карт на основе текстовых источников, а также установлены подходы к преодолению типичных трудностей, возникающих при верификации и визуализации ретроспективных данных.

Объект исследования

Гуманизация различных сфер человеческой жизни привела к тому, что во многих областях вышла на первый план роль конкретной личности, впечатления и жизненный путь отдельного человека. Для исторического картографирования такой поворот выражается в создании картографических произведений, посвященных жизни и деятельности конкретных личностей: писателей, актеров, ученых или политиков. В отличие от традиционных административных карт, биографический подход позволяет проследить динамику перемещений индивида в контексте меняющейся эпохи, превращая сухие архивные данные в наглядную тематическую карту. Такой вид карт авторы предлагают называть историко-биографическими.

Под историко-биографическими картами в данной работе понимается особый тип тематических картографических произведений, на которых объектом картографирования является пространственно-временная динамика жизни и деятельности конкретной исторической личности. В отличие от традиционных исторических карт, отображающих глобальные общественные процессы (войны, изменение границ, экономическое развитие регионов), историко-биографическая карта антропоцентрична. Она фокусируется на индивидуальном опыте человека, его перемещениях, локациях ключевых событий жизни и географии его социальных связей. Как подчеркивает ряд исследователей, подобные картографические продукты способствуют дополнительной популяризации исторических знаний среди широких кругов населения [11,12].

В качестве объекта исследования для данной работы был выбран последний российский император Николай II. На взгляд авторов, его биография, насыщенная как государственными визитами, так и личными путешествиями в пределах Российской империи и за её границами (в том числе в период до его восшествия на престол), представляет собой идеальный полигон для отработки методик извлечения пространственных данных из обширной документальной хроники. На выбор объекта исследования также повлияло наличие уникальных источников – камер-фурьерских журналов. Эти ежедневные записи придворной службы содержат предельно детальную фиксацию всех перемещений императора, что существенно упрощает процесс извлечения и верификации пространственных данных, что подтверждается многими учеными-историографами. В современной историографии камер-фурьерские журналы применяются для реконструкции отдельных эпизодов жизни Николая II, например, его деятельности в Ставке в годы Первой мировой войны [13] или пребывания в резиденциях [14,15]. Однако пространственный анализ перемещений императора с использованием ГИС-технологий до настоящего времени не проводился.

Материалы и методы

Восстановление событий жизни Николая II требует обращения к специфическому виду историко-архивных документов, среди которых ключевое место занимают камер-фурьерские журналы. Это детальные ежедневные записи о местопребывании, встречах и перемещениях императорской семьи (см. рисунок 1). Главная методическая сложность при работе с камер-фурьерскими журналами заключается в том, что их сведения представляют собой исключительно текстовые данные, лишенные точных географических координат. Привязка событий к местности в них носит описательный характер («отбыли в Царское Село», «прибыли на станцию Бологое»), что требует от картографа проведения предварительной идентификации каждого упомянутого топонима.

Процесс извлечения данных из камер-фурьерского журнала основывался на формализации текста. Для этого была разработана табличная база данных, в которую заносилась информация обо всех населенных пунктах и прочих локациях, посещенных Николаем II. Структура базы данных включала в себя:

1. Точные даты прибытия/отбытия;
2. Географические атрибуты: историческое наименование пункта, его тип (город, станция, имение) и административная принадлежность;
3. Событийный контекст: краткое описание цели визита (смотры войск, официальный прием, посещение достопримечательностей, отдых).

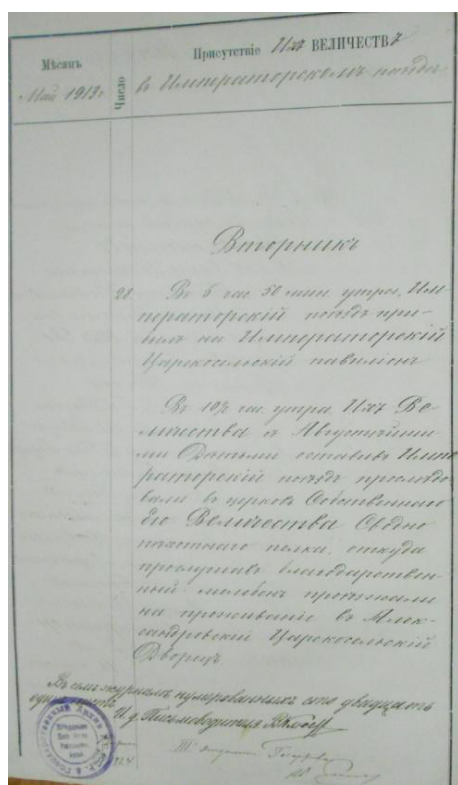


Рис. 1. Фрагмент страницы камер-фурьерского журнала

Такой системный подход позволил перевести «повествовательную» историю в формат, пригодный для математической обработки и автоматизированного нанесения на историко-биографическую карту. Пример созданной базы данных приведен в таблице 1.

Для обеспечения исторической достоверности проекта было принято решение отказаться от стандартных современных векторных подложек в пользу архивных карт соответствующего периода. Поэтому для избегания анахронизмов была создана аутентичная общегеографическая основа. При выборе исходного картографического материала мы руководствовались следующими критериями:

1. Соответствие эпохе: Административно-тер-

риториальное деление на карте должно строго соответствовать губернскому делению Российской империи на 1913 год;

2. Территориальный охват: Карта должна иллюстрировать пространство Европейской России.

Учитывая различия в масштабных рядах современных и дореволюционных карт [16,17], общегеографическая основа историко-биографических карт может быть создана следующими способами:

Способ №1: совмещение (мозаика) смежных архивных карт отдельных административных единиц (губерний) с обеспечением точной стыковки объектов на границах листов; при этом обеспечивается сплошное покрытие этими картами района работ и точное совмещение контуров объектов на границах смежных листов.

Способ №2: использование старинной карты более мелкого масштаба, чем масштаб создаваемой историко-биографической карты.

Результаты и обсуждение

Теоретические разработки были апробированы в ходе создания двух историко-биографических карт, связанных с личностью Николая II. Это карта исторического паломничества императора Николая II по городам центральной России [18] и карта путешествия цесаревича Николая на Восток [19].

При создании карты исторического паломничества была предпринята попытка использовать способ №1, выражавшийся в совмещении отдельных карт губерний, посещенных императором. Однако из-за несогласованности математических основ границы соседних территорий зачастую не стыковались. К тому же создание единого полотна из разрозненных листов губернских карт неизбежно привело бы к погрешностям из-за искажений контуров, возникших при сканировании, ненадлежащем хранении оригиналов или специфике составительских приемов тех лет. На старых картах зачастую не указывалась проекция, а в некоторых случаях отсутствовал даже масштаб. Это делало практически

Таблица 1

Пример базы данных, сформированной по результатам формализации сведений камер-фурьерского журнала

Населенный пункт	Дата посещения	Статус населенного пункта согласно АТД России 1913г	Событие
Владимир	16 мая 1913 г	Губернский	Посещение Успенского собора
Суздаль	16 мая 1913 г	Уездный	Посещение Суздальского собора и пр.
Боголюбово	16 мая 1913 г	Волостной	Посещение Боголюбского монастыря
Нижний Новгород	17 мая 1913 г	Губернский	Посещение Спасо-Преображенского собора
Кострома	19 мая 1913 г	Губернский	Посещение Ипатьевского монастыря
Ярославль	21 мая 1913 г	Губернский	Посещение Успенского собора
Ростов Великий	22 мая 1913 г	Уездный	Посещение Успенского собора
Петровское	23 мая 1913 г	Заштатный	Посещение Петропавловского собора
Переславль-Залесский	23 мая 1913 г	Уездный	Посещение различных монастырей
Сергиев Посад	24 мая 1913 г	Заштатный	Посещение Троице-Сергиевой лавры
Москва	24-27 мая 1913 г	Губернский	Посещение Кремля и пр.

невозможной корректную трансформацию и геопривязку фрагментов в ГИС-среде. В конечном счете данный вариант создания общегеографической основы был отвергнут, и для минимизации ошибок и обеспечения целостности изображения в качестве основного картографического источника было решено использовать карту более мелкого масштаба, отображающую весь район работ как единое целое. Был рассмотрен и проанализирован ряд отечественных и зарубежных карт Европейской части России [20]. На рисунке 2 представлена карта, выбранная и использованная как исходная при создании карты исторического паломничества. Это позволило получить геометрически непротиворечивую и визуально чистую общегеографическую основу, сохранив при этом аутентичную топонимику и границы империи начала XX века.

Несмотря на стремление к использованию цельных изображений, при работе над картой «Путешествие Цесаревича на Восток» авторы столкнулись с необходимостью создания основы из множества фрагментов соседних карт. Этот процесс выявил ряд фундаментальных проблем [19]:

1. Конфликт систем координат: значительные различия в старых и современных картографических проекциях крайне затрудняли процесс геопривязки политической карты мира к базовой подложке

в среде QGIS;

2. Геометрическое несовпадение: опыт показал, что даже создание нескольких десятков контрольных точек не обеспечивало должной точности: контуры береговых линий и границ не совпадали из-за неустраняемых искажений оригиналов;

3. Сложность политического контекста: для формирования корректного изображения пришлось использовать фрагменты карт различных метрополий, колоний, протекторатов и зависимых территорий, выполняя оцифровку непосредственно по этим разрозненным источникам.

Дальнейшие работы по созданию общегеографической основы историко-биографических карт предполагают геопривязку подобранных исходных карт и векторизацию объектов, необходимых для локализации тематического содержания: маршрутов перемещения и точек интереса, связанных с исторической личностью, являющейся объектом картографирования. В результате была получена общегеографическая основа, которая сохранила топонимику, графический стиль и дух эпохи.

Затруднения, возникшие при попытках сопоставления современных и старых карт, позволили сделать важный вывод: использование современных систем координат и проекций для исторических карт не всегда целесообразно. Если конечный продукт не



Рис. 2. Карта Европейской России из атласа мира Хаммонда (Нью-Йорк, 1905 г.)

предполагает выполнения высокоточных картометрических работ, наиболее эффективным решением становится использование в качестве подложки архивных растровых карт (при условии их высокого графического качества). Это позволяет избежать искусственных деформаций исторического пространства и сохранить визуальную целостность и дух эпохи, не вводя пользователя в заблуждение ложной геометрической точностью.

Собранные сведения позволили сформировать содержание создаваемых карт в виде следующих групп слоев:

1. Общегеографические слои, отображающие объекты на период картографирования (политические и административные границы; населенные пункты со статусом и названиями; основные пути сообщения; основные гидрографические объекты, необходимые для ориентирования по карте);

2. Тематические слои (маршруты перемещения картографируемой личности с разделением по видам транспорта и подстилающей поверхности; посещенные объекты интереса).

Зарамочное оформление карт было дополнено справочной информацией, иллюстрациями и художественными рамками для более достоверной передачи стиля картографической продукции на стыке XIX и XX вв. Следует заметить, что при проектировании карт подобного рода, важное место занимает выбор цветового оформления: использование неярких цветов и текстур, имитирующих старую бумагу, дополнительно усиливает впечатление «старинности» карты и выделяет ее из ряда современных картографических произведений, зачастую характеризующихся чистыми, яркими цветами и минималистичным оформлением. На рисунке 3 представлены уменьшенные копии созданных карт.



Рис. 3. Уменьшенные варианты авторских оригиналов историко-биографических карт: карта исторического паломничества Николая II по городам центральной России (а); карта путешествия цесаревича Николая на Восток (б)

Заключение и выводы

Создание историко-биографических карт – это актуальный вид деятельности, который не только систематизирует архивные данные, но и способствует популяризации российской истории среди широкого круга пользователей. Созданные авторами произведения наглядно демонстрируют, как синтез архивного текста и ГИС-технологий позволяет «увидеть» историю через пространство, делая биографию исторической личности осязаемой и понятной современным людям. Однако процесс их разработки сопряжен со специфическими методологическими вызовами. На основе проведенного исследования можно сделать несколько выводов.

Фундаментом любой исторической карты является текстовый первоисточник. Выполненные исследования показали, что выбор авторитетного и максимально достоверного источника (камер-фурьерского журнала) является определяющим этапом. Неполнота или противоречивость данных в текстах могут привести к искажению исторической правды при их визуализации. В ходе исследования было выявлено, что масштабные переименования географических объектов, а также разнообразие переводов (городов, улиц, рек) на протяжении XIX–

XX веков значительно затрудняют локализацию собранных сведений. Поиск соответствий между «старым» названием и современной географической основой требует выполнения большого объема работ. Значительная часть трудностей была обусловлена обилием альтернативных названий малых населенных пунктов на иностранной территории даже в пределах одной эпохи; при этом отсутствие ссылок на дополнительные ориентиры мешало точно определить их местоположение и нанести на карту.

Трансформация ландшафта, изменение конфигурации сети путей сообщения и границ населенных пунктов ставят под сомнение эффективность использования современных векторных подложек. В ряде случаев целесообразно отказаться от создания сложной векторной основы в пользу использования архивных растровых карт соответствующей эпохи. Нанесение тематического содержания на очищенную от визуальных шумов и геопривязанную старинную карту позволяет сохранить визуальный контекст времени и избежать пространственных анахронизмов, которые неизбежно возникают при попытке совместить исторические маршруты с современными дорожными сетями.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Председателю Совета Фонда содействия сохранению культурных, исторических и духовных ценностей имени Императора Николая II Ренжину Александру Васильевичу и Заместителю руководителя Фонда по научной работе Капкову Константину Геннадьевичу.

Список литературы

- Баталов Р.Н., Радченко Л.К. Пути развития исторической картографии // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2022. Т. 27. №5. С. 90-109.
- Колганова Е.Ю. Картографирование историко-культурного наследия // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2009. Т. 1. №2. С. 261-263.
- Шульгина О.В., Шульгина Д.П., Михайленко Н.Л. Роль картографической культуры в развитии познавательной, научной, коммуникативной и творческой деятельности человека // Человек и культура. 2022. №6. С. 111-127.
- Эволюция историко-картографического метода исследования исторических процессов в связи с применением мультимедийных методов / Д.В. Лисицкий, М.Н. Колоткин, Е.В. Комиссарова [и др.] // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2008. Т. 3. №1. С. 118-121.
- Черных Е.М., Перевозчиков Ю.А. Исторические поселения удмуртов XVI-XIX веков: проблемы выявления, изучения, интерпретации (case study) // Вестник Удмуртского университета. Серия: История и филология. 2023. Т. 33. №3. С. 504-512.
- Соколова Е.В. Источниковая база изучения истории исчезнувших деревень Колосовского района Омской области // Теория и практика общественного развития. 2015. №20. С. 209-211.
- Колдаков Д.В. О подходах к созданию комплексного источника по истории населенных пунктов Алтайского края с применением технологии баз данных // Известия Алтайского государственного университета. 2011. №4-2. С. 120-124.
- Тикунов В.С., Черешнева А.А. Геоинформационное картографирование в историко-географических исследованиях // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2005. №5. С. 25-30.
- Владимиров В.Н. Историческая геоинформатика: геоинформационные системы в исторических исследованиях: монография. Барнаул: Изд-во АлтГУ. 2005. 192 с.
- Картографическое моделирование историко-архитектурной среды г. Перми по картографическим источникам XVIII–XX вв. / П.А. Корчагин, Е.С. Черепанова, М.В. Гоголева, П.А. Балыбердина // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2016. №3. С. 160-177.
- Неживов В.П. ГИС-технологии в моделировании историко-культурного развития России: основные направления и перспективы развития // Московский экономический журнал. 2021. №1. С. 9-19. DOI: 10.24412/2413-046X-2021-10007.
- Рыгалова М.В., Рыгалов Е.В. Изучение и популяризация маршрутов исследователей-путешественников Алтая средствами геоинформационных технологий // Вестник Томского государственного университета. История. 2025. №97. С. 146-151. DOI: 10.17223/19988613/97/18.
- Шиловский М.В. Император Николай II на посту верховного главнокомандующего по информации камер-фурьерского журнала за январь 1916 – февраль 1917 гг. // Вестник Томского государственного университета. 2017. №415. С. 151-157.
- Зимин И.В. «Школьные» годы Николая II // Перспективы. Электронный журнал. 2024. №1(36). С. 88-108. DOI: 10.32726/2411-3417-2024-1-88-108.
- Зимин И.В., Соколов А.Р., Суляк С.Г. Николай II в Галиции в 1915 г.: вместе или врозь // Русин. 2016. №4(46). С. 205-216.
- Костовская С.К., Стулышапку В.О. Разновременные картографические произведения в исследованиях исторической динамики преобразования территории // Вестник российских университетов. Математика. 2011. Т. 16. №5. С. 1308-1312.

17. Рыгалова М.В. Geographic information systems and technology in domestic historiography: the main directions of use // Вестник Томского государственного университета. 2015. №391. С. 133-139.
18. Николаева О.Н., Валишин А.Б. Об опыте использования ГИС для создания исторических карт // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2023. Т. 1. №2. С. 51-57.
19. Николаева О.Н., Валишин А.Б. Исторические карты-персоналии как средство развития внутреннего туризма // География, экология, туризм: новые горизонты исследований: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию создания факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ. Воронеж, 2024. Т. 3. С. 294-298.
20. Николаева О.Н., Валишин А.Б. Исторические карты-персоналии как средство популяризации исторических знаний // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. 2024. №3. С. 16-23.

References

1. Batalov R.N. and Radchenko L.K. Ways of historical cartography development. *Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii)*. 2022. V. 27. No. 5. Pp. 90-109.
2. Kolganova E.Y. Mapping of historical and cultural heritage. *Inter ekspso Geo-Sibir'*. 2009. V. 1. No. 2. Pp. 261-263.
3. Lisitsky D.V., Kolotkin M.N. and Komissarova E.V. et al. Evolution of the historical-cartographic method of studying historical processes in connection with the use of multimedia methods. *Inter ekspso Geo-Sibir'*. 2022. No. 6. Pp. 111-127.
4. Shulgina O.V., Shulgina D.P. and Mikhailenko N.L. The role of cartographic culture in the development of cognitive, scientific, communicative and creative human activity. *Inter ekspso Geo-Sibir'*. 2008. V. 3. No. 1. Pp. 118-121.
5. Chernykh E.M. and Perevozchikov Y.A. Historical settlements of the Udmurts of the 16th–19th centuries: problems of identification, study, interpretation (case study). *Bulletin of the Udmurt University. Series: History and Philology*. 2023. V. 33. No. 3. Pp. 504-512.
6. Koldakov D.V. On approaches to creating a complex source on the history of settlements in the Altai Territory using database technology. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya*. 2015. No. 20. Pp. 209-211.
7. Sokolova E.V. Source base for studying the history of vanished villages in the Kolosovsky district of the Omsk region. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011. No. 4-2. Pp. 120-124.
8. Tikunov V.S. and Cheresheva A.A. Geoinformation mapping in historical and geographical research. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2005. No. 5. Pp. 25-30.
9. Vladimirov V.N. *Istoricheskaya geoinformatika: geoinformatsionnyye sistemy v istoricheskikh issledovaniyakh: monografiya* [Historical geoinformatics: geoinformation systems in historical research]. Barnaul: Altai State University Publishing House. 2005. 192 p.
10. Korchagin P.A., Cherepanova E.S., Gogoleva M.V. and Balyberdina P.A. Cartographic modeling of the historical and architectural environment of Perm based on cartographic sources of the 18th-20th centuries. *Vestnik PNIPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*. 2016. No. 3. Pp. 160-177.
11. Nezhivov V.P. GIS technologies in modeling the historical and cultural development of Russia: main directions and development prospects. *Moskovskiy ekonomicheskyy zhurnal*. 2021. No. 1. Pp. 9-19. DOI: 10.24412/2413-046X-2021-10007.
12. Rygalova M.V. and Rygalov E.V. Study and popularization of routes of researchers-travelers of Altai by means of geoinformation technologies. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Istorika*. 2025. No. 97. Pp. 146-151. DOI: 10.17223/19988613/97/18.
13. Shilovskiy M.V. Emperor Nicholas II as Supreme Commander-in-Chief according to the information of the Court Journal for January 1916 – February 1917. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017. No. 415. Pp. 151-157.
14. Zimin I.V. «School» years of Nicholas II. *Perspektivy. Elektronnyy zhurnal*. 2024. No. 1(36). Pp. 88-108. DOI: 10.32726/2411-3417-2024-1-88-108.
15. Zimin I.V., Sokolov A.R. and Sulyak S.G. Nicholas II in Galicia in 1915: together or apart. *Rusin*. 2016. No. 4(46). Pp. 205-216.
16. Kostovska S.K. and Stulyshapko V.O. Cartographic works of different periods in studies of historical dynamics of territory transformation. *Vestnik Rossiyskikh universitetov. Matematika*. 2011. V. 16. No. 5. Pp. 1308-1312.
17. Rygalova M.V. Geographic information systems and technology in domestic historiography: the main directions of use. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015. No. 391. Pp. 133-139.
18. Nikolaeva O.N. and Valishin A.B. Experience of using GIS for creating historical maps. *Inter ekspso Geo-Sibir'*. 2023. V. 1. No. 2. Pp. 51-57.
19. Nikolaeva O.N. and Valishin A.B. Historical personality maps as a tool for domestic tourism development, Geography, Ecology, Tourism: New Horizons of Research: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Vol. 3. Voronezh: Voronezh State University. 2024. V. 3. Pp. 294-298.
20. Nikolaeva O.N. and Valishin A.B. Historical personality maps as a means of popularizing historical knowledge. *Regulirovaniye zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy v Rossii: pravovoye i geoprostranstvennoye obespecheniye, otsenka nedvizhimosti, ekologiya, tekhnologicheskiye resheniya*. 2024. No. 3. Pp. 16-23.

Сведения об авторах Принадлежность к организации

Николаева Ольга Николаевна

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры картографии Московского государственного университета геодезии и картографии, 105064, Москва, Россия

Валишин Айдар Булатович

магистрант кафедры картографии, преподаватель кафедры космического мониторинга и экологии Московского государственного университета геодезии и картографии, 105064, Москва, Россия

Information about authors Affiliations

Nikolaeva Olga Nikolaevna

Doctor of Technical Science, Associate Professor, Professor of the Department of Cartography, Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Moscow, Russia

Valishin Aidar Bulatovich

Master's student in the Department of Cartography, lecturer in the Department of Space Monitoring and Ecology, Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Moscow, Russia

Поступила в редакцию 27.01.2026 г.

**НЕИСПОЛЬЗУЕМЫЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ УГОДЬЯ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ВОВЛЕЧЕНИЕ В ОБОРОТ**

Рассказова А.А., Жданова Р.В., Хуторова А.О., Столяров В.М., Иванова Н.А.
ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», 105064, Москва, Россия
e-mail: zhdanova1604@yandex.ru

Рассмотрена проблема неиспользуемых сельскохозяйственных угодий в субъектах Российской Федерации. Объектом исследования была выбрана Тверская область. Рассмотрены особенности региона использования земель сельскохозяйственного назначения, а именно сельскохозяйственных угодий на территории Тверской области. Был проведен анализ площадей земель сельскохозяйственного назначения и их использования в динамике по годам, а также анализ секторов экономики региона. Были выявлены тенденции и причины неиспользования сельскохозяйственных угодий, что привело к сокращению земель сельскохозяйственного назначения и соответственно к снижению сельскохозяйственного производства. Изучен опыт вовлечения в оборот сельскохозяйственных угодий Тверской области и предложены пути совершенствования путем применения региональных планов.

Ключевые слова: сельскохозяйственные угодья, вовлечение в оборот, регион, неиспользуемые угодья, контура сельскохозяйственных угодий.

**UNUSED AGRICULTURAL LAND IN THE TVER REGION: PROBLEMS, PERSPECTIVES,
AND INVOLVEMENT IN THE CIRCULATION**

Rasskazova A.A., Zhdanova R.V., Khutorova A.O., Stolyarov V.M., Ivanova N.A.
State University of Land Use Planning, 105064, Moscow, Russia

This article, the authors consider the problem of unused agricultural land in the constituent entities of the Russian Federation. The Tver Region was the object of research. The authors examine the specific features of the region in terms of the use of agricultural land and, in particular, agricultural land in the Tver Region. They analyze the areas of agricultural land and their use over time, as well as the economic sectors of the region. Based on the results of the analysis, the scientific study identified trends and reasons for the non-use of agricultural land, which led to a decrease in agricultural land and, consequently, a decrease in agricultural production. The study examined the experience of involving agricultural land in the Tver Region and proposed ways to improve it through the implementation of regional plans.

Keywords: agricultural land, involvement in the circulation, region, unused land, contours of agricultural land.

Введение в сельскохозяйственный оборот неиспользуемых сельскохозяйственных угодий особенно актуально при решении вопроса продовольственной безопасности страны в условиях современных вызовов [1]. Отмечается динамика неиспользуемых угодий в субъектах Российской Федерации. В данном исследовании объектом является Тверская область.

Агропромышленный комплекс Тверской области – один из важных секторов экономики региона и это традиционная специализация региона. В целом можно описать развитие сельского хозяйства Тверской области положительно. Однако в 2024 год индекс производства сельского хозяйства по хозяйствам всех категорий в Тверской области резко уменьшился, относительно 2023 года на 19.7 млн. руб. Это связано с сокращением посевных площадей сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий. На рисунке 1 представлена динамика изменения посевной площади Тверской области с 2010 по 2024 год.

Следует отметить, что посевная площадь на территории Тверской области уменьшается. С 2010 года посевная площадь региона сократилась на

205.2 тыс. га. Прогнозируется и дальнейшее сокращение посевных площадей в Тверской области, что приведет к снижению сельскохозяйственного производства в регионе.

На первом этапе необходимо оценить эффективность эксплуатации сельскохозяйственных земель оцениваемой территории. Оценка проводится на основе ряда показателей, как количественных, так и качественных [2,3]. На основе анализа литературы в области исследования вопросов экономического обоснования использования сельскохозяйственных земель выделим следующие показатели: площадь сельскохозяйственных земель, объем сбора выращиваемых культур, посевная площадь, обеспеченность сельскохозяйственной продукцией населения, наличие основных фондов сельскохозяйственного назначения на 1 га сельхозугодий и пашни [4,5,6].

Анализ использования земель сельскохозяйственного назначения в Тверской области.

Земли сельскохозяйственного назначения в Тверской области составляют 2605.6 тыс. га и это 31% от всей площади. На рисунке 2 представлена динамика площади земель сельскохозяйственного назначения Тверской области за период



Рис. 1. Посевная площадь на территории Тверской области

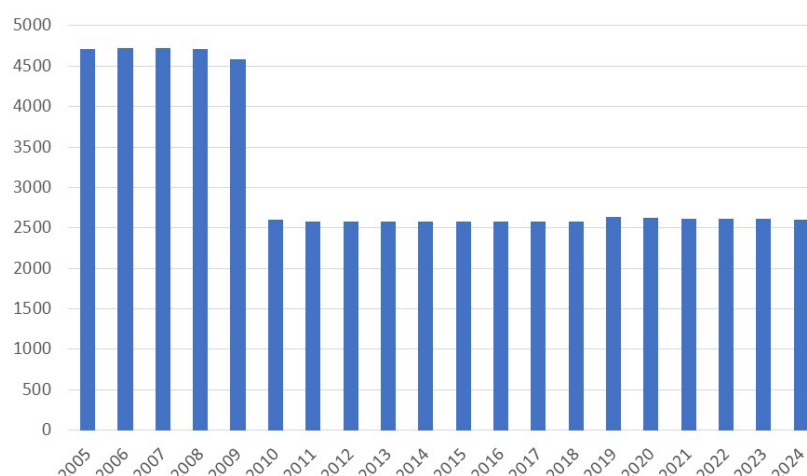


Рис. 2. Динамика площади земель сельскохозяйственного назначения Тверской области, в тыс.га

с 2005 по 2024 год.

Из рис. 2 видно, что в 2010 году произошло резкое сокращение земель сельскохозяйственного назначения, почти в два раза. Это связано с переводом заросших лесом земель сельскохозяйственного назначения в земли лесного фонда. В дальнейшем площадь земель сельскохозяйственного назначения практически была более стабильна [7,8].

Однако есть четкая тенденция в уменьшении земель сельскохозяйственного назначения в Тверской области. За период с 2005 по 2024 год площадь земель сельскохозяйственного назначения сократилась на 2101.1 тыс. га. Следует отметить, что общая площадь региона с 2005 по 2024 оставалась неиз-

менной. Перераспределение происходило внутри категорий земельного фонда Тверской области.

Тверская область относится к субъектам с наибольшей долей неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения, рисунок 3. Доля неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения в Тверской области составляет 83% [9].

Изменение в площади неиспользуемых сельскохозяйственных угодий и отдельно пашни в Тверской области за период 2016-2023 годы представлено в таблице 1.

Следует отметить, что площадь неиспользуемых сельскохозяйственных угодий в Тверской области неуклонно растет. Так, с 2016 по 2023 год

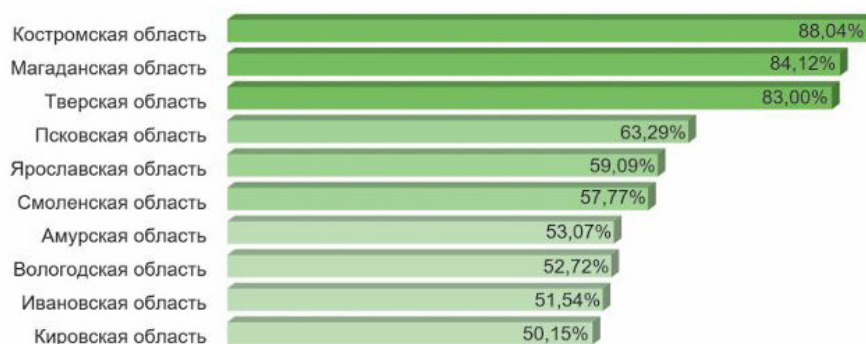


Рис. 3. Субъекты РФ с наибольшей долей неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения

Таблица 1

Площадь неиспользуемых сельскохозяйственных угодий в Тверской области

Годы	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Площадь неиспользуемых с/х угодий в тыс.га	982.31	724.889	906.078	892. 751	1 559.99	1 626.04	1 660.26	1 655.58
Площадь неиспользованной пашни тыс. га	832.3	500.163	867. 294	892.751	874.201	918.587	953.564	949.108

площадь неиспользуемых сельскохозяйственных угодий возросла на 673.27 тыс. га, их них площадь неиспользуемой пашни выросла на 116.808 тыс. га. Такие показатели в Тверской области требуют принятия ответных мер и управленческих решений.

Причины роста площади неиспользуемых земель в Тверской области представлены на рисунке 4.

Решением проблемы неиспользуемых земель является вовлечение в оборот сельскохозяйственных угодий [10,11].

По показателю доли вовлеченных в оборот сельскохозяйственных угодий относительно площади неиспользуемых угодий, Центральный Федеральный округ занимает 5-е место и составляет всего 3.97%. В свою очередь площадь вовлеченных в оборот сельскохозяйственных земель в Тверской всего 6.273 тыс. га, рисунок 5.

В регионе один из самых низких показателей вовлеченности в оборот сельскохозяйственных угодий.

На втором этапе на основе результатов первого этапа оценивается текущее состояние сельскохозяйственных земель и формируются предварительные варианты наиболее эффективного использования. Например, анализ эффективности использования показал изменения качества почвы, из-за чего снизились объемы сбора выращиваемой культуры [12,13].

Рассмотрим процесс вовлечения в оборот сельскохозяйственных угодий в Тверской области. На рисунке 6 представлены данные по вовлечению в

оборот сельскохозяйственных угодий в Тверской области с 2016 по 2023 год.

Анализируя процесс вовлечения в оборот сельскохозяйственных угодий в Тверской области, отметим, что в 2019-2020 годах заметна положительная тенденция в процессе вовлечения, однако с 2021 отмечается спад. В 2022 году случился антирекорд по площади вовлечения в оборот сельскохозяйственных угодий в Тверской области – всего 1.408 тыс. га. Следует также отметить такую особенность при вовлечении в оборот в Тверской области, что площадь вовлеченных сельскохозяйственных угодий равна площади вовлеченной пашни. Это говорит о том, что другие угодья региона практически не вовлекаются в оборот.

Подводя итог, отметим, что в Тверской области существует проблема неиспользования сельскохозяйственных угодий и решить ее можно путем ввода в оборот пустующих сельскохозяйственных земель. Процесс вовлечения в оборот требует большого количества трудовых, финансовых и материально-технических ресурсов. При этом необходимо, по нашему мнению, в процесс вовлечения в оборот сельскохозяйственных угодий в регионах страны внедрить планирование. Разработка региональных планов по вовлечению в оборот сельскохозяйственных угодий с учетом природных, экологических, экономических, социальных и других особенностей субъекта позволит сделать процесс вовлечения наиболее эффективным.



Рис. 4. Причины неиспользования земель сельскохозяйственного назначения в Тверской

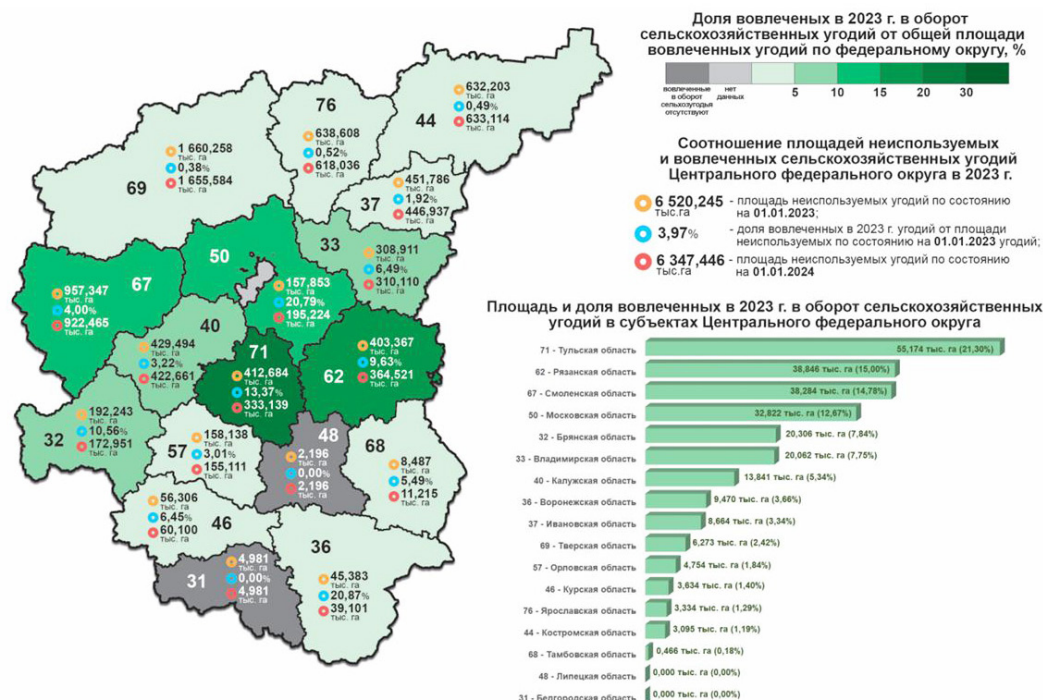


Рис. 5. Вовлечение в оборот сельскохозяйственных угодий в Центральном федеральном округе Российской Федерации в разрезе субъектов в 2023 г.



Рис. 6. Вовлечение в оборот сельскохозяйственных угодий в Тверской области за период с 2016 по 2023 год в тыс. га

Список литературы

- Варламов А.А. Роль ресурсного потенциала для повышения эффективности сельскохозяйственного землепользования [Текст] / А.А. Варламов, Н.В. Комов [и др.] // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. №4. С. 5-7.
- Kussul N., Lavreniuk M., Skakun S., & Shelestov A. (2019). Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 16(2), 262-266. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2868512>.
- Tóth G., & Montanarella L. (Eds.). (2021). Land Quality and Land Use Information in the European Union. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/02898>.
- Visser S.M., Keesstra S., Maas G., & de Cleen M. (2022). Soil governance: Key to sustainable land management. Current Opinion in Environmental Sustainability, 58, 101211. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101211>.
- Wang L., Li Y., & Zhang Q. (2023). Remote sensing-based assessment of agricultural land use efficiency: A global meta-analysis. Science of The Total Environment, 876, 162731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162731>.
- Zhang H., Xu E., & Li H. (2020). Agricultural land use efficiency and its spatiotemporal differentiation in China under carbon emission constraint. Journal of Cleaner Production, 268, 121636. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121636>.
- Волков С.Н. О необходимости землеустроительного обеспечения вовлечения в сельскохозяйственный оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2024;4.
- Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2023 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2024. 384 с.
- Рассказова А.А. Опыт управления земельными ресурсами в зарубежных странах / А.А. Рассказова // Итоги научных исследований сотрудников ГУЗа в 2001 году: Сб. научных трудов. Т.1.: Землеустройство, кадастры и земельное право. М. 2001. С. 320-326.

10. Рассказова А.А. Планирование и прогнозирование использования земельных ресурсов и объектов недвижимости: учебно-методическое пособие / Сост. А.А. Рассказова. Москва: ГУЗ. 2017. 104 с.
11. Устименко Е.А. Основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур: метод. указания / сост.: Е. А. Устименко, Е.В. Голосной, А.Н. Есаулко [и др.]. ФГБОУ ВО Ставроп. гос. аграр. ун-т. Ставрополь. 2021. 60 с.
12. Черкашина Е.В., Сорокина О.А., Фомкин И.В., Федоринов А.В., Петрова Л.Е. Выявление неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения и их вовлечение в экономический оборот на основе плановой инвентаризации земель // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2020. №11. С. 22-27. EDN: NMZQQQ.
13. Gómez C., Case B.S., & Wratten S.D. (2021). Integrating land cadastre data and remote sensing for sustainable agricultural land management: A review. *Land Use Policy*, 109. 105625. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105625>.

References

1. A.A. Varlamov, N.V. Komov [et al.] The Role of Resource Potential in Improving the Efficiency of Agricultural Land Use [Text]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*. 2020. No. 4. Pp. 5-7.
2. Kussul N., Lavreniuk M., Skakun S., & Shelestov A. (2019). Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(2), 262-266. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2868512>.
3. Tóth G., & Montanarella L. (Eds.). (2021). Land Quality and Land Use Information in the European Union. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/02898>.
4. Visser S.M., Keesstra S., Maas G., & de Cleen M. (2022). Soil governance: Key to sustainable land management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 58, 101211. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101211>.
5. Wang L., Li Y., & Zhang Q. (2023). Remote sensing-based assessment of agricultural land use efficiency: A global meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 876, 162731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162731>.
6. Zhang H., Xu E., & Li H. (2020). Agricultural land use efficiency and its spatiotemporal differentiation in China under carbon emission constraint. *Journal of Cleaner Production*, 268, 121636. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121636>.
7. Volkov S.N. On the need for land management support for the inclusion of unused agricultural lands in agricultural circulation in the Russian Federation. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'*. 2024;4.
8. *Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Rossiyskoy Federatsii v 2023 godu* [Report on the status and use of agricultural land in the Russian Federation in 2023]. Moscow: «Rosinformagrotech». 2024. 384 p.
9. Rasskazova A.A. Experience of land resource management in foreign countries. *Itogi nauchnykh issledovaniy sotrudnikov GUZa v 2001 godu: Sb. nauchnykh trudov. T.1.: Zemleustroystvo, kadastry i zemel'noye pravo*. Moscow. 2001. Pp. 320-326.
10. Rasskazova A.A. *Planirovaniye i prognozirovaniye ispol'zovaniya zemel'nykh resursov i ob'yektov nedvizhimosti: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Planning and forecasting the use of land resources and real estate: a teaching aid]. Moscow: GUZ. 2017. 104 p.
11. E.A. Ustimenko, E.V. Golosnoy, A.N. Esaulko [et al.]. *Osnovy programmirovaniya urozhayev sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: metod. ukazaniya* [Basics of programming agricultural crop yields: methodological instructions]. Stavrop. State Agrarian University of Stavropol. 2021. 60 p.
12. Cherkashina E.V., Sorokina O.A., Fomkin I.V., Fedorinov A.V., Petrova L.E. Identification of unused agricultural lands and their involvement in economic circulation based on planned land inventory. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'*. 2020. No. 11. Pp. 22-27. EDN: NMZQQQ.
13. Gómez C., Case B.S., & Wratten S.D. (2021). Integrating land cadastre data and remote sensing for sustainable agricultural land management: A review. *Land Use Policy*, 109. 105625. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105625>.

Сведения об авторах Принадлежность к организации

Рассказова Анна Александровна

кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», 105064, Москва, Россия

Жданова Руслана Владимировна

кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», 105064, Москва, Россия

Хуторова Алла Олеговна

кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», 105064, Москва, Россия

Столяров Виктор Михайлович

кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», 105064, Москва, Россия

Иванова Наталья Андреевна

кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», 105064, Москва, Россия

Information about authors Affiliations

Rasskazova Anna Aleksandrovna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, State University of Land Use Planning, 105064, Moscow, Russia

Zhdanova Ruslana Vladimirovna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, State University of Land Use Planning, 105064, Moscow, Russia

Hutorova Alla Oleqovna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, State University of Land Use Planning, 105064, Moscow, Russia

Stolyarov Viktor Mihailovich

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, State University of Land Use Planning, 105064, Moscow, Russia

Ivanova Natalia Andreevna

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, State University of Land Use Planning, 105064, Moscow, Russia

Поступила в редакцию 19.02.2026 г.

САМОСИНХРОНИЗИРУЮЩИЙСЯ ПОТОЧНЫЙ АЛГОРИТМ ЗАЩИТЫ ПЕРЕДАЧИ ГЕОДАННЫХ С БАЗОВОЙ ГРУППОЙ, ЯВЛЯЮЩЕЙСЯ АМАЛЬГАМИРОВАННЫМ СВОБОДНЫМ ПРОИЗВЕДЕНИЕМ

Лоссов К.И.

Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Москва, Россия
e-mail: konsiv@gmail.com

Алгоритм защиты, представленный в данной работе, является самосинхронизирующимся поточным алгоритмом, и структурно схож с режимом OFB, предназначенным для защиты информационных потоков. Но, в отличие от последнего, использует другую платформу, а также иные генератор ключей и одностороннюю функцию. В качестве платформы выбираются свободные произведения групп с объединением, где объединяемые подгруппы некоммутативны, и не являются нормальными в множителях. Работа генератора ключей и односторонняя функция основаны на редукции в амальгамированных произведениях. Алгоритм предполагает, что индексы объединенной подгруппы в сомножителях должны быть не меньше исходного алфавита сообщений, при этом для его длительного бесперебойного функционирования сама подгруппа должна быть достаточно большой. Для валидации алгоритма описан пример такой схемы для конкретной свободной конструкции, в котором продемонстрирована работа генератора ключей и кодирование-декодирование передаваемого сообщения.

Ключевые слова: алгоритм защиты, поток геоанных, односторонняя функция, группа, объединенная подгруппа, редукция произведения, самосинхронизирующийся режим.

A SELF-SYNCHRONIZING STREAMING GEODATA SECURITY ALGORITHM WITH A CORE GROUP THAT IS AN AMALGAMATED FREE PRODUCT

Lossov K.I.

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Moscow, Russia

The security algorithm presented in this paper is a self-synchronizing stream algorithm and is structurally similar to the OFB mode, designed to protect information flows. However, unlike the latter, it uses a different platform, as well as a different key generator and one-way function. The platform chosen is free products of groups with amalgamation, where the amalgamated subgroups are non-commutative and non-normal in their factors. The operation of the key generator and one-way function are based on reduction in amalgamated products. The algorithm assumes that the indices of the amalgamated subgroup in the factors must be no smaller than the original message alphabet, while for its long-term, uninterrupted operation, the subgroup itself must be sufficiently large. To validate the algorithm, an example of such a scheme for a specific free construction is described, demonstrating the operation of the key generator and the encoding and decoding of the transmitted message.

Keywords: protection algorithm, geodata stream, one-way function, group, amalgamated subgroup, product reduction, self-synchronizing mode.

Введение

В настоящее время наблюдается недооценка рисков при передаче конфиденциальных данных. Так, например, в исследовании [1] констатируется уязвимость геостационарных спутниковых систем при обеспечении связи, включая доступ к мобильной телефонии, коммерческому и правительственному сетевому трафику. Эти системы демонстрируют недостаточную степень защиты передаваемой конфиденциальной информации по открытым каналам связи. Было показано, что злоумышленник с ограниченными ресурсами, используя коммерчески доступное, недорогое оборудование, может надежно перехватывать и декодировать сотни каналов связи с одной точки обзора. Вместе с тем, предпринимаются усилия для защиты особо чувствительных информационных потоков. В работе [2] рассмотрена возможность использования криптографических алгоритмов многослойного шифрования информационных массивов, отображающих геопространственную обстановку местности. Таким образом,

явно наблюдаются импульсы, стимулирующие разработку новых, надежных алгоритмов защиты геоанных. В настоящей работе предложен самосинхронизирующийся поточный алгоритм защиты [3], основанный на редукции произведения в амальгамах групп, который ввиду блочно-поточной структуры удобен для обеспечения безопасной передачи кортежей пространственно-временных данных.

Самосинхронизирующиеся поточные криптосистемы представляют собой разновидность симметричных поточных шифров. В этих системах генерация ключевого потока осуществляется на основе исходного ключа и предыдущих N символов зашифрованного текста. Это позволяет каждому зашифрованному символу быть корректно расшифрованным при условии, что предшествующие символы были правильно получены. Поскольку предложенная в работе схема соединяет в себе элементы поточной и блочной защиты информации, то ее безопасность во многом зависит от качества генератора потока ключей, а также от силы алгоритма и режима работы.

Концепция блоков обеспечивает безопасность процесса и автоматическую синхронизацию между отправителем и получателем. Кроме того, с помощью блочного шифра можно проверить подлинность сообщения: второй абонент, получив сообщение, зашифровывает его на секретном ключе и сравнивает полученный результат с последним блоком шифротекста, который отправил первый абонент. Так получатель удостоверяется, что сообщение не было подделано на узле связи.

Распознавание блоков в поточном шифровании обеспечивают синхронные маркеры, которые вставляются в передаваемое сообщение, это специальные сигналы в шифротексте, которые позволяют приемнику найти местоположение данных и восстановить состояние генератора ключа после ошибки, повышая надежность потокового шифрования. При потере части шифротекста система использует эти маркеры для возобновления корректной расшифровки. Принимающая сторона может расшифровывать данные в асинхронном режиме, не требуя синхронизации генераторов ключей на передающей и принимающей сторонах. Основное преимущество такой модели шифрования заключается в том, что ошибки, возникающие при вставке, удалении или изменении нескольких символов в зашифрованном тексте, не распространяются на последующие блоки данных, т.е. получатель будет иметь возможность корректно расшифровывать последующие блоки сообщения.

В настоящее время на практике для защиты данных широко применяются методы алгебраической криптографии, в частности, шифрование, использующее в качестве платформы различные группы. Многочисленные примеры можно встретить в работах [4,5].

В представленной работе в качестве платформы алгоритма защиты используются свободные произведения групп с объединенной подгруппой, которая не является абелевой, нормальной в сомножителях, порядок которой должен быть достаточно большим по сравнению с длиной блока, используемого при самосинхронизирующемся блочно-поточном режиме.

Установка алгоритма

Установочная схема аналогична описанной в работе [6]. Таким образом, задаются группы $G_1 = \langle A * B, H = K, \varphi \rangle$, $G_2 = \langle A * B, H = K, \psi \rangle$, где изоморфизм ψ сформирован в результате деления ключа, состоящего из пары ψ и элемента $k_0 \in K$. Исходный текст записывается в виде нормальной формы в группе G_1 , затем умножается на k_0 и после редукции произведения в группе G_2 формируется зашифрованный текст.

Принципиальное описание самосинхронизирующихся поточных криптосистем можно представить следующим образом [7]:

$$\sigma_i = (c_{i-t}, c_{i-t+1}, \dots, c_{i-1}),$$

$$k_i = f(\sigma_i, k),$$

$$c_i = h(k_i, m_i),$$

где $\sigma_0 = (c_{-t}, c_{-t+1}, \dots, c_{-1})$ – начальное (открытое) состояние, k – ключ, k_i – единицы поточного ключа, f – функция, производящая текущий ключ, h – функция шифрования, m_i – единицы исходного текста, c_i – единицы зашифрованного текста.

Опишем этот алгоритм шифрования применительно к выбранной платформе.

1. Пусть начальное (открытое) состояние системы задано фиксированным групповым словом, записанным нормальной формой в группе G_1

$$\sigma_0 = (c_{-t}, c_{-t+1}, \dots, c_{-1}),$$

шифрование потока здесь сводится к шифрованию блоков длиной, не большей длины σ_0 . Первый корреспондент, начиная справа, делит исходное сообщение на блоки. Если крайний левый блок имеет меньшую длину, в него добавляются символы, не несущие смысловой нагрузки, в количестве, обеспечивающем полный блок.

Для создания элементов поточного ключа первый корреспондент умножает крайний правый элемент σ_0

$$\sigma_0 = (a_t^\sigma) b_t^\sigma \dots, b_2^\sigma, a_1^\sigma, b_1^\sigma$$

на секретный множитель k_0 справа и приводит σ_0 к нормальной форме в группе G_2

$$\text{н. ф. } (\sigma_0 \cdot k_0)_{G_2} = (h_1) k_1 \cdot (\bar{a}_t^\sigma) \bar{b}_t^\sigma \dots, \bar{b}_2^\sigma, \bar{a}_1^\sigma, \bar{b}_1^\sigma \rightarrow k_1(h_1),$$

откуда выделяет полученного слева представителя объединенной подгруппы k_1 (или h_1).

Для шифрования первой буквы элемент k_1 (или $\varphi(h_1)$) перебрасывается через неё справа налево с изменением по правилу приведения к нормальной форме в группе G_2 , образующийся слева представитель объединенной подгруппы (k'_1) можно не вычислять

$$(b_1 \cdot k_1)_{G_2} = k'_1 \cdot \bar{b}_1 \rightarrow \bar{b}_1.$$

3. Для шифрования второй буквы σ_1 записывается с использованием полученного в предыдущем пункте результата шифрования

$$\sigma_1 = (a_t^\sigma) b_t^\sigma \dots, b_2^\sigma, a_1^\sigma, \bar{b}_1,$$

как и в п.2, правый элемент σ_1 умножается на k_0 справа и приводится к нормальной форме в группе G_2

$$\text{н. ф. } (\sigma_1 \cdot k_0)_{G_2} \rightarrow k_2,$$

откуда выделяет полученного слева представителя объединённой подгруппы k_2 (или h_2), который перебрасывается через неё справа налево с изменением по правилу приведения к нормальной форме в группе G_2

$$\text{н. ф. } (a_1 \cdot \psi^{-1}(k_2))_{G_2} = h'_2 \cdot \bar{a}_1 \rightarrow \bar{a}_1.$$

4. Для шифрования третьей буквы σ_2 записывается с использованием всех предыдущих результатов шифрования

$$\sigma_3 = (a_t^\sigma) b_t^\sigma \dots, b_2^\sigma, \bar{a}_1, \bar{b}_1,$$

и т.д.

Описанный алгоритм позволяет зашифровать каждый фрагмент исходного сообщения заданной длины независимо от остальных его частей (элементов, блоков). Поскольку для инициализации процедуры шифрования каждого блока используются одни и те же начальные условия в виде σ_0 и k_0 , то потеря или добавление единиц зашифрованного текста не повлияют на дешифровку следующего блока сообщения.

На рисунке 1 представлена схема описанного алгоритма самосинхронизирующегося режима

шифрования.

Опишем алгоритм дешифрования:

1. Второй корреспондент выделяет зашифрованный блок

$$(\bar{a}_t) \bar{b}_t, \dots, \bar{b}_2, \bar{a}_1, \bar{b}_1.$$

2. Корреспондент умножает крайний правый элемент σ_0 на k_0 справа и приводит его к нормальной форме в группе G_2

$$\text{н. ф. } (\sigma_0 \cdot k_0)_{G_2} = (h_1) k_1 \cdot (\bar{a}_t^\sigma) \bar{b}_t^\sigma \dots, \bar{b}_2^\sigma, \bar{a}_1^\sigma, \bar{b}_1^\sigma \rightarrow k_1(h_1),$$

откуда выделяет полученного слева представителя объединённой подгруппы k_1 (или h_1) и вычисляет ему обратный k_1^{-1} (или h_1^{-1}).

Для расшифровки первой буквы элемент k_1^{-1} (или $\varphi(h_1^{-1})$) перебрасывается через неё справа налево с изменением по правилу приведения к нормальной форме в группе G_2 , образующийся слева представитель объединённой подгруппы $(k'_1)^{-1}$ не вычисляется

$$(\bar{b}_1 \cdot k_1^{-1})_{G_2} = (k'_1)^{-1} \cdot b_1 \rightarrow b_1.$$

3. Для дешифрования второй буквы σ_1 записывается с использованием полученной от первого корреспондента шифровки

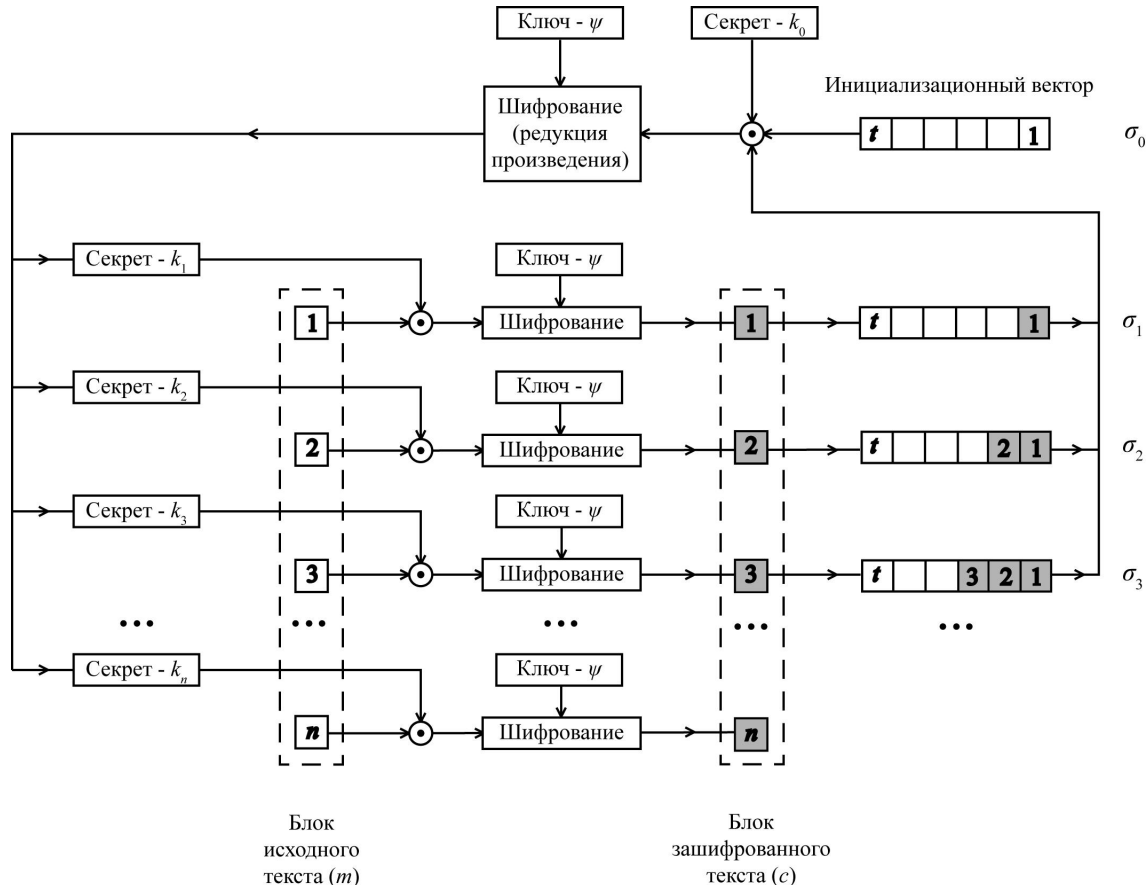


Рис. 1. Схема шифрования

$$\sigma_1 = (a_t^\sigma) b_t^\sigma \dots, b_2^\sigma, a_1^\sigma, \bar{b}_1,$$

далее правый элемент σ_1 домножается на k_0^{-1} справа и приводится к нормальной форме в группе G_2

$$\text{н. ф. } (\sigma_1 \cdot k_0^{-1})_{G_2} \rightarrow k_2^{-1},$$

откуда выделяет полученного слева представителя объединённой подгруппы k_2^{-1} (или h_2^{-1}), который перебрасывается через неё справа налево с изменением по правилу приведения к нормальной форме в группе G_2

$$\text{н. ф. } (\bar{a}_1 \cdot \psi^{-1}(k_2^{-1}))_{G_2} = (h'_2)^{-1} \cdot a_1 \rightarrow a_1,$$

4. Для дешифрования третьей буквы σ_2 записывается с использованием полученной от первого корреспондента шифровки

$$\sigma_3 = (a_t^\sigma) b_t^\sigma \dots, b_2^\sigma, \bar{a}_1, \bar{b}_1,$$

и т.д.

Рассмотрим пример использования алгоритма самосинхронизирующегося режима шифрования в случае групп подстановок.

Пример

Установка:

Абоненты выбрали группы $A=A_7$ и $B=A_7$, с подгруппами $H=A_6$ и $K=A_6$ ($H \subset A$ и $K \subset B$), объединёнными посредством изоморфизма

$$\varphi(h) = k_1 \cdot h \cdot k_1^{-1},$$

где $k_1=(1,2,6,5,3)$. Таким образом, задана группа

$$G_1=\langle A_7 * A_7, A_6=A_6, \varphi \rangle.$$

Известно, что группа A_7 является простой, а A_6 – некоммутативной. В соответствии с описанным алгоритмом, для формирования алфавита должны быть выбраны представители правых смежных классов в A и B , из которых формируется алфавит (см. табл. 1). Кроме того, устанавливают, что крайний справа элемент сообщения принадлежит группе B .

Далее абоненты надёжным образом обмениваются секретными элементами $k_0=(1,5,6,3,4)$, $k_\psi=(2,3,5,4,6)$, принадлежащими объединённой подгруппе, и формируют изоморфизм $\psi(h)=k_\psi \cdot \varphi(h) \cdot k_\psi^{-1}$ ($\psi: H \rightarrow K$). Таким образом, корреспонденты разделили группу

$$G_2=\langle A_7 * A_7, A_6=A_6, \psi \rangle.$$

Кроме того, абоненты открыто выбирают начальное состояние системы, пусть

$$\sigma_0=a_1, b_2, a_3, b_4, a_5, b_6.$$

Передача сообщения:

1. Первый абонент хочет передать сообщение следующего содержания: «Алим, Малик и Алики там камлала, клала и макала кита». Для этого он делит исходное сообщение на блоки длины 6, начиная справа (таб. 2).

Поскольку 7-ой блок оказался неполным, отправитель снабжает его дополнительными символами, соответствующими, например, последней шифруемой букве.

При шифровании одного блока сообщения, например, m_1 , выполняя п.1-2 алгоритма, получим $\bar{b}_1=b_6$, тогда $\sigma_1=a_1, b_2, a_3, b_4, a_5, \bar{b}_1=a_1, b_2, a_3, b_4, a_5, b_6$.

В соответствии с указаниями п.3, для второй буквы получим $\bar{a}_6=a_2$, тогда $\sigma_2=a_1, b_2, a_3, b_4, \bar{a}_6, \bar{b}_1=a_1, b_2, a_3, b_4, a_2, b_6$, и т.д.

Таблица 1

Используемый алфавит

№ п/п	Буква	Группа А		Группа В	
		Представитель	Обозначение	Представитель	Обозначение
1	А	(1,3,7,6)(2,4)	a_1	(1,6,2,4,5,3,7)	b_1
2	И	(1,7,3,5,6)	a_2	(1,4)(2,6,3)(5,7)	b_2
3	К	(1,5,3,2,6,7,4)	a_3	(1,4,2)(5,7,6)	b_3
4	Л	(1,7,5)(3,4,6)	a_4	(1,3,6,4,7,2,5)	b_4
5	М	(1,4,3,6,2,5,7)	a_5	(1,5,6,7,4)	b_5
6	Т	(2,3,5,6,7)	a_6	(1,2,4,7,3,5,6)	b_6

Таблица 2

А	А	А	Л	И	М	М	А	Л	И	К	И	А	Л	И	К	Т	А	М	К	А
a_1	b_1	a_1	b_4	a_2	b_5	a_3	b_1	a_4	b_2	a_3	b_2	a_1	b_4	a_2	b_3	a_6	b_1	a_5	b_3	a_1
m_7						m_6						m_5								
М	Л	А	Л	И	К	Л	А	Л	И	И	М	А	К	А	Л	И	К	И	Т	А
b_5	a_4	b_1	a_4	b_2	a_3	b_4	a_1	b_4	a_2	b_2	a_5	b_1	a_3	b_1	a_4	b_2	a_3	b_2	a_6	b_1
m_4			m_3					m_2						m_1						

Шифрованные блоки имеют вид (таб. 3).

2. Второй абонент получает шифрованные блоки $c_7, c_6, c_5, c_4, c_3, c_2, c_1$. При расшифровке одного блока сообщения, например, c_1 , выполняя п.1-2 алгоритма, получим $\bar{b}_4=b_1$, а $\sigma_1=a_1, b_2, a_3, b_4, a_5, \bar{b}_4=a_1, b_2, a_3, b_4, a_5, b_1$.

В соответствии с указаниями п.3, для второй буквы получим $\bar{a}_3=a_6$, а $\sigma_2=a_1, b_2, a_3, b_4, \bar{a}_3, \bar{b}_4=a_1, b_2, a_3, b_4, a_6, b_1$, и т.д. Тогда дешифрованный первый блок имеет вид

$$m_1=a_4, b_2, a_3, b_2, a_6, b_1,$$

аналогичная процедура выполняется для оставшихся 6-и блоков шифрованного сообщения.

В таблице 4 проанализирован результат шифрования по изменению количества отдельных букв алфавита по отношению к исходному тексту, и самих букв при шифровании.

По данным приведенной таблицы можно заключить: количество отдельных букв в исходном и шифрованном сообщениях не совпадают, без изменения («на месте») остались одна буква («Л») в 4-м блоке, одна буква («К») в 6-м блоке, одна буква («М») в 7-м блоке из общего числа 42 задействованных в сообщении.

Таблица 3

И	И	М	М	М	М	Т	И	Т	М	К	К	М	Т	М	Т	И	Т	К	Т	И
a_2	b_2	a_5	b_5	a_5	b_5	a_6	b_2	a_6	b_5	a_3	b_3	a_5	b_6	a_5	b_6	a_2	b_6	a_3	b_6	a_2
c_7						c_6						c_5								
А	Л	Т	Т	М	И	А	К	И	А	М	И	И	А	Т	М	Л	А	К	И	Т
b_1	a_4	b_6	a_6	b_5	a_2	b_1	a_3	b_2	a_1	b_5	a_2	b_2	a_1	b_6	a_5	b_4	a_1	b_3	a_2	b_6
c_4			c_3						c_2						c_1					

Таблица 4

Элементарный анализ результата по схеме самосинхронизирующегося шифрования

№ п/п	Буква	Количество в тексте		Кол-во не измен. место
		Исходный	Шифровка	
1	А	12	5	0
2	И	9	10	0
3	К	6	5	1
4	Л	8	2	1
5	М	5	10	1
6	Т	2	10	0

Заключение

Для повышения эффективности рассматриваемого алгоритма защиты следует использовать блоки большей длины. В этом случае большее число букв будет исправлено набором создаваемых при самосинхронизирующемся режиме секретных элементов объединенной подгруппы – поточным ключом для каждого блока, который получается при редукции произведения $(\sigma_i \cdot k_0)$. При реализации описанной процедуры защиты передачи данных использован классический вариант редукции произведения (см. [8-10]), применяющий правые смежные классы для записи нормальной формы, в этом случае работа алгоритма начинается с крайней правой буквы в блоке. При защите потоков, возможно, удобнее для задания нормальной формы элементов использовать левые смежные классы и соответствующую

такому заданию редукцию произведения, т.к. работа алгоритма при этом начинается с изменения крайней левой буквы блока.

В рассмотренном примере, ввиду ограниченности вычислительной мощности, использовался короткий алфавит, состоящий из 6-и букв, поэтому для использования традиционных алфавитов потребуется удлинение сообщений ввиду необходимости компенсации недостающих букв комбинациями элементов «квазиалфавита». Поскольку индекс $|A_n : A_{n-1}| = n$, а он отвечает за размер алфавита, то его возможная длина ограничивается только производительностью доступных вычислительных мощностей. Прогресс в области вычислительной техники, в частности появление квантовых компьютеров, в перспективе позволит использовать общеупотребительные алфавиты.

Благодарности

Автор благодарит преподавателя кафедры Высшей математики МИИГАиК Дергилёву А.Э. за ценные советы при написании статьи, а также за помощь в проведении экспериментов и обработке данных.

Список литературы

1. Wenyi Morty Zhang, Annie Dai, Keegan Ryan, Dave Levin, Nadia Heninger, and Aaron Schulman. 2025. Don't Look Up: There Are Sensitive Internal Links in the Clear on GEO Satellites. In Proceedings of the 2025 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (CCS '25), October 13–17. 2025. Taipei. Taiwan. ACM. New York. NY. USA. 19 pages. <https://doi.org/10.1145/3719027.3765198>.
2. Иванова К.В., Сальников А.Ф., Мормуль Р.В. Искусственный интеллект для контроля передачи данных в тактическом звене управления с использованием многослойного и многопоточного шифрования геопространственной обстановки // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2023. Вып. 2(61). С. 65-71. DOI: 10.17072/1993-0550-2023-2-65-71.
3. Панкратов И.В. О поточных и автоматных шифрсистемах с симметричным ключом // ПДМ. 2009. №3(5). С. 59-68.
4. Романьков В.А. Алгебраическая криптология: монография. Омск: ОмГУ. 2020. 262 с.
5. Дурнев В.Г., Зеткина О.В. Методы комбинаторной теории групп в современной криптографии. Ярославль: ЯрГУ. 2017. 52 с.
6. Лоссов К.И., Дергилёва А.Э. Синхронные криптосистемы для защиты пространственно-временных данных, использующие мультипликативную редукцию в свободных произведениях групп с объединением // Мониторинг. Наука и технологии. 2025. №4(66). С. 70-75.
7. Романьков В.А. Введение в криптографию. М.: ФОРУМ. 2012. 240 с.
8. Курош А.Г. Теория групп. М.: Наука. 1967. 648 с.
9. Магнус В., Каррас А., Солитэр Д. Комбинаторная теория групп. М.: Наука. 1974. 456 с.
10. Холл М. Теория групп. М.: Изд-во ин. л-ры. 1962. 467 с.

References

1. Wenyi Morty Zhang, Annie Dai, Keegan Ryan, Dave Levin, Nadia Heninger, and Aaron Schulman. 2025. Don't Look Up: There Are Sensitive Internal Links in the Clear on GEO Satellites. In Proceedings of the 2025 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (CCS '25), October 13–17. 2025. Taipei. Taiwan. ACM. New York. NY. USA. 19 pages. <https://doi.org/10.1145/3719027.3765198>.
2. Ivanova K.V., Sal'nikov A.F., Mormul' R.V. Artificial intelligence for data transmission control at the tactical command level using multi-layer and multi-stream encryption of the geospatial environment. *Vestnik Permskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Informatika*. 2023. No. 2(61). Pp. 65-71. DOI: 10.17072/1993-0550-2023-2-65-71.
3. Pankratov I.V. On stream and automaton cipher systems with a symmetric key. *PDM*. 2009. No. 3(5). Pp. 59-68.
4. Romankov V.A. *Algebraicheskaya kriptologiya: monografiya* [Algebraic Cryptology: A Monograph]. Omsk: Omsk State University. 2020. 262 p.
5. Durnev V.G., Zetkina O.V. *Metody kombinatornoy teorii grupp v sovremennoy kriptografii* [Methods of combinatorial group theory in modern cryptography]. Yaroslavl: Yaroslavl State University. 2017. 52 p.
6. Lossov K.I., Dergileva A.E. Synchronous cryptosystems for the protection of spatio-temporal data using multiplicative reduction in free products of groups with amalgamation. *Monitoring. Nauka i tekhnologii*. 2025. No. 4(66). Pp. 70-75.
7. Romankov V.A. *Vvedeniye v kriptografiyu* [Introduction to Cryptography]. Moscow: FORUM. 2012. 240 p.
8. Kurosh A.G. *Teoriya grupp* [Group theory]. Moscow: Nauka. 1967. 648 p.
9. Magnus V., Karras A., Solitaire D. *Kombinatornaya teoriya grupp* [Combinatorial group theory]. Moscow: Nauka. 1974. 456 p.
10. Holl M. *Teoriya grupp* [Group theory]. Moscow: Publishing house of foreign books. 1962. 467 p.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Лоссов Константин Иванович

кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой Высшей математики, Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Москва, Россия

Information about authors
Affiliations

Lossov Konstantin Ivanovich

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, the Chief of the Chair of Higher Mathematics, Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Moscow, Russia

Поступила в редакцию 06.02.2026 г.

ТЕНДЕНЦИИ ДИНАМИКИ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ ПРАВО-ЕГОРЛЫКСКОЙ ОБВОДНИТЕЛЬНО-ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

¹Дега Н.С., ²Марнополская Ю.Т.

¹*Карачаево-Черкесское региональное отделение ВОО Русского географического общества,
369202, Карачаевск, Россия*

²*ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355017, Ставрополь, Россия
e-mail: dega999@mail.ru*

В условиях глобального потепления и возрастающей значимости агропромышленного комплекса Ставропольского края, анализ климатических изменений на территории ключевых оросительных систем приобретает особую актуальность. Целью настоящей работы является выявление и анализ тенденций динамики основных климатических показателей на территории Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы (ПЕООС). В исследовании использованы мониторинговые данные метеостанций «Изобильный», «Красногвардейское» и «Дивное» с 1975 по 2024 гг. Установлено, что за исследуемый период произошло значимое потепление климата: среднегодовая температура воздуха повысилась на 2.5-2.6°C. В динамике осадков выявлена пространственная неоднородность – отмечается тенденция к их сокращению в степных и полупустынных ландшафтах системы (на 73-75 мм), в то время как в ландшафтах байрачных лесостепей их количество остается стабильным. Совокупность этих изменений свидетельствует об усилении аридности климата на большей части территории ПЕООС.

Ключевые слова: Право-Егорлыкская обводнительно-оросительная система, изменение климат, температура воздуха, атмосферные осадки, геоинформационные модели, аридность, Ставропольский край.

TRENDS OF CLIMATE DYNAMICS IN THE TERRITORY OF THE RIGHT-YEGORLYKSKAYA IRRIGATION SYSTEM

¹Dega N.S., ²Marnopolskaya Ju.T.

¹*Karachay-Cherkess regional office of the Russian geographical society,
369202, Karachayevsk, Russia*

²*North Caucasus Federal University, 355017, Stavropol, Russia*

In the context of global warming and the increasing importance of the agro-industrial complex of the Stavropol Territory, the analysis of climatic changes in the territory of key irrigation systems is becoming especially relevant. The purpose of this work is to identify and analyze trends in the dynamics of the main climatic indicators on the territory of the Right-Yegorlyk irrigation system. The study used monitoring data from the Izobilny, Krasnogvardeyskoye and Divnoye meteorological stations from 1975 to 2024. It was established that significant climate warming occurred during the study period: the average annual air temperature increased by 2.5-2.6°C. In the dynamics of precipitation, spatial heterogeneity was revealed - there is a tendency to reduce them in the steppe and semi-desert landscapes of the system (by 73-75 mm), while in the landscapes of bayrach forest-steppes their number remains stable. The combination of these changes indicates an increase in climate aridity in most of the system.

Keywords: Pravo-Yegorlykskaya irrigation system, climate change, air temperature, precipitation, geoinformation models, aridity, Stavropol Territory.

Введение

Ставропольский край один из важнейших аграрных регионов России. Доля сельскохозяйственных земель края составляет 87% от общей площади, при этом они характеризуются высокой степенью распаханности [1]. Большая часть территории края является зоной рискованного земледелия [2]. Развитие земледелия в крае подтолкнуло к строительству оросительных каналов. Право-Егорлыкская обводнительно-оросительная система (ПЕООС) является составной частью Кубань-Егорлыкской обводнительной системы, охватывает пять районов северо-восточной части Ставропольского края, два района Ростовской области и два района Калмыкии. Право-Егорлыкский канал магистральный канал ПЕООС. Источником питания системы является река Кубань. Головное сооружение канала

расположено в зоне неустойчивого увлажнения на Новотроицком водохранилище. Далее трасса проходит по зонам неустойчивого увлажнения Труновского и Красногвардейского муниципальных округов, затем переходит в засушливую зону Ипатовского муниципального округа и наконец, в крайне засушливую – Апанасенковского муниципального округа (рис. 1). Сброс осуществляется в реку Калаус в районе города Ипатово. Протяженность канала составляет 123 км [3].

Почвенно-климатические условия ПЕООС имеют зональные особенности. Они представлены чернозёмной и каштановой почвенными зонами и характеризуются изменением климатических условий с запада на восток. На территории ПЕООС выделяют три природные зоны: умеренно-засушливая степь с карбонатными чернозёмами (южными

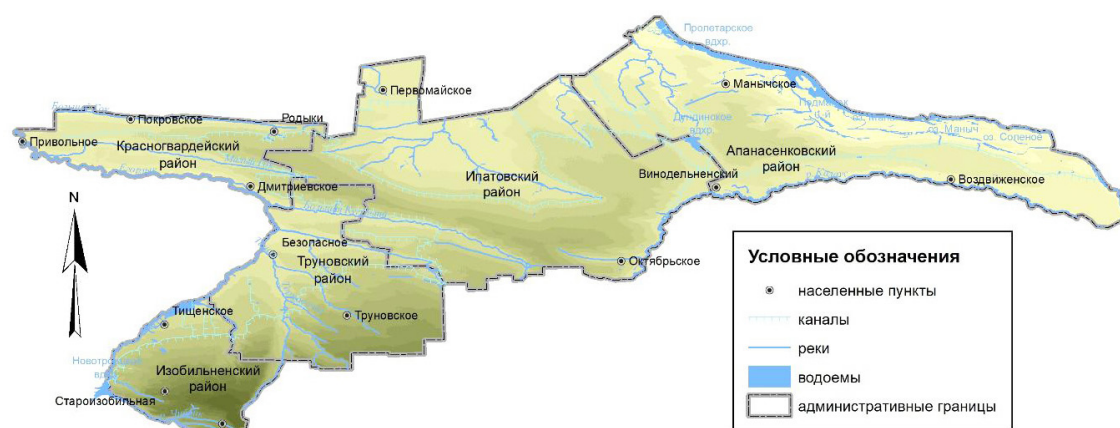


Рис. 1. Право-Егорлыкская обводнительно-оросительная система

и обыкновенными) – западная часть; сухая степь с темно-каштановыми и каштановыми почвами – центральная часть; полупустынная степь со светло-каштановыми почвами – восточная часть. Право-Егорлыкская обводнительно-оросительная система представлена тремя ландшафтными провинциями: степной, байрачных лесостепей и полупустынными ландшафтами Кумо-Манычской впадины [4].

В настоящее время отмечается глобальное потепление климата, которое в разных регионах имеет свои особенности. Так, анализ отклонений среднегодовой температуры воздуха по Ставропольскому краю от нормы показал её устойчивый рост. Начиная с 1998 г. по отдельным годам отклонение превышает $+1.5^{\circ}\text{C}$. Тренд годового количества осадков в среднем по территории края имеет восходящий характер и статистически достоверен; динамикой роста осадков 12 мм/10 лет [5-8].

Стратегическая важность Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы как инфраструктурной «артерии» для северо-востока края и сопредельных территорий, делает её уязвимой к колебаниям климата. Так, режим работы системы, объемы водоподачи, урожайность на орошаемых землях напрямую зависят от того сколько осадков выпадает и какова будет температура воздуха. Глобальное потепление климата приводит к усилению экстремальных событий. Короткие, но мощные ливни могут вызвать резкие паводки на реках. Таким образом, выявление и анализ современных климатических тенденций в зоне ПЕООС является необходимой научной основой для обеспечения устойчивого функционирования системы и продовольственной безопасности региона.

Цель исследования: выявить и проанализировать современные тенденции динамики климатических показателей на территории Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы.

Материал и методы исследования

В основу анализа были положены мониторинговые данные динамики основных метеорологических показателей трех метеостанций (м/с «Изо-

быльный», м/с «Красногвардейское», м/с «Дивное») Ставропольского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды филиал ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС».

В качестве исходных данных использованы сведения о среднемесячной температуре воздуха и годовым суммам осадков по трем метеостанциям. В программе Microsoft Excel вычислены средние многолетние значения температуры воздуха и атмосферных осадков, построены тренды тепло- влагообеспеченности.

Пространственный анализ и картографирование климатических изменений было выполнено в программе ArcGIS 10.5, с помощью модуля Spatial Analyst.

Основная часть

Согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации, в качестве нормы рекомендуется рассматривать не менее чем 30-летний период наблюдений за климатическими показателями [5]. Для выявления региональных особенностей изменения климата на территории Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы был рассмотрен период с 1975 по 2024 гг. на стационарных метеостанциях: м/с «Красногвардейское», м/с «Изобыльный», м/с «Дивное» (рис. 2).

Климат степных ландшафтов ПЕООС умеренно-континентальный с проявлениями засушливости. Его главные черты: резкое изменение климатических условий при движении с запада на восток, континентальность и засушливость. Зима здесь мягкая, но неустойчивая, лето жаркое и продолжительное. Годовое количество осадков уменьшается с запада на восток. На западе (умеренно-засушливая степь) осадков выпадает от 500 до 600 мм, в центральной части (сухая степь) 400-450 мм и на востоке (крайне засушливая степь) 400-350 мм и менее. Испаряемость значительно превышает количество осадков, особенно на востоке, что создает постоянный дефицит влаги [9-10]. В степных ландшафтах преобладают восточные и юго-восточные ветра, суховеи – характерное явление для региона.



Рис. 2. Ландшафтные провинции и ландшафты Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы

Для выявления особенностей климатической динамики в степной зоне ПЕООС были проанализированы сведения, полученные на метеостанции «Красногвардейское». На временном отрезке с 1975 по 2024 гг. по этим данным был рассчитан ряд среднегодовых температур, для которого был построен тренд, показывающий направление и интенсивность изменений (таблица 1).

Среднегодовая температура воздуха за исследуемый период повысилась на 2.5°C. Минимальные значения среднегодовых температур воздуха наблюдались в 1976 г. и 1993 г. (+8.9°C), а максимальные значения зарегистрированы в 2010 г. (+12.9°C) и 2024 г. (+13.2°C). На метеостанции «Красногвардейское» среднегодовое количество атмосферных осадков за многолетний период уменьшилось на 74.8 мм. Наименьшие годовые суммы осадков были зафиксированы в 1998 г. (411.4 мм) и в 2023 г. (357.0 мм).

В климатическом отношении байрачные лесостепи представляют собой переходную зону, где

климат становится более влажным, умеренным и контрастным, нежели в окружающих степных ландшафтах. Байрачные лесостепи приурочены к овражно-балочной системе, которая создает свой микроклимат. Северные склоны более прохладные, влажные, снег здесь тает медленнее. Южные, наоборот максимально прогреваются, климатические условия здесь ближе к засушливой степи. Днища балок защищены от ветра, здесь скапливается холодный воздух и влага от стока окружающих склонов. Для байрачных лесостепей характерны большая влажность и пониженная испаряемость из-за затененности на северных склонах и слабого ветра в днищах. Температурный режим более мягкий и стабильный. Склоны и изгибы балок являются естественными ветроломами, которые снижают скорость ветра.

Данные, полученные на метеостанции «Изобильный», легли в основу анализа динамики климата байрачных лесостепей. Средневзвешенные

Таблица 1

Изменение температуры воздуха и атмосферных осадков на метеостанциях, расположенных на территории Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы, за последние 38 лет

Название метеостанции	Температура воздуха, °C			Осадки, мм/год		
	Начальные показания тренда	Конечные показания тренда	Разница теплообеспеченности	Начальные показания тренда	Конечные показания тренда	Разница влагообеспеченности
Изобильный	9.8	12.4	+2.6	627.7	628.1	+0.4
Дивное	9.6	12.1	+2.5	476.7	403.8	-72.9
Красногвардейское	9.8	12.3	+2.5	592.0	517.2	-74.8

значения температуры воздуха с 1975 по 2024 гг. имеют тенденцию увеличиваться, т.е. в слое подстилающей поверхности отмечается потепление климата. Среднегодовая температура воздуха увеличилась на 2.6 °C. Минимальные значения среднегодовой температуры воздуха зарегистрированы в 1980 г. (+8.5 °C), а максимальные в 2010 г. и 2024 г. (+13.3 °C). Анализ осадков за исследуемый период выявил высокую межгодовую изменчивость. В наиболее влажные годы (1998 г., 1992 г. и 2004 г.) годовые суммы осадков превышали 850 мм, в то время как в засушливые периоды опускались до отметки в 450 мм. Несмотря на эти колебания, общий тренд за период оказался слабо положительным, с общим увеличением на 0.4 мм.

Климат полупустынных ландшафтов Кумо-Манычской впадины можно охарактеризовать как резко континентальный, крайне засушливый. Резко-континентальный климат с максимальной для ПЕ-ООС аридностью является отличительной чертой этой территории. Подтверждением этому служат холодные, малоснежные зимы и жаркие, продолжительные летние месяцы, что формирует годовую амплитуду температур свыше 30°C. Увлажнение крайне недостаточное: годовое количество осадков достигает минимальных для края значений, а дефи-

цит влаги усугубляется тем, что испаряемость в 2-3 раза превышает их объем [11]. Влажность воздуха очень низкая, особенно летом. Преобладают восточные и северо-восточные ветра, приносящие сухой воздух из Прикаспийской полупустыни [12]. Часто можно наблюдать суховеи и пыльные бури.

М/с «Дивное» находится на границе восточной части степных ландшафтов и полупустынных ландшафтов Кумо-Манычской впадины Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы. Среднегодовая температура воздуха увеличилась на 2.5°C за исследуемый период. Минимальные значения среднегодовой температуры воздуха зарегистрированы в 1980 г. (+7.4°C), максимальные в 2024 г. (+13.0°C). Годовая сумма атмосферных осадков понизилась на 72.9 мм. Засушливые годы наблюдались в 2012 г., 2014 г., 2019 г. и 2024 г., суммы осадков в эти годы не превышали 340 мм. Самым влажным был 2002 г., годовое количество осадков составило 586.3 мм.

Средние многолетние температуры воздуха и суммы атмосферных осадков были обработаны в модуле «Геостатистический анализ» программы Arc GIS и построены геоинформационные модели тепло- и влагообеспеченности Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы (рис. 4).

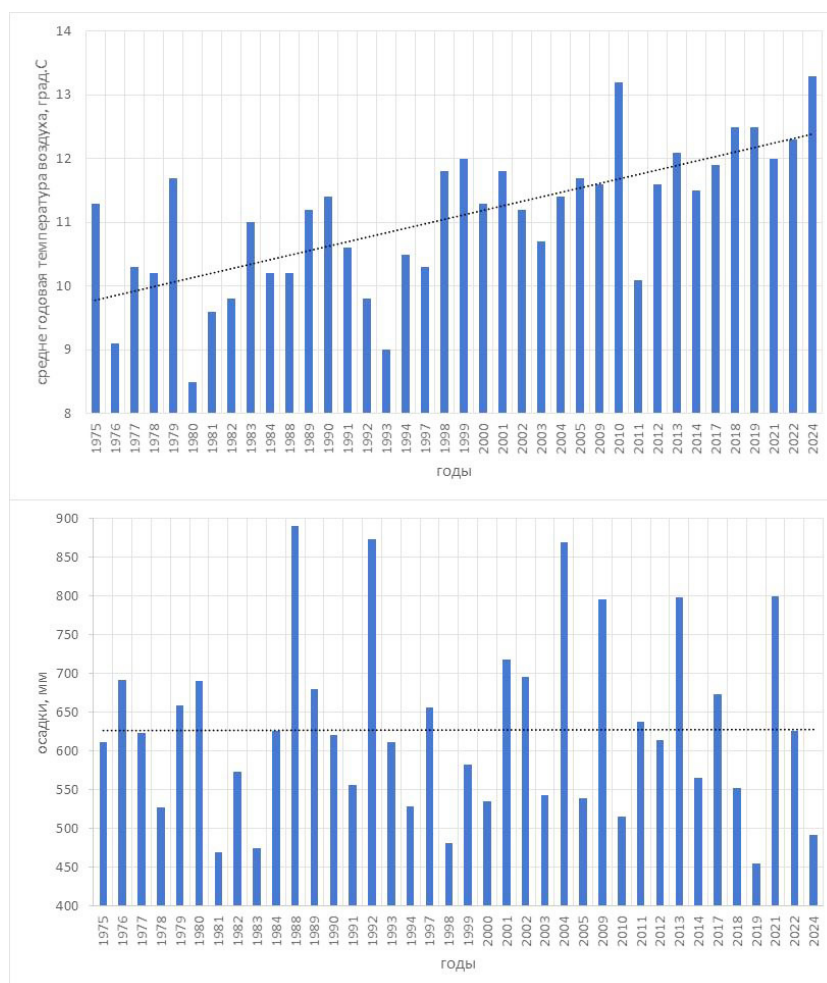


Рис. 3. Изменение тепло- и влагообеспеченности на м/с «Изобильный» в период с 1975 по 2024 гг.

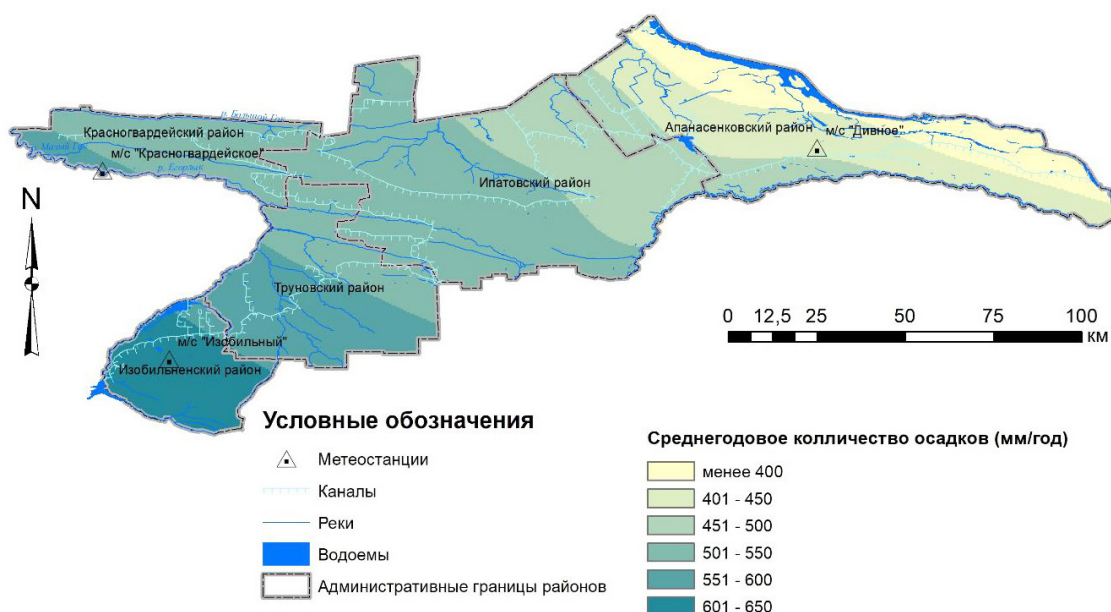


Рис. 4. Карта влагообеспеченности Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы

Изотермы на территории ПЕООС изменяются с запада на восток от 11.1°C до 10.6°C. В степных ландшафтах байрачных лесостепей среднегодовая температура воздуха изменяется от 11.0°C до 10.9°C, в полупустынных ландшафтах Кумо-Манычской впадины понижается до 10.6. Количество атмосферных осадков по территории ПЕООС также изменяется с запада на восток. Максимально увлажнены ландшафты байрачных степей (630 мм/год), самые засушливые – полупустынные ландшафты – и влагообеспеченность здесь составляет менее 400 мм в год.

Заключение

Проведенный анализ многолетней динамики климатических показателей на территории Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы за последние 30 лет позволил сделать следующие выводы:

1. На всех метеостанциях системы («Красногвардейское», «Изобильный», «Дивное») зафиксировано повышение среднегодовой температуры воздуха. Величина потепления составила от +2.5 до +2.6°C, что является существенным изменением для климатической нормы.

Список литературы

1. Антонов С.А., Каторгин И.Ю. Картографирование характеристик изменения климата в Ставропольском крае // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27. №3. С. 171-182. DOI 10.35595/2414-9179-2021-3-27-171-182.
2. Бадахова Г.Х. Границы зон увлажнения территории Ставропольского края в условиях современного климата // Инновационная наука. 2022. №9-1. С. 80-84.
3. Марнопольская Ю.Т. Влияние оросительной системы и климатических факторов на уровень грунтовых вод (на примере Правоегорлыкского канала) // Успехи современного естествознания. 2025. №1. С. 12-16. DOI 10.17513/use.38364.
4. Шальнев В.А., Лиховид А.А., Диденко П.А. Современные ландшафты Ставропольского края. Ставрополь. 2002. 227 с.
5. Антонов С.А. Тенденции изменения климата и их влияние на земледелие Ставропольского края // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. №4(66). С. 43-46.
6. Айдаров И.П., Голованов А.И., Мамаев М.Г. Оросительные мелиорации. М.: Колос. 1982. 176 с.
7. Каплан Г.Л. Исследование современных изменений регионального климата и их влияния на ландшафты Ставропольского края // Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. Ставрополь. 2010. 177 с.

2. Анализ выявил пространственную дифференциацию в динамике увлажнения на территории ПЕООС. Для степных и полупустынных ландшафтов Кумо-Манычской впадины установлен тренд на сокращение годовых осадков (на 74.8 мм и 72.9 мм), в то время как в байрачных лесостепях их объем остается практически неизменным. Данная динамика обуславливает усложнение гидротермических условий и усиление климатической контрастности между отдельными частями системы.

3. Совокупное влияние потепления климата, выраженное в росте среднегодовой температуры, и снижения количества атмосферных осадков на большей части территории, обуславливает увеличение дефицита влаги. Данный фактор, в свою очередь, способствует процессу аридизации климата.

4. Пространственный анализ, выполненный с помощью геоинформационных моделей, подтвердил наличие и тенденцию к усилению западно-восточного градиента термического и влажностного режимов. Данная пространственная закономерность полностью коррелирует с дифференциацией ландшафтов.

8. Василенко М.П. Анализ региональных особенностей динамики климата Ставропольского края // Материалы 13-й конференции членов Русского географического общества: «Вопросы географии и краеведения». Ставрополь: Северо-Кавказский ФНАЦ. 2021. Вып. 13. С. 5-10.
9. Бадахова Г.Х., Каплан Г.Л., Кравченко Н.А. Вариации и тренды увлажнения степных ландшафтов Ставропольского края // «Естественные и технические науки». 2009. №4 (42). С. 247-252.
10. Бадахова Г.Х. Основные характеристики холодного периода в степных ландшафтах Ставропольского края // Академическая публицистика. 2023. №3-1. С. 194-201.
11. Марнопольская Ю.Т., Дега Н.С. Влияние орошения на мелиоративное состояние земель (на примере Правоегорлыкской обводнительно-оросительной системы) // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Наука. Практика. Человек». М.: Мир науки. 2025. С. 75-79.
12. Бадахова Г.Х., Баркова М.В., Каплан Г.Л. Особенности изменчивости регионального климата сухостепных ландшафтов Ставропольского края // Известия вузов Северного Кавказа. 2014. №2. С. 81-85.

References

1. Antonov S.A., Katargin I.Yu. Mapping the characteristics of climate change in the Stavropol Territory. *InterKarto. InterGIS*. 2021. V. 27. No. 3. Pp. 171-182. DOI 10.35595/2414-9179-2021-3-27-171-182.
2. Badakhova G.Kh. Boundaries of zones of humidification of the territory of the Stavropol Territory in a modern climate. *Innovatsionnaya nauka*. 2022. No. 9-1. Pp. 80-84.
3. Marnopol'skaya Yu.T. The influence of the irrigation system and climatic factors on the groundwater level (on the example of the Right Gorlyk Canal). *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2025. No. 1. Pp. 12-16. DOI 10.17513/use.38364.
4. Shal'nev V.A., Likhovid A.A., Didenko P.A. *Sovremennye landshafty Stavropol'skogo kraya* [Modern landscapes of the Stavropol Territory]. Stavropol. 2002. 227 p.
5. Antonov S.A. Climate change trends and their impact on agriculture in Stavropol Krai. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. No. 4(66). Pp. 43-46.
6. Aydarov I.P., Golovanov A.I., Mamaev M.G. *Orositel'nye melioratsii* [Irrigation reclamation]. Moscow: Kolos. 1982. 176 p.
7. Kaplan G.L. Study of modern changes in the regional climate and their impact on the landscapes of the Stavropol Territory. *Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata geograficheskikh nauk*. Stavropol. 2010. 177 p.
8. Vasilenko M.P. *Analiz regional'nykh osobennostey dinamiki klimata Stavropol'skogo kraya* [Analysis of regional features of climate dynamics in Stavropol Krai]. Proceedings of the 13th Conference of Members of the Russian Geographical Society: «Problems of Geography and Regional Studies». Stavropol: North Caucasus Federal Scientific Research Center. 2021. Issue. 13. Pp. 5-10.
9. Badakhova G.Kh., Kaplan G.L., Kravchenko N.A. Variations and trends in humidification of steppe landscapes of the Stavropol Territory. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2009. No. 4 (42). Pp. 247-252.
10. Badakhova G. Kh. The main characteristics of the cold period in the steppe landscapes of the Stavropol Territory. *Akademicheskaya publitsistika*. 2023. No. 3-1. Pp. 194-201.
11. Marnopol'skaya Yu.T., Deга N.S. *Vliyanie orosheniya na meliorativnoe sostoyanie zemel' (na primere Pravoegorlykskoy obvodnitel'no-orositel'noy sistemy)* [The impact of irrigation on land reclamation (on the example of the Right Gorlyk irrigation system)]. All-Russian scientific and practical conference with international participation «Science. Practice. Man». Moscow: Mir Nauki. 2025. Pp. 75-79.
12. Badakhova G.Kh., Barokova M.V., Kaplan G.L. Features of the variability of the regional climate of the dry steppe landscapes of the Stavropol Territory. *Izvestiya vuzov Severnogo Kavkaza*. 2014. No. 2. Pp. 81-85.

Сведения об авторах Принадлежность к организации

Дега Наталья Сергеевна

кандидат географических наук, доцент Карачаево-Черкесское региональное отделение ВОО Русского географического общества, 369202, Карачаевск, Россия

Марнопольская Юлия Тахиржановна

соискатель, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355017, Ставрополь, Россия

Information about authors Affiliations

Dega Natalia Sergeevna

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Karachay-Cherkess Regional Office of the Russian Geographical Society, 369202, Karachaevesk, Russia

Marnopolskaya Julia Takhirzhanovna

Applicant, North Caucasus Federal University, 355017, Stavropol, Russia

Поступила в редакцию 20.02.2026 г.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫЯВЛЕНИЯ НАРУШЕНИЙ РАЗРЕШЕННОГО И ФАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

Байгобылов Д.В.

*ФГБУ «Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения
Российской академии наук», 683002, Петропавловск-Камчатский, Россия
e-mail: di-ma-b@mail.ru*

В последние годы в Российской Федерации наблюдается значительный рост нарушений, связанных с несоответствием между фактическим и разрешенным использованием объектов недвижимости. Целью данной работы является разработка программного модуля для возможности выявления таких нарушений. Предложена методика, основанная на автоматизированном анализе данных из Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН) и общедоступных картографических сервисов (Яндекс. Карты, 2GIS). Методика реализуется в виде программного модуля на платформе 1С:Предприятие. Модуль должен сопоставлять разрешенные виды деятельности с фактическим использованием объектов по ключевым параметрам – адресу, виду разрешенного использования и описанию деятельности. Предварительная апробация программного модуля показала его работоспособность, а также выявила стороны, которые подлежат доработке.

Ключевые слова: объект недвижимости, разрешенное использование, фактическое использование, нарушения, программный модуль, методика, анализ, 1С:Предприятие.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR SYSTEMATIZATION AND ANALYSIS OF VIOLATIONS OF THE PERMITTED AND ACTUAL USE OF REAL ESTATE

Baigobylov D.V.

*Scientific Research Geotechnological Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of
Sciences, 683002, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

In recent years, there has been a significant increase in violations related to the discrepancy between the actual and permitted use of real estate in the Russian Federation. The purpose of this work is to develop a software module for detecting such violations. A methodology based on automated analysis of data from the Unified State Register of Real Estate (USRRE) and public mapping services (Yandex. Maps, 2GIS) has been proposed. The methodology is implemented as a software module on the 1C:Enterprise platform. The module should match the permitted activities with the actual use of the objects based on key parameters such as address, permitted use, and activity description. The preliminary testing of the software module has demonstrated its functionality and identified areas that require further development.

Keywords: real estate object, permitted use, actual use, violations, software module, methodology, analysis, 1C:Enterprise.

Введение

В последние годы в Российской Федерации наблюдается значительный рост количества нарушений, связанных с несоответствием между фактическим и разрешенным использованием объектов недвижимости. Эти нарушения не только подрывают основы правового регулирования, но и приводят к значительным экономическим убыткам, таким как уменьшение налоговых поступлений в бюджеты различных уровней и ухудшение социального климата в регионах [1].

Целью данной работы является разработка программного модуля для возможности выявления нарушений, связанных с несоответствием между фактическим и разрешенным использованием объектов недвижимости.

Современная практика показывает, что без четкой методологии контроля и систематизации нарушений, информация о фактическом использовании объектов недвижимости остается фрагментарной

и плохо структурированной. Это затрудняет работу органов надзора, так как без единого подхода к анализу невозможно оперативно реагировать на случаи правонарушений, а также разрабатывать адекватные меры воздействия [2].

Гипотеза исследования основана на предположении, что системный анализ и автоматическое выявление нарушений фактического использования объектов недвижимости способны существенно повысить эффективность контроля и предотвращения подобных нарушений.

В Российской Федерации широко используются беспилотные летательные аппараты для выявления нарушений, либо личный выезд сотрудников Росреестра в рамках контрольных мероприятий или заявлений граждан. До сегодняшнего дня нет постоянно действующего механизма по мониторингу сохранения/изменения назначений объектов недвижимости [3]. Все меры, предпринимаемые со стороны государства, реализуются только с учетом поступивших

жалоб, обращений и предложений от граждан, а также на основе анализа текущей ситуации и экспертных оценок. Это подчеркивает важность и необходимость изучения вопроса сохранения вида разрешенного использования объекта недвижимости с технической стороны [4].

Научная новизна данного исследования заключается в создании комплексной структурированной системы, обеспечивающей автоматическое выявление несоответствий. В отличие от существующих подходов, которые зачастую характеризуются фрагментарностью и недостаточной детализированностью, предложенная методика обеспечивает комплексный подход к учету и предотвращению несоответствий между фактическим и разрешенным использованием объектов недвижимости.

Основная часть

Недвижимость в современном праве представляет собой один из наиболее значимых объектов гражданских правоотношений, включая в себя различные ценности и ресурсы. Понятие недвижимости охватывает не только земельные участки, но и здания, сооружения, а также иные объекты, которые благодаря своим физическим и юридическим характеристикам подлежат специальному правовому режиму [5]. В соответствии с Гражданским кодексом Российской Федерации к недвижимости относятся земельные участки, участки недр, объекты, связанные с землей, и иные предметы, которые не могут быть передвинуты без ущерба для их назначения [6].

Понимание базового понятия и видов объектов недвижимости, а также особенностей их правового режима, предоставляет необходимую основу для анализа практики фактического и разрешенного использования объектов. Это знание критически важно для дальнейшего обсуждения существующих проблем в области контроля над использованием недвижимости и разработки эффективных методов их предотвращения [7].

Разрешенное и фактическое использование объектов недвижимости – это два ключевых понятия, которые определяют степень соответствия архитектурным, строительным и земельным нормам, установленным законодательством [8]. Сравнительный анализ позволяет выявить основные различия и взаимосвязь между ними, а также определить причины возможных нарушений в использовании недвижимости.

Разрешенное использование объектов недвижимости – это виды деятельности, которые законодательно могут осуществляться на конкретном объекте. Эти виды использования определяются градостроительными Регламентами, проектами землеустройства и другими нормативными актами. Кроме того, разрешенное использование может быть строго прописано и ограничено условиями, установленными в документации на объект – это

могут быть нормативы по высоте зданий, удаленности от соседних объектов и прочие параметры [9].

Фактическое использование, в свою очередь, отражает реальное состояние объекта и то, как он используется на практике. Это может включать в себя любые виды деятельности, которые реально осуществляются на объекте, даже если они не соответствуют установленным нормам. Подобные случаи приносят сложности в контроль и регулирование использования объектов недвижимости, так как фактический статус может отличаться от разрешенного [10].

Основным отличительным признаком между разрешенным и фактическим использованием является законность. Разрешенное использование обеспечивает легитимность деятельности, в то время как фактическое использование может быть основано на правонарушении – использовании объекта в целях, не предусмотренных нормативными актами. Это различие ведет к необходимости формирования системы контроля, которая будет направлена на выявление несоответствий между этими понятиями [11].

Ситуация, когда фактическое использование выходит за рамки разрешенного, может представлять собой не только нарушение норм, но и риск для здоровья и безопасности окружающих, а также для самого владельца объекта, что приводит к юридическим последствиям [12].

Разработка единой методики анализа и систематизации нарушений фактического использования объектов недвижимости требует четкого определения ключевых требований и последовательных этапов, обеспечивающих ее практическую реализуемость и эффективность.

Программный модуль создается на базе программы 1С:Предприятие, так как данный программный продукт является лицензионным и полностью российским. Задача программного модуля – сравнительный анализ данных из Росреестра и данных из общедоступных картографических сервисов (на платной основе, согласно лицензионным соглашениям), размещенных в сети Интернет (Яндекс карты и 2GIS). Данные из Росреестра будут выгружаться поквартально (имеется в виду – кадастрового деления территории) с помощью XML-файлов (кадастровый план территории). Файл кадастрового плана территории в формате XML будет получен через сайт Росреестра. XML (расширяемый язык разметки) является универсальным форматом файлов, который позволяет представлять данные в структурированном виде.

Структура логической модели XML-файла состоит из строк и представлена элементами и, при необходимости, атрибутами XML (тегами), а также их значениями. Элемент – составная часть XML-документа, представляющая собой некоторую

законченную смысловую единицу. Элемент может содержать один или несколько вложенных элементов и, при необходимости, атрибуты – составной элемент (элемент сложного типа). Элемент, не содержащий в себе другие элементы/атрибуты – простой элемент (элемент простого типа). Атрибут представляет собой составную часть элемента, уточняющую свойства элемента, несущую дополнительную информацию об элементе. Атрибут всегда определяется как простой тип. Описание структуры XML-схемы файла обмена приводится в табличной форме. Список сокращений, используемых в тексте таблиц описания структуры XML-файла: ЕЗ – единое землепользование; МЗУ – многоконтурный земельный участок; ЗУ – земельный участок; ОКАТО – Общероссийский классификатор объектов административно-территориального деления; КЛАДР – Классификатор адресов России; ОКТМО – Общероссийский классификатор территорий муниципальных образований; ФИАС – Федеральная информационная адресная система; ЕГРН – Единый государственный реестр недвижимости. Далее XML файл будет сконвертирован в XLS формат.

Данные из общедоступных картографических сервисов (2GIS или Яндекс карты) будут получены путем парсинга с соответствующих сайтов. Парсинг реализуется на платной основе и его стоимость рассчитывается индивидуально. На выходе они будут представлены в форме csv таблиц или xls таблиц:

Таблица CSV/XLSX содержит следующие поля для каждой организации:

- Наименование
- Описание
- Список дополненных рубрик
- Адрес
- Почтовый индекс
- Микрорайон, район, город, округ, регион, страна
- Часы работы
- Часовой пояс
- Рейтинг
- Количество отзывов
- Номера телефонов
- Адреса электронной почты
- Адреса веб-сайтов
- Адреса соц-сетей

Они будут загружены в промежуточную Базу данных (1С:Предприятие) для анализа и сопоставления по ключевым полям (адресная строка) с целью выявления несоответствий, которые в дальнейшем будут обработаны оператором на предмет заключения по выявленным несоответствиям для определения нарушений.

Для достижения поставленной цели разработан план действий:

1. Определение целей тестирования и необходимых проверок. Здесь важно четко сформулиро-

вать, что именно требуется проверить и какие результаты ожидаются.

2. Создание структуры файлов. Необходимо определить элементы и атрибуты, которые будут использоваться для описания тестов и результатов их выполнения.

3. Заполнение базы данных (БД) данными. Для каждого теста необходимо указать его параметры, ожидаемые результаты и другую необходимую информацию.

4. Проверка корректности. Перед использованием созданного программного модуля следует убедиться, что он соответствует требуемой структуре Базы данных и содержит все необходимые данные.

5. Сохранение результатов в различных формах и видах. После проверки программного модуля результат можно сохранить и сформировать Акт о несоответствии вида использования объекта.

Техническое задание:

СРЕДА РАЗРАБОТКИ: 1С:Предприятие 8.3

Этапы разработки:

А. Справочники

1. Создание в ПО справочника ФИАС (федеральная государственная информационная система, обеспечивающая формирование, ведение и использование содержащихся в государственном адресном реестре сведений об адресах). Разработать механизм обновления данного справочника с сайта налоговой инспекции или других источников посредством файлового обмена. Для простоты пользования справочником предусмотреть режим загрузки в справочник по определенному региону. Например – 41. КАМЧАТСКИЙ КРАЙ.

В ФИАС должны входить следующие реквизиты: ИНДЕКС, РЕГИОН, РАЙОН, ГОРОД, НАСЕЛЕННЫЙ ПУНКТ, УЛИЦА, ДОМ, КОРПУС, СТРОЕНИЕ, КВАРТИРА, ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АДРЕСА.

Дополнить ФИАС реквизитом АНАЛОГИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АДРЕСА, для описания альтернативных написаний адресов. Данный реквизит должен быть в виде справочника, для внесения в БД нескольких интерпретаций адреса.

2. Создание справочника АНАЛОГИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АДРЕСА. Установить подчинение данного справочника элементу справочника ФИАС.

3. Создание справочника АНАЛОГИ РАЗРЕШЕННЫХ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, для описания альтернативных написаний разрешенных видов деятельности.

4. Создание справочника РАЗРЕШЕННЫЕ ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. Разработать механизм обновления данного справочника с сайта Росреестра или других источников посредством файлового обмена. В карточке элемента справочника создать табличную часть, в которую можно заносить множество элементов из справочника АНАЛОГИ

РАЗРЕШЕННЫХ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

5. Создание справочника СОТРУДНИК. Для упорядочивания документов проверки в поле ОТВЕТСТВЕННЫЙ указывается сотрудник, проводящий проверку (текущий пользователь БД).

6. Создание справочника ПРЕДПРИНИМАЕМЫЕ МЕРЫ. Например: ПРОВЕРИТЬ, УТОЧНИТЬ, НЕ ПРОВЕРЯТЬ и т.д.

7. Создание справочника ОБЪЕКТЫ РОСРЕЕСТРА. Содержит следующие обязательные поля: КАДАСТРОВЫЙ НОМЕР, ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АДРЕСА, РАЗРЕШЕННЫЕ ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. Загрузка в справочник происходит посредством файлового обмена с сайта Росреестра или других источников.

Табличная часть имеет следующий вид (рис. 1).

Б. Документы

1. Создать документ ЗАДАНИЕ НА ПРОВЕРКУ РАЗРЕШЕННЫХ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

При создании документа автоматически проверять актуальность справочников: ФИАС, РАЗРЕШЕННЫЕ ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. Под актуальностью понимается дата последней загрузки из внешних источников. Если загрузка происходила позднее 30 дней, то предлагать пользователю актуализировать вышеуказанные справочники (загрузить).

В Шапке документа указать следующие реквизиты: ДАТА, НОМЕР, РЕГИОН, РАЙОН, ГОРОД, НАСЕЛЕННЫЙ ПУНКТ, ОТВЕТСТВЕННЫЙ, РАЗРЕШЕННЫЕ ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

Реквизиты: ДАТА, НОМЕР, ОТВЕТСТВЕННЫЙ – проставляются автоматически, остальные заполняются пользователем.

Реквизиты: РЕГИОН, РАЙОН, ГОРОД, НАСЕЛЕННЫЙ ПУНКТ – имеют привязку к справочнику ФИАС.

Реквизиты РАЗРЕШЕННЫЕ ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ – имеют привязку к справочнику РАЗРЕШЕННЫЕ ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Реквизиты: ОТВЕТСТВЕННЫЙ – имеют при-

вязку к справочнику СОТРУДНИК

Услуги из Источника А – представляют информацию по данным «Яндекс.Карты». Загрузка данных в это поле происходит посредством парсинга (процесс автоматизированного сбора информации). Необходимо разработать механизм загрузки данных с «Яндекс.Карт» через формат YMapsML.

Услуги из Источника Б – представляют информацию по данным «2GIS». Парсинг осуществляется посредством библиотеки «jQuery» на JavaScript. Разработать механизм загрузки данных, полученных «jQuery», в БД.

Провести объединение информации, полученной из «Яндекс» и «2GIS» в следующих реквизитах: НАЗВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ, ГРАФИК РАБОТЫ, ТЕЛЕФОН, САЙТ, ПРОФИЛИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ.

Разработать процедуру формирования табличной части по нажатию кнопки АНАЛИЗИРОВАТЬ. Алгоритм предполагается следующий:

Ключом сопоставления объектов является поле ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АДРЕСА из справочника ОБЪЕКТЫ РОСРЕЕСТРА. Анализ происходит только по тем объектам, где есть совпадение по одному из источников («Яндекс. Карты», «2GIS»). Также в процедуру включить проверку по совпадению со справочником АНАЛОГИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АДРЕСА. Далее происходит сравнение информации из справочника ОБЪЕКТЫ РОСРЕЕСТРА (поле РАЗРЕШЕННЫЕ ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ) с информацией из полей УСЛУГИ ИЗ ИСТОЧНИКА А, УСЛУГИ ИЗ ИСТОЧНИКА Б. После проведения анализа необходимо выделить определенным цветом строки табличной части по следующему принципу: НЕ выделять цветом – совпала информация из всех 3 полей, желтый цвет – информация совпала по 2 полям, красный цвет – информация не совпала. Также в процедуру включить проверку по совпадению со справочником АНАЛОГИ РАЗРЕШЕННЫХ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. Также учесть, что анализ должен проводиться исходя из параметров

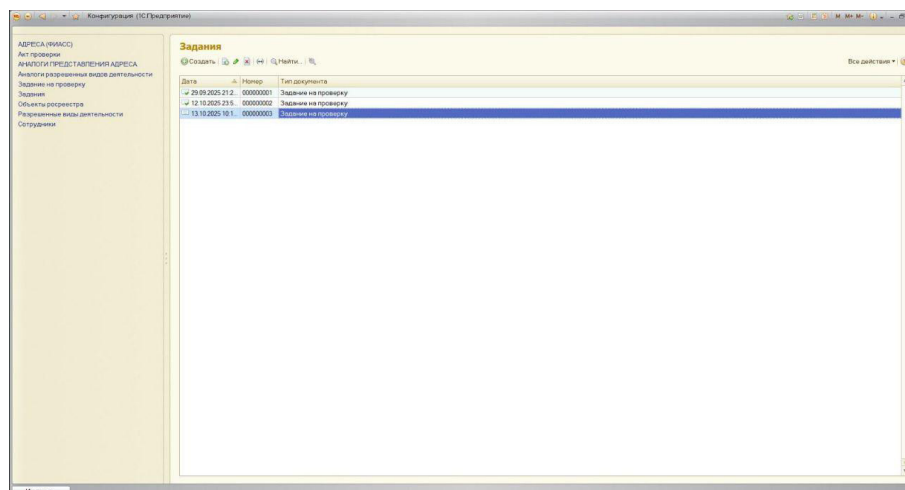


Рис. 1. Интерфейс программного модуля в 1С:Предприятие 8.3

(полей), указанных в шапке документа, а именно: РЕГИОН, РАЙОН, ГОРОД, НАСЕЛЕННЫЙ ПУНКТ. На этом формирование табличной части заканчивается. Далее сотрудник анализирует данные, (пользуясь цветовой подсказкой) и в каждой строке табличной части указывает предпринимаемые меры (из справочника ПРЕДПРИНИМАЕМЫЕ МЕРЫ).

Далее по кнопке СОЗДАТЬ АКТЫ ПРОВЕРКИ происходит автоматическое создание документов АКТ ПРОВЕРКИ.

2. Создать документ АКТ ПРОВЕРКИ

В Шапке документа создать следующие реквизиты: ДАТА, НОМЕР, РЕГИОН, РАЙОН, ГОРОД, НАСЕЛЕННЫЙ ПУНКТ, ОТВЕТСТВЕННЫЙ.

Все поля заполняются автоматически, кроме РЕЗУЛЬТАТ ПРОВЕРКИ. Разработать печатные формы согласно требованиям заказчика и действующего законодательства.

3. Создать документ МАРШРУТНЫЙ ЛИСТ

В Шапке документа указать следующие реквизиты: ДАТА, НОМЕР, ОТВЕТСТВЕННЫЙ, ВРЕМЯ ОДНОЙ ПРОВЕРКИ. Реквизит ВРЕМЯ ОДНОЙ ПРОВЕРКИ указывается в минутах пользователем. Маршрутный лист создается на один день. Количество объектов проверки рассчитывается автоматически, исходя из графика работы проверяющего и графика работы организаций и времени проверки (заданное пользователем). Маршрут должен прокладываться автоматически с оптимальным по времени образом.

В. Отчетные формы.

Оценка эффективности программного модуля по выявлению нарушений фактического использования объектов недвижимости представляет собой важный этап в подтверждении его целесообразности и практической применимости. В данной ча-

сти работы анализируются результаты применения предложенной методики, что позволяет объективно проанализировать ее действенность и выявить существующие недостатки.

Для предварительной оценки были выбраны несколько объектов недвижимости, находящихся в различных условиях эксплуатации на территории Камчатского края. В результате анализа оказалось, что методика позволяет справляться с поставленными задачами, но требует доработки самого программного модуля. Одна из трудностей – это частичное отсутствие в сведениях ЕГРН (кадастрового плана территории) разрешенного использования некоторых объектов капитального строительства. Вторая – это различное написание адресной принадлежности объектов в сравниваемых источниках.

Закключение

В результате применения программного модуля удалось выявить случаи несоответствий фактического использования недвижимости разрешенному, что подтверждает его эффективность в практическом применении.

Итоги проведенной работы подтверждают, что внедрение авторской методики систематизации и анализа нарушений фактического использования объектов недвижимости может существенно повысить качество контроля за соблюдением норм и стандартов в этой области. Разработка, с учетом устранения выявленных трудностей и внедрение предложенной методики создаст устойчивую основу для более эффективного управления недвижимостью и контроля за использованием объектов, что внесет позитивный вклад в правоприменительную практику. Также актуальным будет проведение исследований, направленных на оценку социальных и экономических последствий применения методики.

Список литературы

1. Григорьев В.В., Сосновский С.А. Практические проблемы обложения объектов недвижимости налогом на имущество организаций по кадастровой стоимости // Арбитражные споры. 2025. №1(109). С. 5.
2. Рулева Н.П., Гвоздева О.В., Емельянова Е.М. О достоверности сведений, содержащихся в едином государственном реестре недвижимости // Московский экономический журнал. 2022. Т. 7. №5. DOI 10.55186/2413046X_2022_7_5_321.
3. Махт В.А., Катанова К.С. Фактор «вид разрешенного использования» при государственной кадастровой оценке земель населенных пунктов / В.А. Махт, К.С. Катанова // Актуальные проблемы геодезии, землеустройства и кадастра: Сборник материалов VI Региональной научно-практической конференции, Омск, 30 мая 2024 года. Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина. 2024. С. 197-200.
4. Дерюгина Т.В. Об основаниях и способах прекращения права собственности на недвижимость: комментарий последних изменений Гражданского кодекса РФ // Цивилист. 2023. №5 С. 49-54.
5. Agnieszka Cienciała, Katarzyna Sobolewska-Mikulska, Szymon Sobura. Credibility of the cadastral data on land use and the methodology for their verification and update. Land Use Policy. Volume 102. March 2021.
6. Шишкина В.А., Грибова И.С. Создание ГИС для управления предприятием на основе данных, полученных в результате лазерного наземного и воздушного сканирования // Студенческие научные работы землеустроительного факультета: материалы Всерос. студ. конф. 2019. С. 173-176.
7. Желясков А.Л., Калабина М.В. Разработка универсального классификатора объектов недвижимого имущества как основы налогообложения имущества в регионе (на примере Пермского края) // Кадастр недвижимости, геодезия, организация землепользования: опыт практического применения: Материалы всероссийской (национальной) заочной научно-практической конференции, Барнаул, 20 апреля 2022 года. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет. 2022. С. 122-128.
8. Черняев Е.С. Предоставление разрешения на условно разрешенный вид использования земельного участка или объекта капитального строительства // Инновации молодых – развитию сельского хозяйства: Материалы 58 Всероссийской научной студенческой конференции. В 3-х частях, Усурийск, 10-18 марта 2022 года / Отв. редактор И.И. Бородин. Том Часть II. Усурийск: Приморская государственная сельскохозяйственная академия. 2022. С. 146-149.

9. Мошко Д.А., Струсь С.С. Теоретическое и правовое обоснование государственного кадастрового учета земельных участков // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 77-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2021 год. В 3-х частях, Краснодар, 01 марта 2022 года / Отв. за выпуск А.Г. Кошаев. Том Часть 1. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина. 2022. С. 676-678.
10. Кирюникова Н.М., Носик Е.С., Грибова И.С. ГИС как инструмент анализа несоответствия фактического и разрешенного вида использования объектов недвижимости // Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных отношений: Сборник статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 24 апреля 2020 года / Отв. за выпуск Е.В. Яроцкая. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина. 2020. С. 597-603.
11. Пирогова О.Е., Файзуллин М.И. Разработка методики оценки наиболее эффективного использования земельного участка // Международный научный журнал. 2022. №4(85). С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4638-2022-85-4-17-26.
12. Осенняя А.В., Заровная Л.С., Хахук Б.А. Классификация видов разрешенного использования объектов недвижимости в городских территориях // Современное промышленное и гражданское строительство. 2017. Т. 13. №4. С. 189-196.

References

1. Grigor'ev V.V., Sosnovskiy S.A. Practical Issues of Taxing Organizations' Real Estate Based on Cadastral Value. *Arbitrazhnye spory*. 2025. No. 1(109). Pp. 5.
2. Ruleva N.P., Gvozdeva O.V., Emel'yanova E.M. On the Reliability of Information Contained in the Unified State Register of Real Estate. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal*. 2022. V. 7. No. 5. DOI 10.55186/2413046X_2022_7_5_321.
3. Makht V.A., Katanova K.S. The «Permitted Use» Factor in State Cadastral Valuation of Land in Urban Settlements. *Aktual'nye problemy geodezii, zemleustroystva i kadastra: Sbornik materialov VI Regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Omsk, 30 maya 2024 goda. Omsk: Omskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. P. A. Stolypina*. 2024. Pp. 197-200.
4. Deryugina T.V. On the Grounds and Methods of Terminating Property Rights to Real Estate: Commentary on Recent Amendments to the Civil Code of the Russian Federation. *Tsivilist*. 2023. No. 5 Pp. 49-54.
5. Agnieszka Cienciała, Katarzyna Sobolewska-Mikulska, Szymon Sobura. Credibility of the cadastral data on land use and the methodology for their verification and update. *Land Use Policy*. Volume 102. March 2021.
6. Shishkina V.A., Gribova I.S. Development of a GIS for Enterprise Management Based on Data Obtained from Terrestrial and Aerial Laser Scanning. *Studencheskie nauchnye raboty zemleustroitel'nogo fakul'teta: materialy Vseross. stud. konf.* 2019. Pp. 173-176.
7. Zhelyaskov A.L., Kalabina M.V. Development of a Universal Classifier of Real Estate Objects as a Basis for Property Taxation in the Region (Case Study of Perm Krai). *Kadastr nedvizhimosti, geodeziya, organizatsiya zemlepol'zovaniya: opyt prakticheskogo primeneniya: Materialy vserossiyskoy (natsional'noy) zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Barnaul, 20 aprelya 2022 goda. Barnaul: Altayskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet*. 2022. Pp. 122-128.
8. Chernyaev E.S. Granting Permission for Conditionally Permitted Use of a Land Plot or Capital Construction Object. *Innovatsii molodykh – razvitiyu selskogo khozyaystva: Materialy 58 Vserossiyskoy nauchnoy studencheskoy konferentsii. V 3-kh chastakh, Ussuriysk, 10-18 marta 2022 goda / Otв. redaktor I.I. Borodin. Vol. Chast' II. Ussuriysk: Primorskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya*. 2022. Pp. 146-149.
9. Moshko D.A., Strus' S.S. Theoretical and Legal Basis for State Cadastral Registration of Land Plots. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa: Sbornik statey po materialam 77-y nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov po itogam NIR za 2021 god. V 3-kh chastakh, Krasnodar, 01 marta 2022 goda / Otв. za vypusk A.G. Koshchayev. Vol. Chast' I. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni I.T. Trubilina*. 2022. Pp. 676-678.
10. Kiryunikova N.M., Nosik E.S., Gribova I.S. GIS as a Tool for Analyzing Discrepancies Between Actual and Permitted Use of Real Estate Objects. *Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy: Sbornik statey po materialam II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Krasnodar, 24 aprelya 2020 goda / Otв. za vypusk E.V. Yarotskaya. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni I.T. Trubilina*. 2020. С. 597-603.
11. Pirogova O.E., Fayzullin M.I. Development of a Methodology for Assessing the Highest and Best Use of a Land Plot. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal*. 2022. No. 4(85). Pp. 17-26. DOI 10.34286/1995-4638-2022-85-4-17-26.
12. Osennaya A.V., Zarovnaya L.S., Khakhuk B.A. Classification of Permitted Uses of Real Estate in Urban Areas. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. V. 13. No. 4. Pp. 189-196.

Сведения об авторах Принадлежность к организации

Байгобылов Дмитрий Владимирович

аспирант ФГБУ «Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук», 683002, Петропавловск-Камчатский, Россия

Information about authors Affiliations

Baigobylov Dmitry Vladimirovich

Postgraduate Student, Scientific Research Geotechnological Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 683002, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Поступила в редакцию 12.12.2025 г.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ

Джэндубаев З.А.-З.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»», 111250, Москва, Россия
e-mail: dzhendubaevzurab@gmail.com

В условиях холодного климата и ограниченной доступности сетевого газа значительная часть индивидуального жилищного фонда использует электрическое и твердотопливное отопление, что повышает нагрузку на энергосистему и усиливает локальные экологические эффекты. В работе выполнено сравнительное исследование трёх конфигураций теплоснабжения индивидуального жилого дома: базовая система электрического отопления; электрическое отопление с добавлением солнечных тепловых коллекторов; гибридная система «солнечные коллекторы – геотермальный тепловой насос – сезонное скважинное хранилище тепла (BTES)». Оценка проведена методом динамического имитационного моделирования годового цикла работы систем с использованием программного комплекса Polysun и климатических данных типового метеорологического года. Сопоставление выполнено по годовым энергетическим показателям при неизменных характеристиках здания и режимах эксплуатации. Полученные результаты показывают, что использование солнечных коллекторов в схеме с прямым электрическим нагревом обеспечивает ограниченный эффект, тогда как применение теплового насоса совместно с BTES позволяет существенно снизить годовое электропотребление системы при сопоставимом обеспечении тепловой нагрузки. Практическая значимость работы связана с обоснованием применимости гибридных солнечно-геотермальных систем для распределённых решений теплоснабжения в условиях холодного климата Дальнего Востока России.

Ключевые слова: альтернативные системы теплоснабжения, солнечные тепловые коллекторы, тепловой насос, сезонное аккумулирование тепла, BTES, имитационное моделирование, Polysun, холодный климат, Забайкальский край.

ASSESSING THE EFFICIENCY OF ALTERNATIVE HEATING SYSTEMS FOR A RESIDENTIAL BUILDING IN ZABAIKALSKY KRAI

Dzhendubaev Z.A.-Z.

National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (MPEI),
111250, Moscow, Russia

In cold-climate regions with limited access to natural gas, individual housing often relies on electric heating and solid fuels, which increases peak electricity demand and intensifies local air-pollution impacts. This paper provides a comparative assessment of three heating configurations for a single-family dwelling: (1) a baseline electric heating system; (2) electric heating supplemented by solar thermal collectors; and (3) a hybrid solar-geothermal system combining solar thermal collectors, a ground-source heat pump, and seasonal borehole thermal energy storage (BTES). The systems are analyzed using year-round dynamic simulation with typical meteorological year data. The comparison is performed using annual energy indicators under identical building and operational assumptions. The results indicate that adding solar collectors to direct electric heating provides a limited reduction in annual electricity use, while integrating a heat pump with BTES can deliver a pronounced decrease in electricity consumption at comparable thermal service levels. The study supports the feasibility of hybrid solar-geothermal heating solutions for distributed heating applications in cold climate of the Far Eastern regions of the Russian Federation.

Keywords: alternative heating systems, solar thermal collectors, heat pump, seasonal thermal energy storage, BTES, dynamic simulation, cold climate, Zabaikalsky Krai.

1. Введение

Для регионов с продолжительным отопительным периодом и ограниченной обеспеченностью сетевым природным газом выбор конфигурации теплоснабжения индивидуальных жилых зданий является определяющим фактором как энергетической, так и экологической устойчивости. Забайкальский край относится к Дальневосточному федеральному округу (ДФО) [1], при этом для ряда территорий макрорегиона характерна ограниченная газовая инфраструктура, что поддерживает спрос на электрическое и твердотопливное отопление. По данным открытых источников, уровень газификации субъектов ДФО существенно ниже среднерос-

сийского, а в отдельных регионах централизованное газоснабжение отсутствует либо охватывает ограниченные зоны [2]. В таких условиях электроотопление становится технологически простым решением, однако его массовое применение приводит к росту зимних максимумов нагрузки и увеличению эксплуатационных затрат потребителей.

Параллельно сохраняется высокая доля автономного теплоснабжения на твёрдом топливе (уголь, дрова), что формирует выраженные локальные эффекты загрязнения воздуха в отопительный сезон. Для территорий Байкальского региона и сопредельных районов показано, что вклад автономных источников тепла может быть значимым в

структуре выбросов загрязняющих веществ [3]. На международном уровне отмечается, что бытовое сжигание твёрдого топлива остаётся одним из факторов риска для здоровья населения из-за загрязнения воздуха в помещениях и в приземном слое атмосферы [4]. Следовательно, поиск и обоснование альтернативных, более экологически приемлемых конфигураций теплоснабжения индивидуального сектора остаётся актуальной прикладной задачей.

Солнечные тепловые системы рассматриваются как один из наиболее зрелых инструментов снижения доли ископаемого топлива в теплоснабжении, что подтверждается статистикой мировых внедрений [5]. Технологические особенности солнечных коллекторов и области их применения систематизированы в обзорных работах, где показано, что наибольшая эффективность достигается при согласовании температурного уровня потребителя и режимов работы системы [6]. Однако для холодного климата характерен сезонный дисбаланс: максимальная доступность солнечной энергии наблюдается летом, тогда как пик тепловой нагрузки приходится на зимний период. В связи с этим для повышения доли замещения традиционных источников тепла требуется использование систем аккумулирования, включая сезонные решения [7].

Одним из наиболее перспективных подходов к устранению сезонного дисбаланса является сезонное аккумулирование тепла в грунте (STES), в том числе в виде скважинного хранилища BTES. Концепции сезонного хранения и их применимость для зданий подробно рассмотрены в обзорных публикациях [7,8], а также в работах, посвящённых солнечным системам теплоснабжения с подземным аккумулированием [9]. Практика реализации крупных объектов солнечного теплоснабжения с сезонным хранением демонстрирует достижение высоких долей солнечного покрытия при корректном подборе параметров накопителя и схемы теплоснабжения [10,11].

Для индивидуального сегмента и холодного климата особый интерес представляют гибридные архитектуры, в которых солнечная теплота сочетается с тепловым насосом. Такие решения позволяют повысить эффективность преобразования энергии и компенсировать сезонные ограничения солнечного ресурса, что отмечается в сравнительных обзорах систем сезонного хранения с тепловыми насосами [12]. Результаты моделирования гибридных систем с тепловым насосом и подземным накоплением подтверждают потенциал существенного снижения потребления электроэнергии при корректной конфигурации оборудования [13]. При этом ключевым условием корректного сопоставления альтернативных схем является применение динамического имитационного моделирования, позволяющего учесть нестационарные климатические воздействия, режи-

мы управления и тепловую инерционность накопителей. В настоящей работе для решения данной задачи используются программный комплекс Polysun [14] и климатическая база Meteonorm [15]; целью исследования является сравнительная оценка трёх конфигураций теплоснабжения индивидуального жилого здания в климатических условиях Забайкальского края.

2. Объект исследования и рассматриваемые конфигурации систем теплоснабжения

Объектом исследования является индивидуальное жилое здание, для которого рассматривается покрытие годовой тепловой нагрузки на отопление и горячее водоснабжение (ГВС). В качестве базовой системы отопления принят низкотемпературный контур (тип «тёплый пол»), что соответствует современной практике повышения эффективности источников тепла и, в частности, тепловых насосов. Параметры здания, профили эксплуатации и тепловая нагрузка во всех расчётах задаются одинаково, чтобы обеспечить корректное сравнение энергетических показателей различных конфигураций.

В работе анализируются три конфигурации альтернативных систем теплоснабжения, отличающиеся составом оборудования и способом вовлечения возобновляемой энергии (рис. 1 а-в). Принципиальная схема каждой конфигурации рассматривается на уровне потоков энергии и функций элементов системы, без привязки к конкретным фирмам-производителям оборудования; детальные параметры, используемые в имитационном моделировании, приведены в разделе 3.

2.1. Конфигурация 1 – базовая система прямого электрического теплоснабжения

Конфигурация 1 принята в качестве базовой для сравнения и представляет собой систему теплоснабжения с прямым электрическим преобразованием энергии. Покрытие тепловой нагрузки осуществляется электрическим нагревателем через буферную ёмкость, обеспечивающую сглаживание кратковременных неравномерностей нагрузки и работу системы отопления в заданном температурном режиме. Данная конфигурация является технологически простой, но при холодном климате приводит к значительному годовому потреблению электроэнергии и росту зимних максимумов нагрузки.

2.2. Конфигурация 2 – электрическое теплоснабжение с солнечными тепловыми коллекторами

Конфигурация 2 дополняет базовую схему солнечными тепловыми коллекторами, передающими теплоту в систему через теплообменный контур и буферную ёмкость. Дефицит теплоты (в периоды низкой инсоляции и/или высокой тепловой нагрузки) компенсируется электрическим нагревателем. Технологические особенности солнечных коллекторов и общие принципы их применения в системах

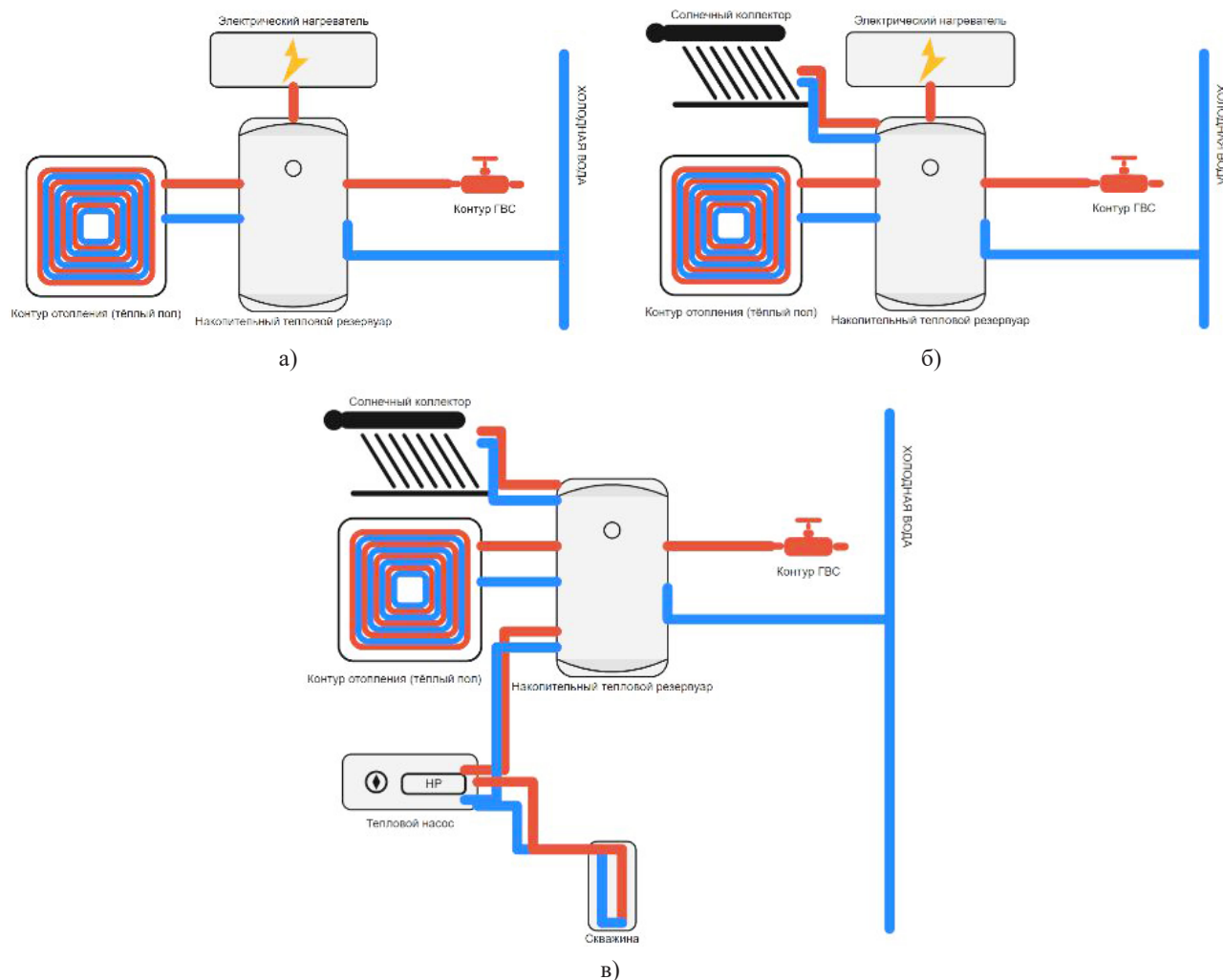


Рис. 1. Рассматриваемые конфигурации систем теплоснабжения: а) – конфигурация 1; б) – конфигурация 2; в) – конфигурация 3

теплоснабжения подробно рассмотрены в обзорной литературе [6]. Вместе с тем для холодного климата характерен сезонный дисбаланс между поступлением солнечной энергии и потребностью в тепле, что ограничивает глубину замещения традиционного источника без использования аккумулирования [7].

2.3. Конфигурация 3 – гибридная система «солнечные коллекторы – тепловой насос – сезонное скважинное хранилище тепла (BTES)»

Конфигурация 3 является гибридной и включает солнечные тепловые коллекторы, тепловой насос и грунтовый контур, функционирующий как низкопотенциальный источник теплоты и/или среда сезонного аккумулирования. В тёплый период солнечная теплота используется не только для текущих нужд, но и для повышения энергетического потенциала грунтового массива (режим сезонной зарядки), что направлено на улучшение условий работы теплового насоса в отопительный период. Подходы к сезонному аккумулированию теплоты в грунте, включая BTES, и их роль в повышении солнечной доли в годовом балансе систем теплоснабжения представлены в обзорных исследованиях и публикациях по реализованным объектам [7-9]. Отдель-

ные работы по моделированию гибридных систем с тепловым насосом и подземным аккумулированием подтверждают перспективность гибридных схем для снижения потребления электроэнергии при корректном подборе параметров и стратегии управления [10,11]. В контексте настоящей работы конфигурация 3 рассматривается как потенциально наиболее эффективное решение для холодного климата за счёт совместного действия двух факторов: вовлечение солнечной теплоты и повышение эффективности использования электроэнергии тепловым насосом.

3. Методика моделирования

Оценка эффективности рассмотренных в разделе 2 конфигураций 1-3 выполнена методом динамического имитационного моделирования годового цикла работы систем теплоснабжения в программном комплексе Polysun. Расчётная климатическая точка – г. Чита. Для обеспечения сопоставимости результатов во всех расчётных конфигурациях приняты одинаковые исходные условия: параметры здания, режимы отопления и потребления горячей воды рассматриваются как фиксированные граничные условия, а различия итоговых энергетических

показателей обусловлены исключительно составом оборудования и алгоритмами управления.

В Polysun сформированы три независимые расчётные схемы, соответствующие конфигурациям 1-3. Реализация схем приведена на рис. 2 а-в. Расчёт

выполнен для годового периода с единым шагом моделирования для всех конфигураций.

Для конфигурации 3 реализована стратегия управления, обеспечивающая использование избыточной солнечной теплоты в тёплый период для

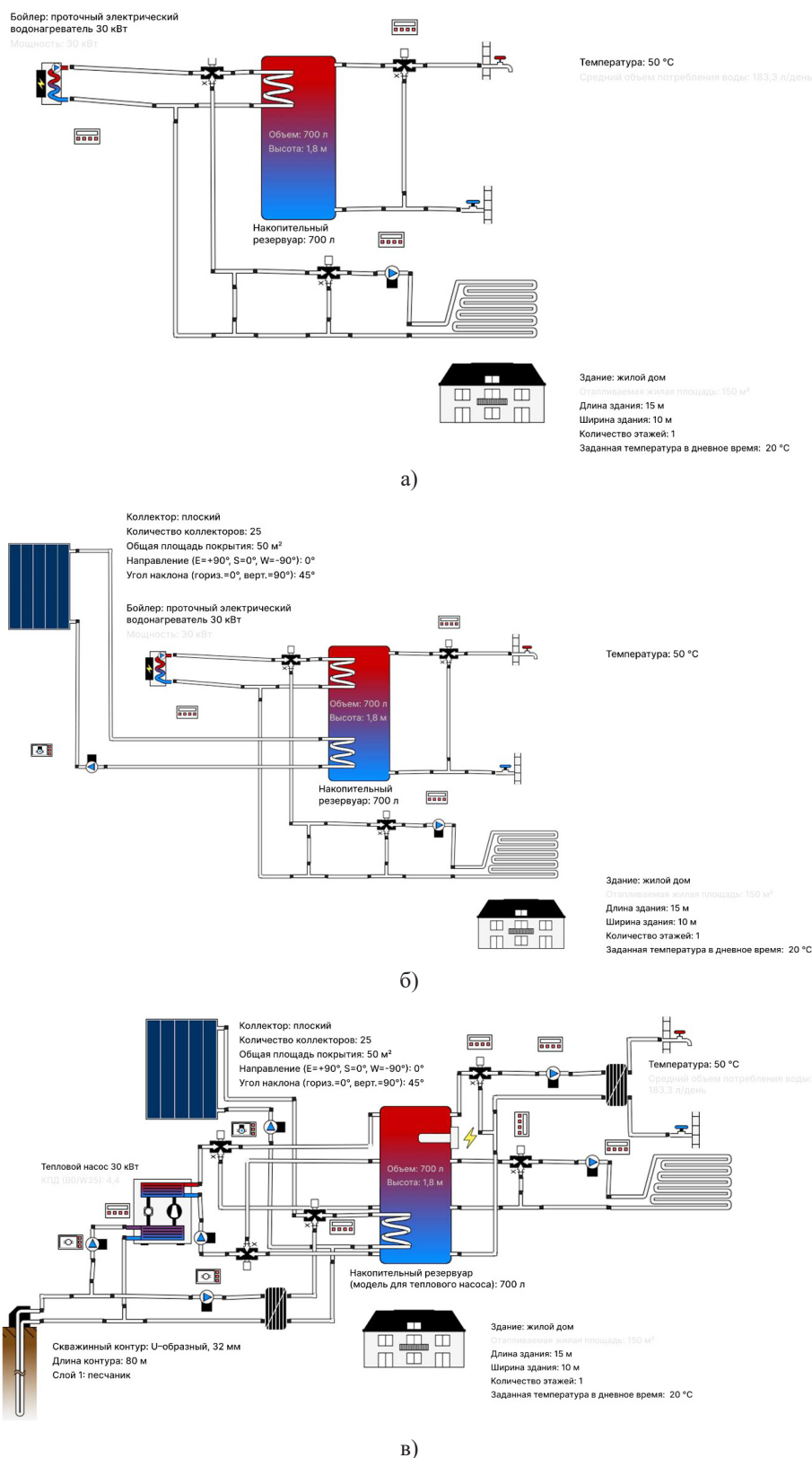


Рис. 2. Реализация моделей конфигураций систем теплоснабжения в Polysun: а) – конфигурация 1; б) – конфигурация 2; в) – конфигурация 3

снижения температуры накопительного резервуара и передачи энергии в грунтовый контур при выполнении заданного температурного условия. Блок-схема алгоритма управления приведена на рис. 3.

Основные параметры расчётной модели и принятые допущения сведены в табл. 1.

4. Результаты моделирования и обсуждение

Сравнительное моделирование выполнено для трёх конфигураций систем теплоснабжения жилого здания при одинаковых параметрах объекта и режимах эксплуатации. Сводные результаты годово-

го моделирования приведены в табл. 2. В качестве ключевых показателей использованы: суммарное потребление электрической энергии системой (E_{cs}), полезная энергия, потреблённая системой на покрытие тепловой нагрузки (Q_{use}), солнечная тепловая энергия, переданная в систему (Q_{sol}), и доля покрытия тепловой нагрузки солнечной энергией (S_{fn}).

Из рис. 4 следует, что полезное годовое теплопотребление системы (Q_{use}) для всех трёх конфигураций практически одинаково (≈ 42.1 тыс. кВт•ч/год), что подтверждает корректность сравнения при

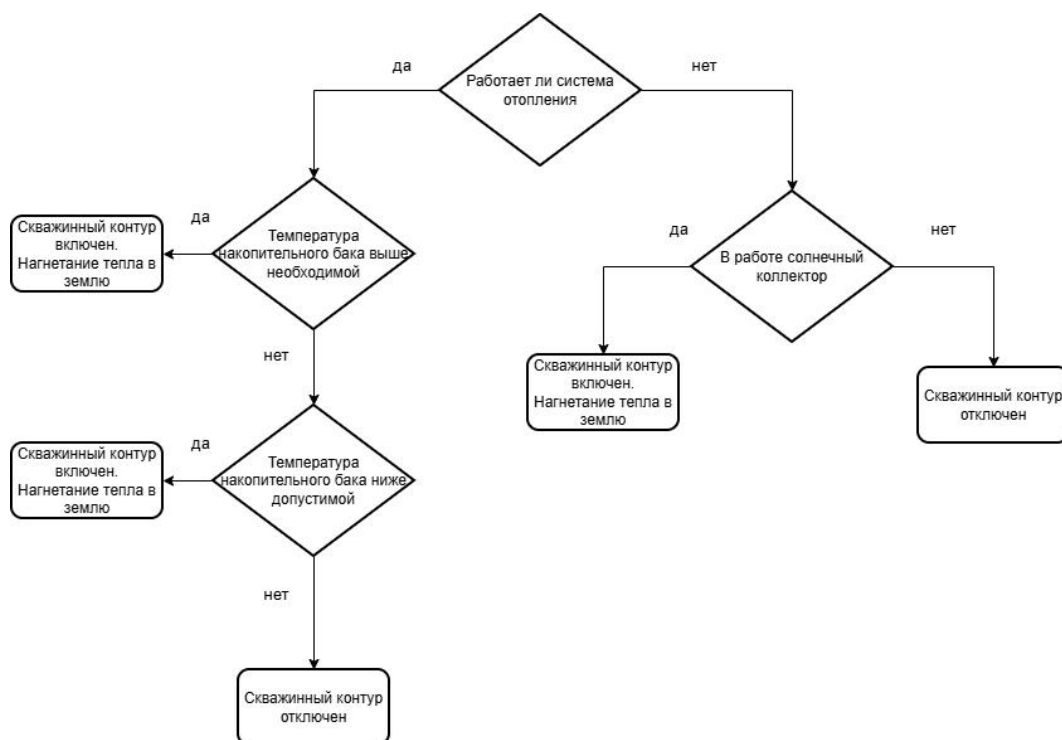


Рис. 3. Блок-схема стратегии управления (конфигурация 3)

Таблица 1

Основные параметры и допущения моделирования (Polysun)

Группа	Параметр	Ед. изм.	Значение
Климат	Расчетная точка	–	Чита (52.05°N; 113.58°E)
	Среднегодовая наружная температура	°C	–0.8
	Годовая сумма глобальной радиации	кВт·ч/м²	1324
	Годовая сумма рассеянной радиации	кВт·ч/м²	514
Здание (фиксировано)	Отапливаемая площадь	м²	150
	Уставка температуры помещения	°C	19.7
	Система отопления	–	Теплый пол (Floor heating)
	Потребление ГВС	л/сут	183 при 50 °C
Общее (конф.1–3)	Накопительный бак	л	700
Конфигурация 1	Электронагреватель	кВт	30
Конфигурация 2	Тип коллекторов	–	Плоский коллектор
	Количество коллекторов	шт	25
	Суммарная площадь коллекторов	м²	50
	Наклон / ориентация	° / °	45 / 0
	Резервный источник	–	Электронагреватель 30 кВт
Конфигурация 3	Номинальная мощность теплового насоса	кВт	30
	Количество коллекторов (как в конф.2)	шт	25
	Грунтовый контур	–	Двойная U - образная трубка, 32 мм; 6 скважин по 80 м; расстояние 6 м.

Сравнение годовых энергетических показателей конфигураций

Показатель	Обозн.	Ед. изм.	Конф. 1	Конф. 2	Конф. 3
Полезная энергия системы (отопление + ГВС)	Quse	кВт·ч/год	42 149	42 156	42 081
Суммарное электропотребление системы	Ecs	кВт·ч/год	45 916	41 504	8 496
Солнечная тепловая энергия в систему	Qsol	кВт·ч/год	0	5 116	35 906
Солнечная доля	SFn	%	—	11.5	52.8

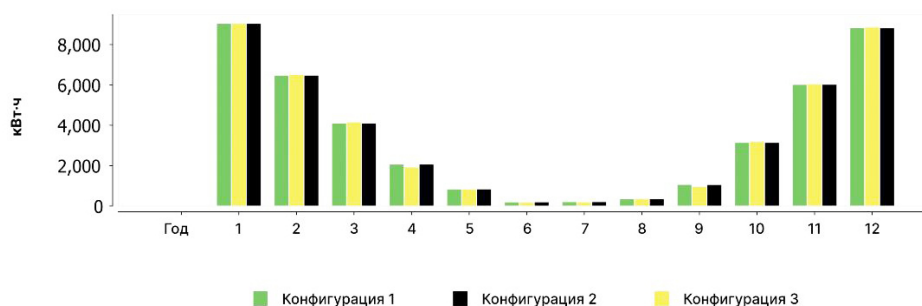


Рис. 4. Общее потребление тепловой энергии системами

фиксированной тепловой нагрузке здания.

4.1. Сравнение энергопотребления

Введение солнечных коллекторов в конфигурации 2 обеспечивает поступление в систему $Q_{sol} = 5\,116$ кВт·ч/год при солнечной доле $SFn = 11.5\%$, что приводит к снижению суммарного электропотребления до $Ecs = 41\,504$ кВт·ч/год. Относительное снижение электропотребления по сравнению с базовой конфигурацией 1 составляет $\approx 9.6\%$ ($45\,916 \rightarrow 41\,504$ кВт·ч/год).

Наибольший эффект достигается в конфигурации 3: суммарное электропотребление снижается до $Ecs = 8\,496$ кВт·ч/год, что соответствует уменьшению $\approx 81.5\%$ относительно конфигурации 1 ($45\,916 \rightarrow 8\,496$ кВт·ч/год) или примерно в 5.4 раза (рис. 6).

При этом возрастает вовлечение солнечной теплоты ($Q_{sol} = 35\,906$ кВт·ч/год) и солнечная доля ($SFn = 52.8\%$), эффект показан на рис. 5.

4.2. Сезонный характер работы систем

Для конфигурации 2 характерна выраженная сезонность солнечного вклада: в летние месяцы солнечная доля достигает $\approx 91-94\%$ (июль – сентябрь), тогда как в зимний период снижается до единиц процентов (например, $\approx 4\%$ в декабре). Это соответствует физической природе процесса: при высокой инсоляции и малой нагрузке на отопление солнечные коллекторы преимущественно покрывают потребности ГВС, а зимой вклад ограничен низкой солнечной радиацией и высокой тепловой нагрузкой.

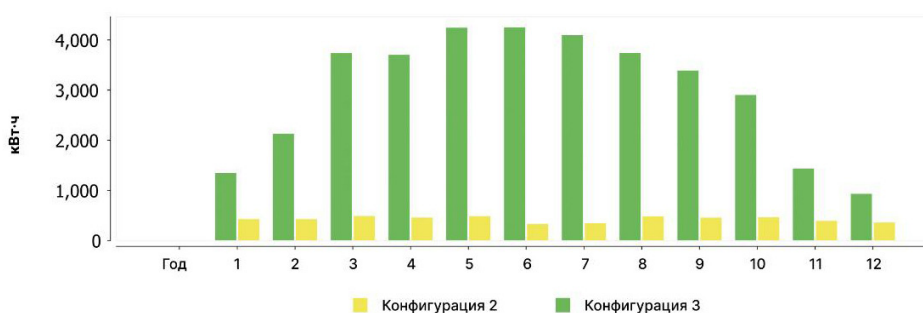


Рис. 5. Солнечная тепловая энергия, полученная системой

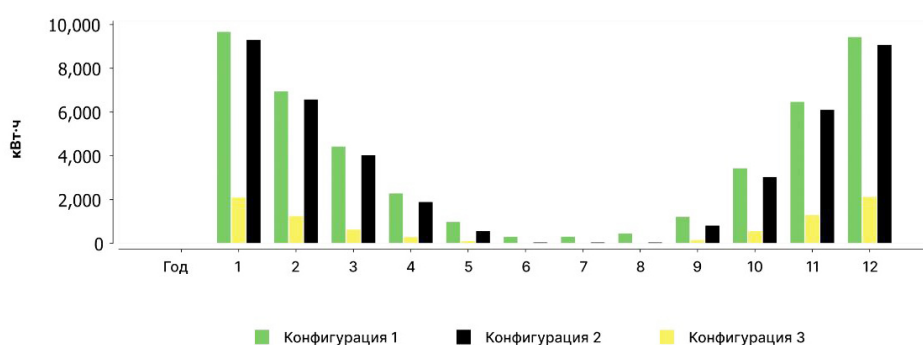


Рис. 6. Общее потребление электроэнергии системами

В конфигурации 3 сезонный дисбаланс сглаживается за счёт работы теплового насоса и грунтового источника: солнечная доля достигает 100% в летние месяцы (июль – сентябрь), а в переходные периоды сохраняется существенно выше, чем в конфигурации 2. Это отражается в годовом балансе: рост Q_{sol} и снижение E_{cs} указывают на более глубокую интеграцию солнечной энергии в годовой цикл системы при наличии теплового насоса и аккумулирующей среды.

5. Выводы

По результатам динамического имитационного моделирования для климатических условий г. Читы показано, что при неизменной годовой тепловой нагрузке здания (порядка 42.1 тыс. кВт·ч/год для всех вариантов) ключевые различия между конфигурациями определяются способом преобразования энергии и глубиной вовлечения солнечной теплоты в годовой цикл системы.

Базовая схема прямого электроотопления характеризуется наибольшим годовым электропотреблением – 45 916 кВт·ч/год. Добавление солнечных тепловых коллекторов к электрическому отоплению обеспечивает снижение электропотребления до 41 504 кВт·ч/год (примерно на 9.6%) при солнечном вкладе 5 116 кВт·ч/год и солнечной доле 11.5%, что отражает ограниченность «прямого» использования солнечной теплоты в условиях сезонного несовпадения инсоляции и тепловой нагрузки.

Наиболее выраженный эффект достигается в

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность Фатиме и Белле Джэндубаевым за неоценимую помощь в подготовке рукописи: тщательную вычитку текста, исправление орфографических и пунктуационных ошибок, а также за профессиональную верстку и подготовку иллюстраций к публикации.

Список литературы

1. Минвостокразвития: к 2030 году уровень газификации Дальнего Востока необходимо удвоить // ТАСС. 18.06.2025. URL: <https://tass.ru/obschestvo/24252851> (дата обращения: 05.01.2026).
2. Household air pollution. World Health Organization. 16.12.2025. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/household-air-pollution-and-health> (дата обращения: 05.01.2026).
3. Weiss W., Spörk-Dür M. Solar Heat Worldwide: Global Market Development and Trends in 2024. IEA SHC TCP, 2025. DOI: 10.18777/ieashc-shww-2025-0001.
4. Kalogirou S.A. Solar thermal collectors and applications. Progress in Energy and Combustion Science. 2004. Vol. 30. No. 3. Pp. 231-295. DOI: 10.1016/j.peccs.2004.02.001.
5. Pavlov G.K., Olesen B.W. Thermal energy storage – A review of concepts and systems for heating and cooling applications in buildings: Part 1 – Seasonal storage in the ground. HVAC&R Research. 2012. Vol. 18. No. 3. Pp. 515-538. DOI: 10.1080/10789669.2012.667039.
6. Lanahan M., Tabares-Velasco P.C. Seasonal Thermal-Energy Storage: A Critical Review on BTES Systems, Modeling, and System Design for Higher System Efficiency. Energies. 2017. Vol. 10. No. 6. Article 743. DOI: 10.3390/en10060743.
7. Rad F.M., Fung A.S. Solar community heating and cooling system with borehole thermal energy storage – Review of systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 60. Pp. 1550-1561. DOI: 10.1016/j.rser.2016.03.025.
8. Bauer D., Marx R., Nußbicker-Lux J., Ochs F., Heidemann W., Müller-Steinhagen H. German central solar heating plants with seasonal heat storage. Solar Energy. 2010. Vol. 84. No. 4. Pp. 612-623. DOI: 10.1016/j.solener.2009.05.013.
9. Sibbitt B., McClenahan D., Djebbar R., Thornton J., Wong B., Carriere J., Kokko J. The Performance of a High Solar Fraction Seasonal Storage District Heating System – Five Years of Operation. Energy Procedia. 2012. Vol. 30. Pp. 856-865. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.11.097.
10. Hesarakı A., Holmberg S., Haghighat F. Seasonal thermal energy storage with heat pumps and low temperatures in building projects – A comparative review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 43. Pp. 1199-1213. DOI: 10.1016/j.rser.2014.12.002.
11. Yumrutaş R., Ünsal M. Energy analysis and modeling of a solar assisted house heating system with a heat pump and an underground energy storage tank. Solar Energy. 2012. Vol. 86. No. 3. Pp. 983-993. DOI: 10.1016/j.solener.2012.01.008.
12. Битюкова В.Р., Дехнич В.С., Кравчик А.И., Касимов Н.С. Оценка влияния автономных систем отопления жилых строений на загрязнение воздуха в муниципальных образованиях (на примере Байкальского региона) // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2024. №1. С. 22-36. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.2.

гибридной системе «солнечные коллекторы – тепловой насос – сезонное скважинное хранилище тепла»: годовое электропотребление снижается до 8 496 кВт·ч/год (примерно на 81.5% относительно прямого электроотопления), а вовлечённая солнечная теплота возрастает до 35 906 кВт·ч/год при солнечной доле 52.8%. Это указывает на принципиальное преимущество гибридной архитектуры для холодного климата: сочетание высокоэффективного преобразования энергии тепловым насосом и сезонного перераспределения солнечной теплоты позволяет существенно уменьшить электрическую нагрузку при сохранении требуемого теплового комфорта.

Практическая значимость полученных результатов заключается в обосновании того, что для территорий с длительным отопительным периодом наиболее перспективными являются решения, в которых солнечная энергия работает не только «в моменте», но и как ресурс годового цикла (через взаимодействие с грунтовым контуром и сезонным накоплением). В качестве дальнейшего развития целесообразно дополнить энергетическое сравнение технико-экономической оценкой (CAPEX/OPEX, приведённые затраты/NPV) и анализом чувствительности к ключевым параметрам (площадь коллекторов, объём буфера, характеристики теплового насоса, параметры скважинного поля и стратегии управления).

13. International Energy Agency. The Future of Heat Pumps. 2022. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4713780d-c0ae-4686-8c9b-29e782452695/TheFutureofHeatPumps.pdf> (дата обращения: 05.01.2026).
14. Vela Solaris AG. Polysun Tutorial (EN). 2022. URL: https://www.velasolaris.com/wp-content/uploads/2022/01/Tutorial_EN.pdf (дата обращения: 05.01.2026).
15. Meteotest AG. Meteonorm 8.2 Manual (Theory). 2025. URL: https://mn8.meteonorm.com/assets/downloads/mn82_theory.pdf (дата обращения: 05.01.2026).

References

1. Ministry for the Development of the Russian Far East: gasification level of the Far East should be doubled by 2030. *TASS*. 18.06.2025. URL: <https://tass.ru/obschestvo/24252851>.
2. Household air pollution. World Health Organization. 16.12.2025. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/household-air-pollution-and-health>.
3. Weiss W., Spörk-Dür M. Solar Heat Worldwide: Global Market Development and Trends in 2024. IEA SHC TCP, 2025. DOI: 10.18777/ieashc-shww-2025-0001.
4. Kalogirou S.A. Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2004. Vol. 30. No. 3. Pp. 231-295. DOI: 10.1016/j.pecs.2004.02.001.
5. Pavlov G.K., Olesen B.W. Thermal energy storage – A review of concepts and systems for heating and cooling applications in buildings: Part 1 – Seasonal storage in the ground. *HVAC&R Research*. 2012. Vol. 18. No. 3. Pp. 515-538. DOI: 10.1080/10789669.2012.667039.
6. Lanahan M., Tabares-Velasco P.C. Seasonal Thermal-Energy Storage: A Critical Review on BTES Systems, Modeling, and System Design for Higher System Efficiency. *Energies*. 2017. Vol. 10. No. 6. Article 743. DOI: 10.3390/en10060743.
7. Rad F.M., Fung A.S. Solar community heating and cooling system with borehole thermal energy storage – Review of systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 60. Pp. 1550-1561. DOI: 10.1016/j.rser.2016.03.025.
8. Bauer D., Marx R., Nußbicker-Lux J., Ochs F., Heidemann W., Müller-Steinhagen H. German central solar heating plants with seasonal heat storage. *Solar Energy*. 2010. Vol. 84. No. 4. Pp. 612-623. DOI: 10.1016/j.solener.2009.05.013.
9. Sibbitt B., McClenahan D., Djebbar R., Thornton J., Wong B., Carriere J., Kokko J. The Performance of a High Solar Fraction Seasonal Storage District Heating System – Five Years of Operation. *Energy Procedia*. 2012. Vol. 30. Pp. 856-865. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.11.097.
10. Hesaraki A., Holmberg S., Haghighat F. Seasonal thermal energy storage with heat pumps and low temperatures in building projects – A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 43. Pp. 1199-1213. DOI: 10.1016/j.rser.2014.12.002.
11. Yumrutaş R., Ünsal M. Energy analysis and modeling of a solar assisted house heating system with a heat pump and an underground energy storage tank. *Solar Energy*. 2012. Vol. 86. No. 3. Pp. 983-993. DOI: 10.1016/j.solener.2012.01.008.
12. Bityukova V.R., Dekhnich V.S., Kravchik A.I., Kasimov N.S. Assessment of the impact of autonomous residential heating on air pollution in the Baikal Region. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2024. No. 1. Pp. 22-36. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.1.2.
13. International Energy Agency. The Future of Heat Pumps. 2022. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4713780d-c0ae-4686-8c9b-29e782452695/TheFutureofHeatPumps.pdf>.
14. Vela Solaris AG. Polysun Tutorial (EN). 2022. URL: https://www.velasolaris.com/wp-content/uploads/2022/01/Tutorial_EN.pdf.
15. Meteotest AG. Meteonorm 8.2 Manual (Theory). 2025. URL: https://mn8.meteonorm.com/assets/downloads/mn82_theory.pdf.

Сведения об авторах Принадлежность к организации

Джэндубаев Зураб Абрек-Заурович

аспирант института гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии (ИГВИЭ), ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»», 111250, Москва, Россия

Information about authors Affiliations

Dzhendubaev Zurab Abrek-Zaurovich

Postgraduate Student, The Department of Hydropower and Renewable Energy of National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (MPEI), 111250, Moscow, Russia

Поступила в редакцию 14.01.2026 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТВЕРДОТОПЛИВНОГО КОТЛА С ПЕРИОДИЧНОЙ ПОДАЧЕЙ ТОПЛИВА

¹Гордин С.А., ²Лясковский И.Е.

¹Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет,
6801000, Комсомольск-на-Амуре, Россия

²Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
680021, Хабаровск, Россия
e-mail: gordin@unitse.ru

Объектом исследования в статье являются твердотопливные котлы с периодичной подачей топлива и ручным регулированием подачи воздуха в топку котла.

Разработанная и реализованная экспериментальная установка позволяет отработать различные алгоритмы управления оборудованием котла в контролируемых условиях без риска создания опасных ситуаций на действующем объекте теплоэнергетики.

Установка адекватно отражает процессы на действующих котельных сельских населенных пунктов, а полученные результаты могут быть использованы для разработки систем автоматики и управления для твердотопливных котлов.

Ключевые слова: система теплоснабжения, удельный расход топлива, энергоэффективность.

EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR THE STUDY OF METHODS OF REGULATION OF A SOLID FUEL BOILER WITH PERIODIC FUEL SUPPLY

¹Gordin S.A., ²Lyaskovskiy I.E.

¹Amur State University of Humanities and Pedagogy, 6801000, Komsomolsk-on-Amur, Russia

²Far Eastern State University of Railway Transport, 680021, Khabarovsk, Russia

The subject of this study is solid-fuel boilers with intermittent fuel feeding and manual control of air supply to the boiler furnace.

The experimental setup developed and implemented allows for the testing of various boiler control algorithms under controlled conditions without the risk of creating hazardous situations at an operating thermal power facility.

The setup accurately replicates the processes in operational boiler rooms in rural communities, and the results obtained can be used to develop automation and control systems for solid-fuel boilers.

Keywords: heat supply system, specific fuel consumption, energy efficiency.

Введение

Твердотопливные котлы, используемые в изолированных системах теплоснабжения, имеют средний удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии на уровне 235..245 кг.у.т./Гкал, что соответствует значению к.п.д. на уровне 60% [1]. Это существенно ниже паспортных значений (75%..80%), что приводит к перерасходу топлива.

Применение на большинстве водогрейных котельных систем «ручного» регулирования производительности дутьевых вентиляторов и дымососов не позволяет существенно повлиять на эффективность работы котла, поскольку его режимы работы при периодичной загрузке топлива (заброс новой порции, разгорание, горение и прогорание) не только требуют разной скорости подачи воздуха и отведения дымовых газов, но и протяженность во времени режимов не является постоянной.

Таким образом, возникает задача автоматизации систем управления твердотопливным котлом с периодичной загрузкой топлива без использования в процессе эксплуатации сложных и дорогостоящих приборов.

Для решения данной задачи проведение поис-

кового исследования на действующей котельной представляется нецелесообразным по двум причинам: высокая инертность системы теплоснабжения, существенно увеличивающая время отклика на управляющие воздействия; риск создания аварийной ситуации, влияющей на объекты инфраструктуры, подключенной к котельной.

Поэтому для исследования задачи автоматизации твердотопливного котла с периодичной загрузкой топлива нами была разработана экспериментальная установка, имитирующая котельную, но исключающая выше обозначенные ограничения.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (см. рисунок 1) состоит из твердотопливного котла типа «Магнум», паспортной производительностью 13 кВт (0.01 Гкал/час) производства ООО «ЛЕМАКС», имитатор нагрузки в виде 5 последовательно соединенных радиаторов с возможностью отключения любого из них. Регулирование подачи воздуха осуществляется изменением оборотов дымососа (частотным регулированием).

Система датчиков регистрирует давление теплоносителя перед и после циркуляционного



Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

насоса, после котла, расход теплоносителя через котел, температуру теплоносителя на входе и выходе котла, температуру воздуха на входе в котел (в помещении), в дымовой трубе за котлом, разрежение в дымовой трубе.

Состав дымовых газов определяется посредством газоанализатора TESTO 330 2 LL, а скорость движения дымовых газов по дымоходу определяется анемометром BTMETER BT-100.

Все измерения с датчиков (температура, давление, расход) собираются контроллером ПЛК100-220.Р-М и отображаются на панели оператора ИП320.

Загружаемое в топку котла топливо взвешивается на настольных весах.

Проведение контрольного измерения работы установки

Для подтверждения корректности применяемой математической модели для анализа результатов экспериментов произведем балансный расчет контрольной топки.

Параметры экспериментальной установки:

- площадь входного отверстия воздуха: $S_{\text{возд}} = 0.0315 \text{ м}^2$;
- скорость потока воздуха на входе: $v_{\text{возд}} = 1.2 \text{ м/с}$;
- температура потока воздуха на входе: $t_{\text{возд}} = -5^\circ\text{C}$;
- влажность воздуха на входе: $\varphi_{\text{возд}} = 40\%$;
- давление потока воздуха на входе: $p_{\text{возд}} = 760 \text{ мм.рт.ст.}$
- параметры топлива (уголь), согласно данным паспорта, $C^p = 65\%$, $W^p = 20\%$, $A^p = 15\%$, $Q_n = 5240 \text{ ккал/кг}$.

Тогда, давление насыщения при данной температуре

$$p_s = \left(1.0016 + 3.15 \cdot 10^{-6} \cdot p_{\text{возд}} \cdot 1.333 - \frac{0.074}{p_{\text{возд}} \cdot 1.333} \right) \cdot 6.112 \cdot e^{\frac{17.62 \cdot t_{\text{возд}}}{243.12 + t_{\text{возд}}}} \cdot \frac{1}{1.333} = 3.182 \text{ мм рт. ст.}$$

Парциальное давление водяного пара

$$p_{\text{п}} = p_s \cdot \varphi_{\text{возд}} = 1.273 \text{ мм рт.ст.}$$

Расход воздуха

$$V_{\text{возд}} = S_{\text{возд}} \cdot v_{\text{возд}} = 0.0094245 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$V_{\text{возд.сух.}}^{\text{н.у.}} = V_{\text{возд}} \cdot \frac{(p_{\text{возд}} - p_{\text{п}})}{760} \cdot \frac{273.16}{273.16 + t_{\text{возд}}} = 0.0095841 \text{ м}^3/\text{с}$$

Массовый расход элементов воздуха

$$\begin{aligned} m_{\text{воздух}}^{O_2} &= \frac{p_{O_2} \cdot 133.3 \cdot \mu_{O_2} \cdot V_{\text{возд.сух.}}^{\text{н.у.}}}{R \cdot (273.16 + t_{\text{возд}})} \\ &= \frac{20.94\% \cdot 760 \cdot 133.3 \cdot 32 \cdot 0.0095841}{8.31 \cdot (273.16 - 5)} \\ &= 2.919622575 \text{ грамм/с} = 10.51 \text{ кг/час} \\ m_{\text{воздух}}^{N_2} &= V_{\text{возд.сух.}}^{\text{н.у.}} \cdot 1.2920 \cdot 10^3 - 2.919622575 \\ &= 9.463034625 \text{ грамм/с} = 34.067 \text{ кг/час} \end{aligned}$$

Масса воды в воздухе

$$\begin{aligned} m_{\text{воздух}}^{H_2O} &= \frac{p_{\text{п}} \cdot 133.3 \cdot \mu_{H_2O} \cdot V_{\text{возд}}}{R \cdot (273.16 + t_{\text{возд}})} = \\ &= \frac{1.273 \cdot 133.3 \cdot 18 \cdot 0.0094245}{8.31 \cdot (273.16 - 5)} = 0.012928938 \text{ грамм/с} \end{aligned}$$

Молярные массы элементов дымовых газов, соответственно, равны: азот – 28 г/моль, кислород – 32 г/моль, угарный газ – 28 г/моль, углекислый газ – 44 г/моль, пары воды – 18 г/моль.

Молярный расход элементов воздуха

$$\begin{aligned} M_{\text{воздух}}^{O_2} &= \frac{m_{\text{воздух}}^{O_2}}{32} = \frac{2.919622575}{32} = 0.091238652 \text{ моль/с} \\ M_{\text{воздух}}^{N_2} &= \frac{m_{\text{воздух}}^{N_2}}{28} = \frac{9.463034625}{28} = 0.337965522 \text{ моль/с} \end{aligned}$$

Состав дымовых газов, согласно измерениям газоанализатора Testo-330L:

$$O_2^{\text{дым}} = 17 \%$$

$$CO^{\text{дым}} = 12000 \text{ ppm} = \frac{12000}{10000} = 1.2\%$$

$$t_{\text{дым}} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p_{\text{дым}} = p_{\text{возд}} - \frac{0.3 \text{ мБар}}{1.333} = 759,775 \text{ мм. рт. ст.}$$

$$CO_2^{\text{дым}} = 20.9\% - O_2^{\text{дым}} - CO^{\text{дым}} = 20.9\% - 17\% - 1.2\% = 2.7\%$$

Формулы горения углерода:

$$C + O_2 = CO_2 + 393.5 \text{ кДж/моль}_C = 32 \text{ 762 кДж/кг}$$

$$2CO + O_2 = 2CO_2 + 566 \text{ кДж/моль}_C = 23 \text{ 562 кДж/кг}$$

$$2C + O_2 = 2CO + 221 \text{ кДж/моль}_C = 9 \text{ 200 кДж/кг}$$

Пусть прореагировало за 1 секунду X молей кислорода с образованием CO_2 и Y молей кислорода с образованием CO . При этом в реакцию вступило $(X+2Y)$ молей углерода.

В результате горения образовался дым в составе:

$$M_{\text{дым}}^{N_2} = M_{\text{воздух}}^{N_2} = 0.337965522 \text{ моль/с}$$

$$M_{\text{дым}}^{O_2} = M_{\text{воздух}}^{O_2} - (X + Y) \text{ моль/с}$$

$$M_{\text{дым}}^{H_2O} = M_{\text{воздух}}^{H_2O} + \mu_C \cdot (X + 2 \cdot Y) \cdot \frac{W^p}{C^p} \cdot \frac{1}{\mu_{H_2O}} \text{ моль/с}$$

$$M_{\text{дым}}^{CO} = 2Y \text{ моль/с}$$

$$M_{\text{дым}}^{CO_2} = X \text{ моль/с}$$

$$M_{\text{дым}} = M_{\text{дым}}^{N_2} + M_{\text{дым}}^{O_2} + M_{\text{дым}}^{CO} + M_{\text{дым}}^{CO_2} + M_{\text{дым}}^{H_2O} \text{ моль/с}$$

$$M_{\text{дым}}^{\text{сух}} = M_{\text{дым}}^{N_2} + M_{\text{дым}}^{O_2} + M_{\text{дым}}^{CO} + M_{\text{дым}}^{CO_2} \text{ моль/с}$$

$$O_2^{\text{дым}} = \frac{M_{\text{дым}}^{O_2}}{M_{\text{дым}}^{\text{сух}}}$$

$$CO^{\text{дым}} = \frac{M_{\text{дым}}^{CO}}{M_{\text{дым}}^{\text{сух}}}$$

Тогда из баланса массы и данных по измерениям можно определить молярную долю CO в дымовых газах.

Выделилось тепловой энергии

$$Q = X \cdot 393.5 + Y \cdot 221, \text{ кВт}$$

Согласно измерениям, расход воды через котёл и полезное тепло

$$V_{\text{вода}} = 0.1 \text{ л/сек}$$

$$t_{\text{вход}} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{выход}} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{полез}} = (t_{\text{выход}} - t_{\text{вход}}) \cdot V_{\text{вода}} \cdot c_{H_2O} = (40 - 20) \cdot 0.1 \cdot 4.1806 = 8.36 \text{ кВт}$$

Для определения фактически выделившейся при горении энергии, составим энергетический баланс:

$$Q + Q_{\text{воздух}} + Q_{\text{топливо}} = Q_{\text{полез}} + Q_{\text{дым}} + Q_{\text{пар}}$$

где $Q_{\text{дым}}$ – потеря тепла с дымом:

$$Q_{\text{дым}} = (M_{\text{дым}}^{N_2} \cdot \mu_{N_2} \cdot c_{N_2} + M_{\text{дым}}^{O_2} \cdot \mu_{O_2} \cdot c_{O_2} + M_{\text{дым}}^{CO} \cdot \mu_{CO} \cdot c_{CO} + M_{\text{дым}}^{CO_2} \cdot \mu_{CO_2} \cdot c_{CO_2} + M_{\text{дым}}^{H_2O_{\text{пар}}} \cdot \mu_{H_2O_{\text{пар}}} \cdot c_{H_2O_{\text{пар}}}) \cdot t_{\text{дым}}, \text{ кВт}$$

$Q_{\text{пар}}$ – затраты на испарение воды из топлива

$$Q_{\text{пар}} = \mu_C \cdot (X + 2 \cdot Y) \cdot \frac{W^p}{C^p} \cdot$$

$$\cdot [(100^{\circ}\text{C} - t_{\text{возд}}) \cdot c_{H_2O_{\text{вода}}} + c_{H_2O_{\text{парообраз}}}], \text{ кВт}$$

$Q_{\text{воздух}}$ – привнос тепла с воздухом и топливом

$$Q_{\text{воздух}} = (M_{\text{воздух}}^{N_2} \cdot \mu_{N_2} \cdot c_{N_2} + M_{\text{воздух}}^{O_2} \cdot \mu_{O_2} \cdot c_{O_2} + M_{\text{воздух}}^{H_2O_{\text{пар}}} \cdot \mu_{H_2O_{\text{пар}}} \cdot c_{H_2O_{\text{пар}}}) \cdot t_{\text{возд}}, \text{ кВт}$$

$Q_{\text{топливо}} = \mu_C$ – привнос тепла с топливом

$$Q_{\text{топливо}} = \mu_C \cdot (X + 2 \cdot Y) \cdot \left(\frac{1 - W^p}{C^p} \cdot c_{\text{уголь}} + \frac{W^p}{C^p} \cdot c_{H_2O} \right) \cdot t_{\text{возд}}, \text{ кВт}$$

Решая уравнение баланса, определим что $X=0.027$ моль/с, $Y=2.175 \cdot 10^{-3}$ моль/с.

При этом

$$Q=11.29 \text{ кВт}; Q_{\text{воздух}}=3.415 \text{ кВт}; Q_{\text{топливо}}=0.295 \text{ кВт}; Q_{\text{дым}}=6.313 \text{ кВт}; Q_{\text{пар}}=0.322 \text{ кВт}$$

Баланс энергии сошелся, поэтому математическую модель можно считать корректной. Согласно расчету и измерениям, при текущей скорости горения топлива мощность тепловыделения составляет 11.29 кВт/ч, полезный отпуск 8.36 кВт/ч, КПД котла

составляет 74.1%.

Но данная модель является «статической», т.е. позволяет вычислять баланс энергии и к.п.д. в отдельный момент времени на основе одномоментных измерений. Для разработки и проверки моделей для регулирования твердотопливного котла с периодичной подачей топлива необходимо разработать динамическую модель, учитывающую постепенное уменьшение массы горящего топлива в топке котла. Для этого нами планируется провести модернизацию установки путем установки котла на весы с целью фиксации динамики изменения массы топлива.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-29-01232, <https://rscf.ru/project/22-29-01232/>.

Список литературы

1. Гордин С.А. Совершенствование технологий для повышения эффективности изолированных систем централизованного теплоснабжения / С.А. Гордин, И.Е. Лясковский // Мониторинг. Наука и технологии. 2023. №3(57). С. 31-36. DOI 10.25714/MNT.2023.57.004. EDN POWYVP.
2. S.A. Gordin, O.V. Kozlova, I.V. Zaychenko. Modeling the combustion process of solid fuel boilers. DOI 10.1007/978-3-030-69421-0_15. Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 200. Pp. 136-146.
3. Gordin S.A., Shamak V.A., Berdonosov V.D. Method of estimating fuel combustion efficiency at a boiler house. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science this link is disabled. 2022. 1070(1). 012009.
4. Гордин С.А. Имитационное моделирование динамических процессов в системах централизованного теплоснабжения / Гордин С.А., Соснин А.А., Шамак В.А., Хряпенко К.Д. // Информатика и системы управления. 2022. №3(73). С. 73-83.

References

1. S.A. Gordin, I.E. Lyaskovsky. Improvement of technologies for increasing the efficiency of isolated district heating supply systems. *Monitoring. Nauka i tekhnologii*. 2023. No. 3(57). Pp. 31-36. DOI 10.25714/MNT.2023.57.004. EDN POWYVP.
2. S.A. Gordin, O.V. Kozlova, I.V. Zaychenko. Modeling the combustion process of solid fuel boilers. DOI 10.1007/978-3-030-69421-0_15. Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 200. Pp. 136-146.
3. Gordin S.A., Shamak V.A., Berdonosov V.D. Method of estimating fuel combustion efficiency at a boiler house. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science this link is disabled. 2022. 1070(1). 012009.
4. Gordin S.A., Sosnin A.A., Shamak V.A., Khryapenko K.D. Simulation of dynamic processes in district heating systems. *Informatika i sistemy upravleniya*. 2022. No. 3(73). Pp. 73-83.

Сведения об авторах Принадлежность к организации

Гордин Сергей Александрович

кандидат технических наук, доцент, Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет, 680100, Комсомольск-на-Амуре, Россия

Лясковский Игорь Евгеньевич

аспирант, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 680021, Хабаровск, Россия

Information about authors Affiliations

Gordin Sergey Alexandrovich

Candidate in Technical Sciences, Associate Professor, Amur State University of Humanities and Pedagogy, 680100, Komsomolsk-on-Amur, Russia

Lyaskovsky Igor Evgenyevich

Postgraduate student, Far Eastern State University of Railway Transport, 680021, Khabarovsk, Russia

Поступила в редакцию 26.12.2025 г.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ НЕФТЕ-ГАЗОПРОВОДОВ

Евдокимов А.П.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 10100, Москва, Россия**e-mail: a_evdo@mail.ru*

На основе учёта поворотов трубопровода в процессе вибрации выведены теоретические зависимости уточнённой оценки вибрационных колебаний нефтяных и газовых трубопроводов. При выводе уравнений учитывался такой важный фактор, как «цепные усилия». Получены уравнения, определяющие поперечные ускорения под действием продольных сил, препятствующих искривлению трубы и поступательных движений, которые позволяют определить распределение цепных усилий. Установлено, что наибольшее растяжение трубы связано с наибольшим ее наклоном и связывает распределение давления с цепным усилием.

Выведено уравнение поворотного движения трубы. Получено частное решение этого уравнения в виде неоднородного волнового уравнения, позволяющее оценить процессы пульсации в трубопроводе. Дана оценка собственных частот вибрационных колебаний с учётом инерции поворота поперечных сечений трубы и условие возникновения резонанса. Выведенные теоретические зависимости показывают, что вибрационные колебания с поворотами поперечных сечений трубы при отсутствии её изгиба вызываются на рассматриваемом участке трубопровода соседним изгибаемым участком.

Ключевые слова: вибрация, инерция поворота, трубопровод, давление потока, радиальные напряжения, осевая деформация.

THEORETICAL STUDY OF VIBRATIONAL VIBRATIONS OF OIL AND GAS PIPELINES

Evdokimov A.P.

*A.A. Blagonravov Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences,**10100, Moscow, Russia*

Based on taking into account the turns of the pipeline during the vibration process, the theoretical dependences of the refined assessment of vibration vibrations of oil and gas pipelines are derived. When deriving the equations, such an important factor as "chain forces" was taken into account. Equations are obtained that determine transverse accelerations under the action of longitudinal forces that prevent pipe curvature and translational movements, which make it possible to determine the distribution of chain forces. It is established that the greatest elongation of the pipe is associated with its greatest inclination and relates the pressure distribution to the chain force.

The equation of the rotary motion of the pipe is derived. A partial solution of this equation is obtained in the form of an inhomogeneous wave equation, which makes it possible to evaluate the pulsation processes in the pipeline. The natural frequencies of vibration vibrations are estimated, taking into account the inertia of rotation of the pipe cross-sections and the condition for the occurrence of resonance. The derived theoretical dependences show that vibrations with rotations of the pipe cross-sections in the absence of bending occur in the pipeline section under consideration by the neighboring bent section.

Keywords: vibration, inertia of rotation, pipeline, flow pressure, radial stresses, axial deformation.

Введение

Трубопроводный транспорт нефтяной и газовой промышленности относится к критически опасным объектам [1,2,3]. Потoki нефти и газа являются причиной возникновения динамической напряженности и колебательных процессов, снижающие надежную и безопасную эксплуатацию трубопроводов [4,5,6,7].

Вибрационные колебания трубопровода с потоками могут возникать вследствие гидроударов в системах, а также при пульсации давлений [8,9,10]. Гидроудары классического и конденсационного типов являются многоцикловой нагрузкой, возникающей из-за возможных скачков давления в трубопроводной системе при быстром срабатывании защитной аппаратуры [11]. При гидроударах с крутыми фронтами давления в ударной волне возникают высокочастотные вибрации труб [12,13]. Другими возбудителями высокочастотных вибраций являются

турбулентные режимы потоков, характеризующиеся неустойчивостью [14,15,16]. Вследствие этого необходимо проанализировать влияние различных факторов на спектры собственных частот труб с потоками в высокочастотных частях спектров их собственных частот [5,7,9,17,18].

Существующие методы расчета динамической напряженности [8,19,20] не в достаточной мере отражают влияние потоков нефти и газа на возникновение вибрационных колебаний. В частности, в теоретических зависимостях не учитываются силы инерции поворота поперечных сечений трубы и условие возникновения резонанса. В связи с этим, актуальной становится задача уточнить существующие расчеты с учетом перечисленных факторов, используя подходы сопротивления материалов для тонкостенных оболочек.

1. Осевые напряжения и деформации

Рассмотрим трубу длиной L , защемленную в

сечении $x=0$. Другой ее конец $x=L$ может быть заземлен или свободен. Поперечные смещения трубы определяются ее конфигурацией $y(x,t) \ll L$. Краевые условия на заземленном конце трубы будут $y=\partial_x y=0$, а на свободном конце нагрузки отсутствуют, и $\partial_{xx}^2 y=0$ в любой момент времени $t \geq 0$.

Состояние потока внутри трубы предполагается установившимся, и через все поперечные сечения трубы массовые расходы $q_0 = m_0 v_0$ одинаковые. Здесь v_0 – скорость потока; $m_0 = \pi \rho_0 r_0^2$ – погонная, т. е. отнесенная к единице длины, масса потока; ρ_0 , r_0 – его плотность и радиус поперечного сечения.

Плоское движение трубы происходит в плоскости xy неподвижной декартовой системы координат. Движение трубы вызывается внутренними факторами, действующими в системе «поток-труба», а именно давлением потока на стенки трубы и трением о них.

На рисунке показан деформированный элемент трубы с потоком и действующие на него нагрузки.

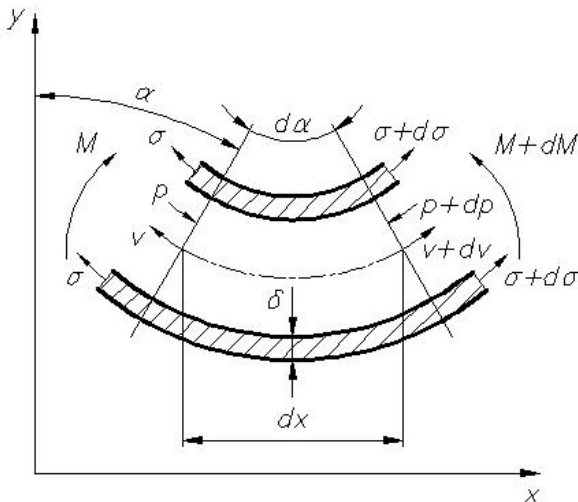


Рис. 1. Деформированный элемент трубы с потоком

На торцы искривленного бесконечно малого элемента трубы действуют нормальные силы

$$\vec{N}(x,t); \quad \vec{N} + d\vec{N}$$

и изгибающие моменты

$$\vec{M}(x,y); \quad \vec{M} + dM,$$

создаваемые неравномерно распределенными осевыми напряжениями σ_ξ , где

$$|\vec{N}| = \pi D_t \delta \sigma_\xi, \quad |\vec{M}| = EI_z \partial_{xx}^2 y; \quad d\vec{N} = \partial_\xi \vec{N} \cdot d\xi;$$

ξ – координата поперечного сечения трубы; D_t , δ – средний диаметр и толщина стенки трубы; E , I_z – модуль Юнга и момент инерции поперечного сечения трубы при изгибе; σ_ξ – «цепные» нормальные напряжения, равномерно распределенные по сечению трубы; α – угол поворота потока; силы $p(x)$ и

создаются давлением потока на его торцы.

Движение трубы является переносным, а скорость потока – относительной. Абсолютная скорость потока вдоль оси y равна

$$v_y = v_{ty} + v_{sy} = \partial_t y + v_0 \partial_x y,$$

где $v_{ty} = \partial_t y(x,y)$ – скорость движения трубы вдоль оси y ; $v_{sy} = |\vec{v}_s| \sin \alpha \approx v_0 \partial_x y(x,y)$ – скорость потока вдоль оси y .

Количество поступательного движения вдоль оси y элемента трубы с потоком равно

$$K_y = v_{ty} dm_t + v_{sy} dm_s = (m_e \partial_t y + q_0 \partial_x y) d\xi,$$

где $dm_t = m_p d\xi$ – масса элемента трубы;

$dm_s = m_0 d\xi$ – масса элемента потока;

$d\xi = R d\alpha$ – длина элемента оси трубы;

$m_e \equiv m_p - m_0$ – погонная масса трубы с потоком,

$d\xi = dx / \cos \alpha \approx dx$ при малых углах α .

Скорость изменения этого количества движения за время dt равна

$$\partial_t K_y = (m_e \partial_{tt}^2 y + q_0 \partial_{xt}^2 y) dx. \quad (1)$$

Эта скорость равна проекции на ось y суммы нагрузок, действующих на элемент трубы с потоком. В этом элементе давление потока на стенки трубы создает внутренние силы, которые при рассмотрении движения элемента с потоком учитывать не следует.

Проекция суммы цепных сил на ось y равна

$$-N \sin \alpha + (N + dN) \sin(\alpha + d\alpha) \approx \partial_x (N \cdot \partial_x y) dx. \quad (2)$$

Проекция на ось y суммы сил, создаваемых давлением на торцы потока в элементе, равна

$$\pi r_0^2 \{ p \cdot \sin \alpha - (p + dp) \sin(\alpha + d\alpha) \} \approx -\pi r_0^2 \partial_x (p \partial_x y) dx. \quad (3)$$

Приравняв скорость изменения количества движения (1) вдоль оси y сумме проекций этих сил (2) и (3) на эту ось, получим уравнение поступательных движений вдоль этой оси

$$m_e \partial_{tt}^2 y + q_0 \partial_{xt}^2 y = \partial_x (N \partial_x y) - \pi r_0^2 \partial_x (p \partial_x y). \quad (4)$$

Если поток отсутствует, то $p = q_0 = m_0 = 0$, а $m_e = m_t$. В этом случае последнее уравнение определяет поперечные ускорения под действием продольных сил, препятствующих искривлению оси трубы.

Производная

$$\partial_x p = \frac{\partial_\xi p}{\cos \alpha} \approx \partial_\xi p$$

определяется потерями из-за трения потока о

стенки трубы. Предположим, что эти потери и эта производная известны. В этом случае уравнение поступательных движений (4) позволяет определить распределение цепных усилий N , если известно распределение смещений $y(x, t)$, т.е.

$$\partial_x(N\partial_x y) = \pi r_0^2 \partial_x(p\partial_x y) + m_e \partial_{tt}^2 y + q_0 \partial_{xt}^2 y. \quad (5)$$

В данном анализе предполагается, что осевые смещения достаточно малы по сравнению с поперечными смещениями. Поэтому осевые деформации можно оценить по наклонам оси трубы, вычислив

$$\varepsilon_x = \partial_x \xi - 1 = \sqrt{1 + (\partial_x y)^2} - 1 \approx \frac{(\partial_x y)^2}{2}.$$

Таким образом, наибольшее растяжение защемленной трубы связано с ее наибольшими наклонами в точках $x_1 = L/4$ и $x_2 = 3L/4$. Осевые деформации связаны с осевыми напряжениями

$$\sigma_x = \frac{N}{(\pi D_i \delta)}$$

и окружными напряжениями

$$\sigma_\varphi = \frac{pD_i}{(2\delta)}$$

и законом Гука

$$E\varepsilon_x = \sigma_x - \nu(\sigma_\varphi + \sigma_r),$$

где ν – коэффициент Пуассона. Радиальное напряжение

$$|\sigma_r| \approx \frac{p}{2} \ll \sigma_\varphi.$$

Подставив эти напряжения и осевую деформацию в закон Гука, разрешим его относительно цепного усилия

$$N = \left(\frac{\pi}{2}\right) D_i \delta \left\{ E(\partial_x y)^2 + p\nu \left(\frac{D_i}{\delta} + 1\right) \right\}. \quad (6)$$

Если не учитывать радиальных напряжений, то можно пренебречь единицей по сравнению с D_i/δ . Уравнение (6) связывает распределение давления p с цепным усилием N .

2. Прогибы и повороты трубопровода при вибрации

С наибольшей достоверностью определяется распределение прогибов $y(x, t)$. Для трубы с зашеченными концами при установившихся колебаниях его можно представить функцией с разделенными переменными

$$y(x, t) = Y(x)T(t), \quad (7)$$

где $Y(x) = A\{1 - \cos(at)\}$;

$$T(t) = \sin(bt);$$

A – амплитуда вибраций;

$$\alpha = 2\pi n/L,$$

$$b = 2\pi/T_n = 2\pi f_n,$$

n – номер моды;

T_n – период вибраций;

f_n – циклическая частота.

Собственные частоты характеризуют установившиеся колебания в виде стоячих волн. Описывающие их функции можно представить в виде произведений функций с разделенными переменными. При этом давление и цепные напряжения представляются таким же образом, т.е.

$$p(x, t) = P(x)\theta(t),$$

где $\theta(x) = \sin^2(\delta t) = T^2(t)$ так как давление всегда положительно. Учитывая это, преобразуем уравнение (6) к виду

$$N(x, t) = F(x)T^2(t),$$

$$\text{где } F(x) \equiv \left(\frac{\pi}{2}\right) D_i \delta \left\{ EY^2 + \nu \left(\frac{D_i}{\delta} + 1\right) P(x) \right\}.$$

Подставив это разложение в уравнение поступательных движений (5), найдем, что переменные не разделяются, если расход $q_0 \neq 0$. Поэтому появление в этом случае установившихся колебаний невозможно, поскольку инерция ламинарного и невозмущенного потока, выпрямляя трубу, способствует ее успокоению. Вибрации возбуждаются возмущенными потоками с высокой турбулентностью.

Составим уравнение движения, управляющее поворотом поперечного сечения трубы вокруг оси Z . Элемент нагружен изгибающими моментами и силами и поворачивается с угловой скоростью $\omega \equiv \partial_{xt}^2 y(x, t)$ и угловым ускорением $\partial_t \omega = \partial_{xtt}^3 y(x, t)$. Центр масс такого элемента лежит на оси потока. Момент инерции элементарного кольца, принадлежащего трубе, относительно его диаметра равен

$$dJ_p = \left(\frac{R_p^2}{2}\right) m_p d\xi,$$

где $R_p = D_i/2$. Погонный момент инерции равен

$$J'_p \equiv \frac{dJ_p}{d\xi} = \frac{m_p R_p^2}{2}.$$

Момент инерции тонкого слоя потока относительно его диаметра равен

$$dJ_0 = 4\rho_0 d\xi \int_0^{\pi/2} \int_0^{r_0} r^3 dr \sin^2 \varphi d\varphi = \left(\frac{r_0^2}{4}\right) m_0 d\xi.$$

Погонный момент инерции потока равен

$$J'_0 \equiv \frac{dJ_0}{d\xi} = \frac{m_0 r_0^2}{4}.$$

Если пренебречь моментами, создаваемыми равномерно распределенными цепными усилиями \vec{N} и давлением, вследствие их малости, то уравнение моментов импульсов [4,7] примет вид

$$dJ_e \cdot \partial_t \vec{\omega} = d\vec{M},$$

где $dJ_e = dJ_p + dJ_0$.

Момент $d\vec{M} \equiv \partial_\xi \vec{M} d\xi$ вращает элемент вокруг оси Z против часовой стрелки, а момент \vec{M} изгибает элемент. Он равен

$$|\vec{M}| = EJ_z \partial_{xx}^2 y,$$

$$\text{где } J_z = \left(\frac{\pi}{64} \right) \{ (D_t + \delta)^4 - (D_t - \delta)^4 \}$$

– момент инерции поперечного сечения трубы при изгибе.

Используя зависимости моментов инерции и углового ускорения, получим уравнение поворотного движения

$$J'_e \partial_{xtt}^3 y = \partial_\xi M = \partial_x M \cdot \cos \alpha,$$

где $\cos \alpha \approx 1$;

$$J'_e = \frac{m_p D_t^2}{8} + \frac{m_0 r_0^2}{4}$$

– погонный момент инерции трубы с потоком при вращении ее вокруг диаметра. Поскольку $\partial_x M = EJ_z \partial_{xxx}^3 y$, то уравнение поворотного движения приводится к виду

$$\partial_{xtt}^3 y = C_0^2 \partial_{xxx}^3 y, \quad (8)$$

где $C_0^2 \equiv EJ_z / J'_e$, причем константа C_0 имеет размерность скорости.

Проинтегрировав уравнение (8), получим частное решение в виде неоднородного волнового уравнения

$$\partial_{tt}^2 y = C_0^2 \partial_{xx}^2 y + \Phi(t).$$

Однако решение этого уравнения не удовлетворяет условиям жесткого защемления обоих концов трубы.

Проинтегрировав уравнение (8) методом разделения переменных, найдем для трубы с защемленными концами частное решение (7). Подставив это решение в уравнение (8), получим зависимость $b = aC_0$. Отсюда следует

$$f_n = \frac{aC_0}{(2\pi)} = \frac{nC_0}{L}.$$

для стержня с двумя защемленными концами.

Для основной моды ($n=1$) при длине трубы $L=1$ м, 5 м и 10 м, получаются частоты вибрационных колебаний $f_1=4540$ Гц, 910 Гц и 454 Гц соответственно.

Если использовать классическое уравнение четвертого порядка

$$\frac{C_b^2}{\partial x^4} y + \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0,$$

где $C_b^2 = EJ_z / m_b$ (m_b – погонная масса балки), то получаются собственные частоты

$$f = \frac{a^2 C_b}{2\pi}.$$

Для защемленной по концам балки имеем

$$a = \frac{1,5\pi}{L}; \quad f = \frac{1,125 \pi C_b}{L^2}.$$

При $n=1$ и $m_b = m_e$ имеем

$$C_b = 1,157 \frac{M^2}{c}; \quad f = \frac{555}{L^2}.$$

В этом случае для использованных выше длин L имеем частоты основных мод $f_1=555$ Гц; 22.2 Гц и 5.55 Гц соответственно.

Эти частоты существенно ниже, чем полученные по уравнениям (7) и (8). Более высокие частоты собственных вибраций, полученные с учетом инерции поворота поперечных сечений трубы, насыщают спектр собственных гармоник в области высоких частот дополнительно к гармоникам, определяемым классической теорией сопротивления материалов. Если частоты вибраций, определенные рассмотренными здесь двумя методами, совпадают, то возможно их взаимное усиление.

Поскольку всегда имеются посторонние источники возмущений (например, насосы и др.), то получаются вынужденные колебания с частотами этих источников, часто превышающими основные тона свободных колебаний. При этом могут возникать резонансы с более высокими модами.

Вибрации с поворотами поперечных сечений трубы без ее изгиба возбуждаются в рассматриваемом участке трубы ее соседним изгибаемым участком, отделенным от рассматриваемого участка опорой в виде кольцевой цилиндрической цапфы, плотно охватывающей трубу. Такая цапфа не пропускает деформации изгиба и сама воспринимает изгибающий момент.

Однако она пропускает деформации и напряжения нормального растяжения-сжатия и деформации закручивания трубы крутящими моментами. Вследствие этого на рассматриваемом участке трубы возможно появление поперечных усталостных трещин под действием растягивающих циклических напря-

жений и деформаций, а также возможны трещины от действия максимальных касательных напряжений, направленных под косыми углами к осевым растягивающим деформациям и создаваемым крутящими моментами.

Работа выполнена за счет средств Государственного задания, код научной темы 3-13, присвоенный организацией FFGU – 2024-0020.

Список литературы

1. Махутов Н.А., Пермяков В.Н. Ресурс безопасной эксплуатации сосудов и трубопроводов. Новосибирск: Наука. 2005. 516 с.
2. Махутов Н.А., Пермяков В.Н. и др. Безопасность России. Безопасность трубопроводного транспорта. М.: МГФ «Знание». 2002. 752 с.
3. Завьялов А.П., Лопатин А.С., Калинин В.А., Пивоварчук А.Н. Снижение риска природно-техногенных аварий на магистральных газопроводах // Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2023. №3(312). С. 119-124.
4. Разов И.О., Соколов В.Г., Дмитриев А.В., Березнев А.В. Параметрические колебания подземного и надземного нефтепровода // Архитектура, строительство, транспорт. 2023. №3(105). С. 48-60.
5. Ганиев Р.Ф., Ильгамов М.А., Хакимов А.Г., Шакирьянов М.М. Пространственные колебания трубопровода в сплошной среде под действием переменного внутреннего давления // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2016. №6. С. 3-13.
6. Ильгамов М.А., Шакирьянов М.М. Вынужденные и параметрические колебания трубопровода // Известия Уфимского научного центра РАН. 2020. №3. С. 5-11.
7. Токарев А.П., Спирин С.Е. Частоты вибрации гидродинамического происхождения в технологических трубопроводах // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2020. №3. С. 68-72.
8. Drozyner P. Determining the limits of piping vibration. Scientific problems of machines operation and maintenance. 2011. No. 1(165). Pp. 97-103.
9. Черенцов Д.А., Пирогов С.П. Определение частот свободных колебаний надземных участков трубопроводов, транспортирующих несжимаемую жидкость // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2023. №3. С. 84-94.
10. Худаяров Б.А., Комилова Х.М. Численное моделирование колебаний вязкоупругих трубопроводов, транспортирующих двухфазную среду в режиме пробкового течения // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2019. №61. С. 95-110.
11. Дмитриев А.В., Соколов В.Г., Березнев А.В. Частотные характеристики трубопровода большого диаметра с потоком жидкости в упругой грунтовой среде с учетом внутреннего давления // Вестник Евразийской науки. 2020. Т. 12. №6. С. 5-15.
12. Sokolov V.G., Razov I.O. Free oscillations of a thin-walled curved section of a main gas pipeline during ground laying. Bulletin of Eurasian Science. 2021. Vol. 13. No. 2. Pp. 15-22.
13. Соколов В.Г., Разов И.О. Свободные колебания тонкостенного криволинейного участка магистрального газопровода при подземной бестраншейной прокладке // Инновации и инвестиции. №8. 2023. С. 281-284.
14. Bahaadini R., Dashtbayazi M.R., Hosseini M., Khalili-Parizi Z. Stability analysis of composite thin-walled pipes conveying fluid. Ocean Engineering. 2018. No. 160. Pp. 311-323.
15. Djondjorov P., Vassilev V. Dynamic stability of fluid conveying cantilevered pipes on elastic foundations. Journal of Sound and Vibration. 2001. Vol. 247(3). Pp. 537-546.
16. Doare O. Local and global instability of fluid-conveying pipes on elastic foundations. Journal of Fluids and Structures. 2002. Vol. 16. Pp. 1-14.
17. Panda L.N., Kar R.C. Nonlinear dynamics of a pipe conveying pulsating fluid with combination, principal parametric and internal resonances. J. of Sound and Vibration. 2008. Vol. 309. Pp. 375-406.
18. Marzani A., Viola E. Formulation for dynamic instability of fluid-conveying pipe on nonuniform elastic foundation. Mech based des struct mech. 2012. No. 40. Pp. 83-95.
19. Зорин А.Е., Романцов А.С. Исследование состояния поверхностного слоя нефтегазопроводных труб // Заводская лаборатория. 2025. Т. 91. №7. С. 54-64.
20. Завьялов А.П., Гольдзон И.А. Методика определения напряженно-деформированного состояния длительное время эксплуатируемых газопроводов // Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2022. №4(309). С. 117-122.

References

1. Makhutov N.A., Permyakov V.N. *Resurs bezopasnoy ekspluatatsii sosudov i truboprovodov* [Resource of safe operation of vessels and pipelines]. Novosibirsk: Nauka Publ. 2005. 516 p.
2. Makhutov N.A., Permyakov V.N. and others. *Bezopasnost' Rossii. Bezopasnost' truboprovodnogo transporta* [Russia's security. Pipeline Transport Safety]. Moscow: MGF Znanie. 2002. 752 p.
3. Zavyalov A.P., Lopatin A.S., Kalinin V.A., Pivovarchuk A.N. Reducing the risk of natural and man-made accidents on main gas pipelines. *Trudy RGU nefi i gaza imeni I.M. Gubkina*. 2023. No. 3(312). Pp. 119-124.
4. Razov I.O., Sokolov V.G., Dmitriev A.V., Bereznev A.V. Parametric oscillations of an underground and aboveground oil pipeline. *Arkhitsektura, stroitel'stvo, transport*. 2023. No. 3(105). Pp. 48-60.
5. Ganiev R.F., Ilgamov M.A., Khakimov A.G., Shakiryanov M.M. Spatial pipeline fluctuations in a continuous medium under the influence of variable internal pressure. *Problemy mashinostroyeniya i nadezhnosti mashin*. 2016. No. 6. Pp. 3-13.
6. Ilgamov M.A., Shakiryanov M.M. Forced and parametric fluctuations of the pipeline. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2020. No. 3. Pp. 5-11.
7. Tokarev A.P., Spirin S.E. Vibration frequencies of hydrodynamic origin in technological pipelines. *Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya*. 2020. No. 3. Pp. 68-72.
8. Drozyner P. Determining the limits of piping vibration. Scientific problems of machines operation and maintenance. 2011. No. 1(165). Pp. 97-103.

9. Cherentsov D. A., Pirogov S. P. Determination of frequencies of free oscillations of aboveground sections of pipelines transporting incompressible liquid. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz*. 2023. No. 3. Pp. 84-94.
10. Khudayarov B.A., Komilova H.M. Numerical simulation of vibrations of viscoelastic pipelines transporting a two-phase medium in the cork flow mode. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika*. 2019. No. 61. Pp. 95-110.
11. Dmitriev A.V., Sokolov V.G., Bereznev A.V. Frequency characteristics of a large-diameter pipeline with a liquid flow in an elastic ground environment, taking into account internal pressure. *Vestnik Yevraziyskoy nauki*. 2020. V. 12. No. 6. Pp. 5-15.
12. Sokolov V.G., Razov I.O. Free oscillations of a thin-walled curved section of a main gas pipeline during ground laying. *Bulletin of Eurasian Science*. 2021. Vol. 13. No. 2. Pp. 15-22.
13. Sokolov V.G., Razov I.O. Free vibrations of a thin-walled curved section of the main gas pipeline during underground trenchless laying. *Innovatsii i investitsii*. No. 8. 2023. Pp. 281-284.
14. Bahaadini R., Dashtbayazi M.R., Hosseini M., Khalili-Parizi Z. Stability analysis of composite thin-walled pipes conveying fluid. *Ocean Engineering*. 2018. No. 160. Pp. 311-323.
15. Djondjorov P., Vassilev V. Dynamic stability of fluid conveying cantilevered pipes on elastic foundations. *Journal of Sound and Vibration*. 2001. Vol. 247(3). Pp. 537-546.
16. Doare O. Local and global instability of fluid-conveying pipes on elastic foundations. *Journal of Fluids and Structures*. 2002. Vol. 16. Pp. 1-14.
17. Panda L.N., Kar R.C. Nonlinear dynamics of a pipe conveying pulsating fluid with combination, principal parametric and internal resonances. *J. of Sound and Vibration*. 2008. Vol. 309. Pp. 375-406.
18. Marzani A., Viola E. Formulation for dynamic instability of fluid-conveying pipe on nonuniform elastic foundation. *Mech based des struct mech*. 2012. No. 40. Pp. 83-95.
19. Zorin A.E., Romantsov A.S. Investigation of the condition of the surface layer of oil and gas pipeline pipes. *Zavodskaya laboratoriya*. 2025. V. 91. No. 7. Pp. 54-64.
20. Zavyalov A.P., Goldzon I.A. Methodology for determining the stress-strain state of long-term operated gas pipelines. *Trudy RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina*. 2022. No. 4(309). Pp. 117-122.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Евдокимов Алексей Петрович

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Моделирования повреждений и разрушения машин, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 101000, Москва, Россия

Information about authors
Affiliations

Evdokimov Alexey Petrovich

Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher at the Laboratory for Modeling Damage and Destruction of Machines, A.A. Blagonravov Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences, 101000, Moscow, Russia

Поступила в редакцию 28.01.2026 г.

КАТАЛОГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА (ТЕРРИТОРИЯ ДАГЕСТАНА И ПРИГРАНИЧНЫЕ ЗОНЫ) И АКВАТОРИИ СРЕДНЕГО КАСПИЯ ЗА IV КВАРТАЛ 2025 г.

Магомедов Х.Д., Адилов З.А., Асекова З.О., Бжассо М.А., Гамидова А.М., Сагателова Е.Ю.,
Павличенко И.Н., Шахмарданова С.Г.

*Дагестанский филиал Федерального исследовательского центра
«Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия
e-mail: info@dbgsras.ru*

Рассматривается пространственно-временное распределение сейсмической активности на территории Дагестана и приграничных зон в IV квартале 2025 г., приводятся карта эпицентров и каталог землетрясений в рассматриваемый период.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическое затишье, энергетический класс.

CATALOG OF EARTHQUAKES FOR NORTHEASTERN CAUCASUS (DAGESTAN AND BORDER AREAS) AND THE MIDDLE CASPIAN FOR THE IV QUARTER 2025

Magomedov Kh.D., Adilov Z.A., Asekova Z.O., Bzhasso M.A., Gamidova A.M., Sagatlova E.Yu.,
Pavlichenko I.N., Shakhmardanova S.G.

*Dagestan branch of Federal Research Center Unified Geophysical Survey of Russian Academy
of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia*

The spatial-temporal distribution of seismic activity in the territory of Dagestan and the border zones in the IV quarter of 2025 is considered, a map of epicenters and a catalog of earthquakes for the period under consideration.

Keywords: earthquake, seismic calm, energy class.

В четвертом квартале 2025 г. наблюдается относительное сейсмическое затишье после двух ощутимых землетрясений во втором (Зубутлинское землетрясение [1] 2 мая) и третьем (Новокаякентское землетрясение [2] 26 августа) кварталах 2025 г. На территории Дагестана землетрясения выше 8-го энергетического класса (ЭК) в четвертом квартале не зафиксированы [3]. В рассматриваемый период два землетрясения 10-го и одно 9-го ЭК произошли на территории Чеченской Республики, одно землетрясение 10-го и два землетрясения 9-го ЭК зарегистрированы в северо-восточной части территории Азербайджана. По одному землетрясению 9-го ЭК зарегистрированы в акватории Каспийского моря, на территориях северо-западного Азербайджана и северо-восточной Грузии.

Карта эпицентров землетрясений в IV квартале 2025 г. представлена на рис. 1. Методы определения основных параметров землетрясений с четвертого квартала 2018 г. не изменились [4]. Энергетическая классификация землетрясений по-прежнему производится по шкале Т.Г. Раутиан [5].

Распределение землетрясений за IV квартал 2025 г. по энергетическим классам приведено в таблице 1. График повторяемости землетрясений, полученный по этим данным, представлен на рис. 2. Как видно из рисунка, коэффициент повторяемости в рассматриваемый квартал равен $\gamma=0.53$, представляет седьмой ЭК.

Инструментальный каталог землетрясений рассматриваемой территории за IV квартал 2025 г. [1]

представлен в таблице 2.

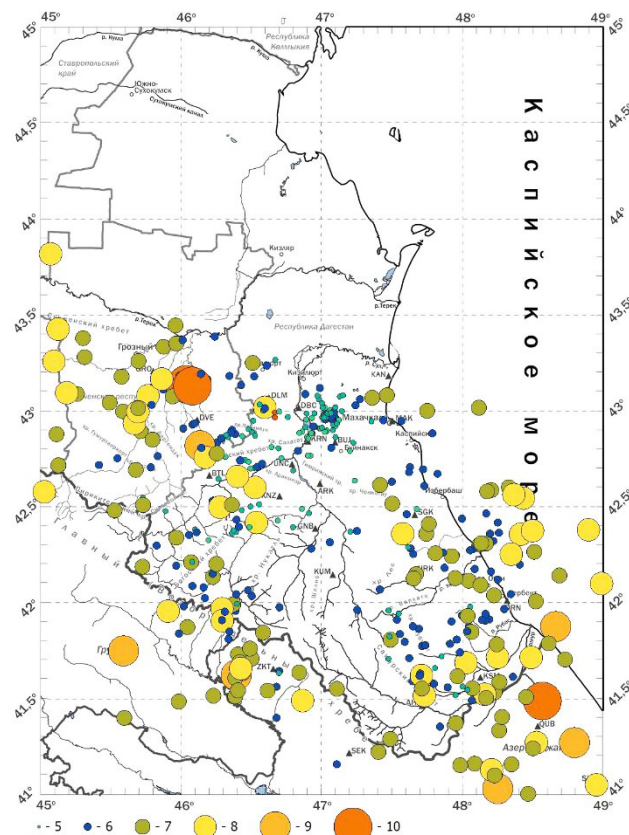


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений исследуемой территории за IV квартал 2025 г.

Таблица 1

Распределение землетрясений по энергетическим классам и выделившаяся сейсмическая энергия за IV квартал 2025 г.

K_p	5	6	7	8	9	10	ΣE , Дж
N	75	141	97	37	6	3	$4.08 \cdot 10^{10}$

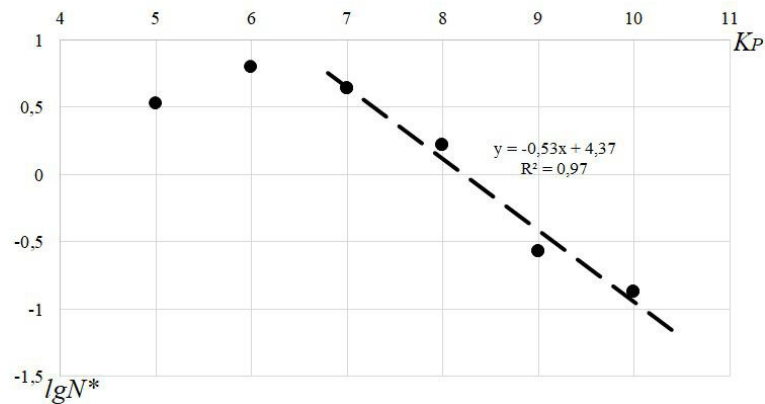


Рис. 2. График повторяемости за IV квартал 2025 г.

Таблица 2

Инструментальный каталог землетрясений Дагестана и приграничных зон за IV квартал 2025 г.

№	Дата, д. м. г.	Время, t_0 ч-м-с	δt_0	Гипоцентр			V_p/V_s	K_p	M_s	n	Географический район
				φ , °N	λ , °E	h , км					
1	01.10.25	01-22-24.50	0.35	41.55	47.11	15	1.71	6.55	1.42	5	
2	01.10.25	03-46-50.89	0.17	42.86	46.89	3	1.70	4.02	0.01	5	
3	01.10.25	23-49-40.67	-0.48	41.96	47.47	15	1.77	5.36	0.76	7	
4	02.10.25	15-48-54.71	0.02	41.53	48.23	6	1.74	6.56	1.42	5	
5	02.10.25	18-33-13.10	-0.14	42.25	47.95	15	1.74	6.34	1.30	10	
6	03.10.25	01-22-53.04	-2.68	41.16	47.11	48	1.84	6.48	1.38	4	
7	03.10.25	03-17-37.50	0.53	41.71	46.50	15	1.71	7.07	1.71	8	
8	04.10.25	04-49-37.23	0.06	41.59	47.65	24	1.73	6.47	1.37	7	
9	04.10.25	09-09-15.78	-0.92	43.33	45.87	15	1.77	7.09	1.72	10	
10	04.10.25	15-19-00.14	-2.79	43.26	45.09	30	1.81	8.33	2.41	7	
11	04.10.25	21-30-59.68	-0.51	41.58	47.80	6	1.76	5.75	0.97	6	
12	05.10.25	01-36-23.78	-0.24	38.73	49.17	14	1.73	9.96	3.31	4	
13	05.10.25	06-21-07.72	0.75	42.94	47.35	6	1.67	5.00	0.56	5	
14	05.10.25	13-09-37.49	-0.81	43.35	45.96	30	1.76	6.96	1.65	7	
15	05.10.25	13-28-10.21	-1.62	42.70	46.52	6	2.01	4.56	0.31	5	
16	05.10.25	20-58-12.12	-2.64	42.58	45.02	54	1.81	7.60	2.00	7	
17	06.10.25	02-26-08.32	1.09	42.51	47.50	15	1.67	6.71	1.50	9	
18	06.10.25	10-15-54.72	0.41	42.60	46.52	39	1.71	7.91	2.17	13	
19	06.10.25	18-31-31.38	-0.85	41.82	49.03	18	1.76	7.98	2.21	7	
20	07.10.25	04-49-30.72	-1.30	41.73	49.02	30	1.78	8.64	2.58	7	
21	07.10.25	05-45-13.85	-1.86	41.27	48.53	15	1.80	7.79	2.10	7	
22	07.10.25	06-41-41.97	-1.81	42.38	48.90	18	1.79	8.36	2.42	10	
23	07.10.25	10-05-06.02	-1.29	42.36	48.41	9	1.79	8.11	2.28	9	
24	07.10.25	20-46-42.45	-0.05	42.88	46.93	3	1.74	3.46	-0.30	4	
25	07.10.25	22-23-09.27	0.13	42.74	46.45	9	1.72	4.51	0.28	9	
26	08.10.25	04-56-10.87	0.23	42.97	47.03	6	1.71	5.34	0.74	4	
27	08.10.25	15-29-30.66	-2.10	43.21	44.60	69	1.79	8.23	2.35	6	
28	08.10.25	22-27-35.23	0.54	42.35	46.05	30	1.71	6.20	1.22	8	
29	09.10.25	09-32-47.46	-1.04	42.51	46.55	15	1.84	4.81	0.45	6	
30	09.10.25	21-30-08.80	-2.71	43.28	45.31	33	1.81	6.84	1.58	8	
31	09.10.25	22-59-45.11	-0.12	41.98	48.06	15	1.74	5.44	0.80	5	
32	10.10.25	07-56-21.75	0.07	41.69	48.03	3	1.73	8.30	2.39	12	
33	10.10.25	16-11-03.32	-0.97	41.84	47.56	15	1.80	6.19	1.22	7	
34	11.10.25	00-36-49.63	-0.86	42.54	45.73	18	1.78	5.23	0.68	6	
35	11.10.25	02-45-38.98	-2.92	41.75	44.31	2	1.79	8.04	2.24	7	
36	11.10.25	15-07-05.23	0.46	42.86	47.10	15	1.67	4.60	0.33	6	
37	11.10.25	23-12-55.82	-0.74	41.71	47.47	6	1.78	5.34	0.75	4	

Таблица 2 (Продолжение)

38	11.10.25	23-14-54.67	1.20	42.26	48.30	18	1.68	5.53	0.85	4	
39	12.10.25	13-37-54.30	0.51	42.61	47.41	3	1.70	6.70	1.50	10	
40	12.10.25	21-10-31.97	-1.36	43.14	46.04	33	1.79	9.57	3.09	11	Чеченская Республика
41	13.10.25	00-13-24.13	-0.29	42.37	47.25	15	1.75	5.81	1.01	10	
42	13.10.25	03-50-25.37	-1.69	43.37	46.01	18	1.81	6.19	1.22	6	
43	13.10.25	05-53-38.52	0.03	42.96	47.00	9	1.73	5.17	0.65	5	
44	13.10.25	16-06-39.33	-1.49	42.88	44.02	10	1.76	7.77	2.10	6	
45	13.10.25	16-45-49.95	-1.00	40.76	48.44	54	1.76	8.66	2.59	6	
46	13.10.25	19-30-12.65	-1.52	41.36	49.03	18	1.78	8.83	2.69	6	
47	13.10.25	23-35-56.65	-2.41	40.79	48.35	18	1.81	8.18	2.32	6	
48	14.10.25	02-13-07.95	0.05	42.32	48.22	9	1.72	6.23	1.24	5	
49	14.10.25	06-23-56.46	-1.40	41.16	48.35	75	1.78	7.01	1.67	3	
50	14.10.25	13-56-58.20	0.10	42.77	46.92	3	1.71	3.82	-0.10	6	
51	14.10.25	22-20-34.79	-2.45	41.00	48.47	30	1.82	7.10	1.72	4	
52	15.10.25	00-51-46.25	-0.42	42.95	46.51	6	1.76	5.12	0.62	9	
53	15.10.25	08-43-54.47	-0.02	42.21	46.07	6	1.73	6.51	1.39	10	
54	15.10.25	15-07-59.47	0.35	42.64	46.26	6	1.71	5.30	0.72	8	
55	16.10.25	03-06-56.19	-1.79	42.87	45.82	15	1.83	5.15	0.64	5	
56	16.10.25	05-05-18.09	0.15	42.71	45.12	60	1.73	7.09	1.72	6	
57	16.10.25	12-02-16.76	0.15	42.70	46.49	9	1.71	4.31	0.17	5	
58	16.10.25	20-17-56.60	-0.33	40.98	47.11	18	1.74	7.17	1.76	5	
59	16.10.25	20-46-37.40	0.37	43.00	47.02	6	1.69	4.46	0.25	5	
60	16.10.25	22-38-25.46	0.07	42.21	46.08	6	1.73	4.75	0.42	4	
61	17.10.25	08-41-04.55	-2.78	41.05	43.89	35	1.78	8.77	2.65	8	
62	17.10.25	12-41-46.37	-1.20	43.18	45.57	18	1.77	6.64	1.47	7	
63	17.10.25	22-33-02.89	0.21	42.03	46.50	6	1.72	6.07	1.15	9	
64	18.10.25	08-48-25.56	-0.93	42.34	45.96	15	1.78	6.62	1.46	7	
65	19.10.25	12-13-23.56	-0.17	41.79	47.59	24	1.74	6.37	1.32	5	
66	19.10.25	15-23-22.32	2.62	41.48	45.98	48	1.66	7.27	1.82	7	
67	19.10.25	17-32-19.15	-1.45	42.13	46.22	24	1.82	7.39	1.88	5	
68	20.10.25	03-25-23.26	0.04	43.04	47.00	6	1.73	4.58	0.32	5	
69	20.10.25	07-47-52.89	-0.22	43.06	46.98	6	1.76	5.16	0.64	6	
70	20.10.25	08-01-07.87	0.11	42.24	47.92	15	1.73	6.84	1.58	14	
71	20.10.25	13-38-00.14	-0.81	42.54	48.43	9	1.76	8.19	2.33	14	
72	20.10.25	15-00-16.38	0.35	43.19	46.05	6	1.71	6.48	1.38	9	
73	20.10.25	15-42-58.41	0.74	42.89	47.03	6	1.65	4.44	0.24	5	
74	20.10.25	19-01-10.78	-1.73	40.79	48.41	24	1.79	7.81	2.12	5	
75	21.10.25	07-10-35.82	-0.90	41.71	46.50	18	1.77	6.75	1.53	9	
76	21.10.25	21-07-17.48	2.14	41.73	46.40	24	1.65	6.63	1.46	9	
77	22.10.25	10-50-27.09	-0.73	41.96	46.39	18	1.77	6.49	1.38	5	
78	22.10.25	10-57-01.57	-0.79	42.95	47.44	9	1.79	5.75	0.97	5	
79	22.10.25	13-08-48.64	-1.04	41.99	46.37	9	1.78	6.75	1.53	7	
80	22.10.25	19-58-05.61	-0.10	43.07	47.36	18	1.74	6.72	1.51	11	
81	23.10.25	00-21-12.06	-3.04	40.46	44.48	85	1.78	8.16	2.31	6	
82	23.10.25	19-02-34.30	-3.92	40.63	49.07	45	1.83	8.41	2.45	5	
83	23.10.25	20-15-21.52	-0.63	41.88	48.04	3	1.77	5.78	0.99	6	
84	23.10.25	20-40-46.01	0.67	41.94	48.04	3	1.69	6.05	1.14	5	
85	24.10.25	07-42-45.93	0.52	42.19	45.96	6	1.70	5.83	1.02	7	
86	24.10.25	15-29-49.23	-0.06	42.42	48.25	24	1.73	6.42	1.34	5	
87	24.10.25	16-07-45.28	-2.77	43.42	45.12	24	1.82	8.40	2.45	8	
88	25.10.25	03-07-11.00	-1.53	43.26	45.69	18	1.79	7.29	1.83	9	
89	25.10.25	07-27-22.40	-0.41	42.96	47.09	9	1.77	5.98	1.10	6	
90	25.10.25	09-35-47.44	0.76	41.29	47.49	18	1.70	7.48	1.93	4	
91	26.10.25	00-16-54.17	1.16	41.91	48.19	30	1.66	5.83	1.02	5	
92	26.10.25	00-47-43.82	-7.27	40.33	50.09	1	1.84	8.24	2.36	9	
93	26.10.25	05-28-09.11	-0.03	42.43	46.69	6	1.74	4.25	0.14	6	
94	26.10.25	07-20-36.68	-0.89	42.63	47.50	3	1.79	5.68	0.93	5	
95	26.10.25	07-20-40.20	-0.17	42.36	46.36	18	1.74	5.22	0.68	6	
96	26.10.25	12-06-55.00	0.50	41.66	47.80	24	1.69	5.49	0.83	3	
97	26.10.25	16-28-14.86	2.71	42.63	47.23	45	1.59	4.45	0.25	4	
98	26.10.25	16-28-21.59	-0.97	42.69	47.72	15	1.77	6.08	1.16	7	

Таблица 2 (Продолжение)

99	26.10.25	19-00-00.29	-1.51	42.93	46.08	6	1.80	6.21	1.23	7	
100	26.10.25	19-50-56.76	0.11	41.56	48.00	9	1.72	5.24	0.69	4	
101	26.10.25	23-07-34.83	-1.06	42.20	48.41	6	1.79	5.76	0.98	5	
102	27.10.25	12-26-41.97	0.52	42.92	47.09	9	1.67	4.17	0.09	5	
103	27.10.25	22-06-10.23	0.39	42.46	47.60	15	1.72	6.45	1.36	11	
104	28.10.25	02-35-48.39	-0.04	42.08	46.16	18	1.73	6.02	1.12	8	
105	28.10.25	03-35-08.14	0.79	42.61	47.73	6	1.70	6.27	1.26	12	
106	28.10.25	06-12-01.87	0.63	42.43	46.59	9	1.67	5.21	0.67	7	
107	28.10.25	13-46-58.32	-0.28	42.77	46.90	6	1.78	3.98	-0.01	4	
108	29.10.25	07-32-33.59	-0.15	43.08	45.76	18	1.74	7.70	2.06	7	
109	29.10.25	18-54-06.02	0.18	41.52	48.16	9	1.73	8.48	2.49	7	
110	29.10.25	20-47-02.34	0.13	41.55	48.07	18	1.73	6.56	1.42	6	
111	29.10.25	21-43-24.66	0.06	41.50	48.17	9	1.74	6.91	1.62	5	
112	30.10.25	16-08-17.43	0.50	42.79	46.83	3	1.70	6.09	1.16	9	
113	30.10.25	16-34-35.27	1.34	41.81	47.49	18	1.67	7.36	1.87	10	
114	30.10.25	20-44-53.81	-0.14	42.30	45.82	18	1.74	6.07	1.15	5	
115	30.10.25	23-44-30.34	1.14	42.09	46.08	9	1.68	6.47	1.37	7	
116	31.10.25	06-41-05.78	-0.23	42.75	46.71	3	1.77	3.95	-0.03	5	
117	31.10.25	06-47-21.83	0.64	41.93	48.00	15	1.69	5.69	0.94	7	
118	31.10.25	17-09-05.11	0.08	42.98	46.89	15	1.72	5.06	0.59	6	
119	31.10.25	21-14-22.53	-0.64	41.10	50.59	24	1.74	10.28	3.49	7	
120	31.10.25	21-34-34.53	-0.58	40.72	48.16	30	1.75	6.89	1.61	5	
121	01.11.25	01-41-51.83	-3.86	41.49	50.01	54	1.82	7.71	2.06	5	
122	01.11.25	13-02-40.10	1.07	42.15	47.67	15	1.67	6.75	1.53	12	
123	01.11.25	14-03-42.31	-0.14	40.95	48.11	18	1.73	9.73	3.19	9	
124	01.11.25	21-29-54.30	-0.71	42.88	47.79	18	1.77	6.20	1.22	7	
125	01.11.25	22-16-41.12	-1.61	40.97	48.18	18	1.79	7.50	1.95	7	
126	01.11.25	22-30-16.53	-1.01	42.36	48.26	15	1.79	6.04	1.13	5	
127	01.11.25	22-50-59.06	-0.72	40.94	48.18	18	1.75	8.90	2.72	11	
128	01.11.25	23-00-33.12	-0.39	41.24	48.50	9	1.75	6.56	1.42	5	
129	01.11.25	23-29-17.52	-0.26	41.97	45.90	9	1.74	5.96	1.09	6	
130	02.11.25	05-50-15.79	-0.04	41.86	47.69	3	1.74	5.66	0.92	4	
131	02.11.25	13-12-18.02	-0.91	40.94	48.26	48	1.77	7.17	1.76	4	
132	02.11.25	14-19-23.41	-2.64	41.38	47.99	45	1.86	6.29	1.27	3	
133	02.11.25	14-46-30.23	-4.82	40.51	50.79	72	1.80	9.39	2.99	9	
134	02.11.25	15-49-31.73	-3.45	41.03	43.73	11	1.79	11.38	4.10	10	
135	03.11.25	03-36-50.28	-6.69	40.14	52.79	5	1.80	10.59	3.66	13	
136	03.11.25	06-15-04.77	-0.99	41.71	48.28	33	1.80	6.00	1.11	4	
137	03.11.25	16-04-45.42	1.95	42.36	47.58	24	1.64	7.82	2.12	15	
138	03.11.25	20-35-57.54	-2.11	41.16	48.09	30	1.79	6.79	1.55	10	
139	03.11.25	23-06-21.19	-0.55	42.76	46.31	15	1.77	4.48	0.27	5	
140	04.11.25	19-11-12.19	-0.48	41.51	47.73	15	1.77	8.43	2.46	13	
141	04.11.25	20-39-04.36	-0.38	42.60	48.33	18	1.74	6.86	1.59	8	
142	04.11.25	23-21-06.44	-1.03	41.40	45.59	30	1.76	6.77	1.54	4	
143	05.11.25	00-34-43.90	-0.65	42.56	48.37	9	1.75	7.72	2.07	12	
144	05.11.25	01-42-28.00	-0.53	41.91	48.16	18	1.76	6.31	1.28	9	
145	05.11.25	06-49-19.05	-0.70	41.95	45.91	18	1.76	8.28	2.38	10	
146	05.11.25	14-08-04.31	-0.63	42.11	48.04	18	1.77	6.63	1.46	6	
147	05.11.25	18-43-44.52	-1.50	43.09	45.26	18	1.78	6.92	1.62	7	
148	05.11.25	20-19-22.23	0.56	42.95	47.12	6	1.67	4.22	0.12	4	
149	05.11.25	23-43-08.40	-1.52	42.89	45.71	18	1.80	6.93	1.63	9	
150	06.11.25	13-13-05.70	0.36	43.25	46.51	9	1.72	7.46	1.92	10	
151	06.11.25	15-03-26.67	-2.10	43.09	45.18	18	1.80	8.10	2.28	10	
152	06.11.25	20-47-10.20	-0.28	42.91	46.88	3	1.76	5.13	0.63	9	
153	06.11.25	22-17-39.75	0.46	42.96	47.04	3	1.67	3.94	-0.03	4	
154	06.11.25	23-39-36.09	-0.06	41.59	48.26	3	1.73	6.59	1.44	6	
155	07.11.25	00-25-17.93	-0.40	42.93	46.10	54	1.75	5.84	1.02	9	
156	07.11.25	03-35-16.43	-2.39	43.82	45.07	54	1.79	7.76	2.09	8	
157	07.11.25	05-57-04.40	0.08	42.25	47.65	24	1.73	5.96	1.09	8	
158	07.11.25	11-09-08.46	-0.05	43.00	45.59	24	1.73	7.28	1.82	8	
159	07.11.25	11-44-00.66	0.58	42.73	46.48	6	1.66	4.49	0.27	4	

Информационный раздел

Таблица 2 (Продолжение)

160	07.11.25	16-07-11.05	-2.16	40.87	46.68	24	1.79	8.26	2.37	9	
161	07.11.25	18-59-27.25	-2.08	40.14	46.84	2	1.78	7.63	2.02	4	
162	07.11.25	19-08-46.80	-2.95	40.08	46.88	12	1.80	8.06	2.25	5	
163	07.11.25	22-53-43.42	0.40	42.80	46.69	9	1.70	4.79	0.44	10	
164	08.11.25	04-36-25.65	-1.66	42.48	45.89	30	1.81	5.23	0.69	7	
165	08.11.25	04-42-38.98	0.19	42.88	46.38	15	1.72	5.81	1.01	9	
166	08.11.25	06-03-57.55	1.02	43.16	46.18	9	1.66	5.59	0.89	3	
167	08.11.25	06-04-05.16	1.23	42.79	47.20	15	1.60	3.54	-0.25	4	
168	08.11.25	09-30-42.85	-2.27	41.27	48.80	24	1.79	9.40	3.00	12	Северо-восток Азербайджана
169	08.11.25	14-59-33.16	0.08	42.93	47.08	6	1.72	4.83	0.46	4	
170	08.11.25	20-13-36.30	10.21	42.39	46.79	60	1.38	5.13	0.63	8	
171	08.11.25	20-44-47.85	-0.06	40.98	48.06	18	1.73	6.35	1.31	4	
172	08.11.25	22-20-29.16	1.28	42.83	46.25	54	1.68	5.87	1.04	10	
173	08.11.25	23-30-28.77	0.69	42.90	46.36	6	1.69	6.02	1.12	10	
174	08.11.25	23-54-56.78	1.01	42.89	46.50	9	1.66	5.27	0.71	9	
175	09.11.25	01-32-00.44	-2.05	43.39	46.24	15	1.82	5.93	1.07	5	
176	09.11.25	01-35-32.57	0.42	42.86	46.33	9	1.70	5.25	0.69	8	
177	09.11.25	02-07-05.94	0.96	42.89	46.35	6	1.67	5.76	0.98	7	
178	09.11.25	02-33-00.02	0.17	42.90	46.48	6	1.72	5.19	0.66	8	
179	09.11.25	09-03-49.43	0.43	41.62	47.71	24	1.72	8.05	2.25	7	
180	09.11.25	22-50-26.20	1.50	40.48	47.48	48	1.69	9.76	3.20	5	
181	10.11.25	03-08-37.09	0.19	43.18	46.52	30	1.72	5.88	1.04	8	
182	10.11.25	04-04-34.44	2.73	41.61	48.36	33	1.53	6.42	1.35	3	
183	10.11.25	10-34-48.92	-0.20	42.86	46.28	6	1.74	5.99	1.11	7	
184	10.11.25	14-38-38.06	-1.06	41.03	48.25	48	1.77	8.80	2.67	5	Северо-восток Азербайджана
185	10.11.25	14-38-40.89	-1.64	41.13	48.21	48	1.77	8.50	2.50	8	
186	10.11.25	20-00-34.85	-0.22	42.97	47.03	15	1.75	5.84	1.02	9	
187	10.11.25	20-14-57.53	-0.33	42.96	46.67	3	1.79	3.47	-0.29	3	
188	10.11.25	21-19-38.46	1.22	42.42	46.53	33	1.68	7.52	1.95	15	
189	10.11.25	23-19-18.20	0.02	43.00	47.06	6	1.73	4.27	0.15	3	
190	11.11.25	00-00-27.29	-0.76	42.95	47.08	9	1.84	4.17	0.09	5	
191	11.11.25	03-31-05.33	0.20	42.78	46.14	18	1.72	6.51	1.39	10	
192	11.11.25	13-47-17.11	0.41	42.71	46.54	18	1.70	5.61	0.89	6	
193	11.11.25	13-48-37.37	0.02	42.72	46.57	15	1.73	5.62	0.90	6	
194	11.11.25	14-15-11.07	-0.79	43.07	45.94	18	1.77	6.72	1.51	8	
195	11.11.25	20-07-03.08	0.60	42.38	46.10	15	1.69	5.09	0.60	4	
196	11.11.25	21-11-41.95	0.32	42.15	46.22	24	1.71	6.13	1.18	6	
197	12.11.25	00-28-35.08	-0.74	42.51	45.73	9	1.76	6.80	1.56	12	
198	12.11.25	05-12-58.08	-1.95	41.87	48.66	33	1.80	9.11	2.84	12	Каспийское море
199	12.11.25	12-13-49.11	0.54	42.18	47.87	18	1.69	6.03	1.13	7	
200	12.11.25	20-17-48.13	-0.16	43.26	46.67	3	1.74	5.40	0.78	5	
201	12.11.25	20-37-05.79	-0.80	43.02	46.59	6	1.78	8.34	2.41	14	
202	12.11.25	21-40-22.30	0.77	43.03	46.56	9	1.67	4.90	0.50	7	
203	13.11.25	01-40-14.90	-0.21	42.99	46.67	15	1.76	3.07	-0.52	5	
204	13.11.25	10-15-52.57	0.06	42.37	46.11	15	1.73	6.24	1.24	7	
205	13.11.25	10-43-53.25	2.31	42.91	46.98	3	1.46	5.21	0.67	5	
206	13.11.25	10-44-30.33	-0.07	42.89	46.86	6	1.75	4.00	0.00	5	
207	13.11.25	16-38-12.38	-1.51	42.50	46.49	48	1.85	4.59	0.33	6	
208	14.11.25	18-10-10.13	-0.58	42.26	47.86	6	1.76	6.23	1.24	9	
209	15.11.25	02-52-52.41	-0.24	42.72	45.41	18	1.74	6.23	1.24	6	
210	15.11.25	11-46-57.11	-0.52	42.13	47.95	24	1.77	6.91	1.61	6	
211	15.11.25	16-14-43.78	0.03	42.96	46.93	3	1.72	4.02	0.01	4	
212	15.11.25	16-20-43.20	-0.57	41.37	47.95	9	1.76	7.05	1.69	5	
213	15.11.25	16-45-27.57	-0.13	41.87	46.04	24	1.74	6.89	1.60	7	
214	15.11.25	17-10-32.51	0.70	42.81	46.64	9	1.64	4.37	0.21	4	
215	15.11.25	22-30-23.42	0.69	41.84	45.98	24	1.70	6.34	1.30	6	
216	16.11.25	02-18-43.91	-0.25	42.14	48.69	15	1.74	6.67	1.48	6	
217	16.11.25	02-19-37.75	0.61	42.98	47.01	6	1.67	5.13	0.63	5	
218	16.11.25	11-35-02.03	-0.15	42.20	46.25	6	1.74	6.97	1.65	10	
219	17.11.25	02-30-39.17	0.10	43.00	46.58	3	1.71	4.48	0.27	3	
220	17.11.25	04-43-49.50	9.18	42.88	46.93	3	1.24	4.43	0.24	4	

Таблица 2 (Продолжение)

221	17.11.25	04-52-57.19	0.76	43.00	46.58	15	1.66	5.11	0.62	5	
222	17.11.25	09-18-21.56	0.41	42.93	45.67	18	1.71	7.82	2.12	7	
223	17.11.25	11-57-18.81	-1.03	41.71	48.49	6	1.77	8.30	2.39	11	
224	17.11.25	18-43-33.57	-0.06	42.82	46.13	6	1.73	8.52	2.51	13	Республика Чечня - Дагестан
225	17.11.25	18-44-04.60	0.06	42.76	46.17	48	1.73	7.68	2.05	9	
226	17.11.25	19-05-26.24	0.13	42.81	46.14	6	1.72	6.48	1.38	10	
227	17.11.25	22-42-58.57	0.03	43.01	46.59	6	1.71	5.69	0.94	10	
228	18.11.25	03-54-00.40	-0.13	41.52	47.95	9	1.74	5.31	0.73	4	
229	18.11.25	04-37-22.37	6.81	42.91	46.01	39	1.52	5.83	1.02	8	
230	18.11.25	11-56-10.20	1.70	42.95	47.57	24	1.63	5.96	1.09	6	
231	18.11.25	20-21-32.28	-4.26	41.15	50.15	23	1.83	7.91	2.17	4	
232	19.11.25	00-08-21.19	-0.40	42.59	48.20	15	1.75	7.02	1.68	11	
233	19.11.25	14-56-08.67	-1.41	43.38	45.30	24	1.78	6.87	1.59	6	
234	19.11.25	15-31-59.65	-0.37	42.70	45.78	9	1.75	5.89	1.05	7	
235	19.11.25	17-54-12.92	-0.43	41.91	48.14	15	1.76	6.19	1.22	5	
236	20.11.25	00-47-39.35	2.04	42.87	46.32	18	1.62	5.43	0.80	9	
237	20.11.25	15-32-54.34	-1.52	42.58	48.18	18	1.80	6.98	1.66	7	
238	20.11.25	21-31-29.08	-1.19	42.35	47.76	24	1.81	5.99	1.11	5	
239	21.11.25	03-10-11.96	-3.19	43.31	44.42	69	1.81	8.08	2.27	8	
240	21.11.25	03-16-49.06	-0.95	41.79	48.61	18	1.77	6.87	1.60	6	
241	21.11.25	03-33-03.47	0.02	42.32	46.19	9	1.73	4.48	0.27	4	
242	21.11.25	08-24-41.36	-0.84	42.75	45.54	18	1.77	6.43	1.35	8	
243	21.11.25	11-32-45.60	-2.75	42.76	44.33	54	1.79	8.48	2.49	9	
244	21.11.25	13-20-56.85	-0.77	43.18	45.99	18	1.77	6.50	1.39	7	
245	22.11.25	00-30-37.60	-1.08	42.75	44.79	30	1.76	9.89	3.27	10	
246	22.11.25	16-11-13.02	-0.39	41.62	47.96	9	1.76	6.60	1.44	5	
247	22.11.25	19-45-29.40	-0.91	41.55	47.71	9	1.80	6.72	1.51	6	
248	23.11.25	11-31-06.13	1.13	42.74	46.42	45	1.67	5.92	1.06	6	
249	24.11.25	02-46-36.15	-0.53	42.19	45.72	15	1.75	6.64	1.47	7	
250	24.11.25	03-45-44.85	0.74	42.69	46.80	24	1.68	5.25	0.70	3	
251	24.11.25	07-25-05.01	1.14	42.37	46.39	18	1.65	5.38	0.76	6	
252	24.11.25	22-58-17.46	-2.13	40.79	48.57	48	1.78	8.45	2.47	8	
253	24.11.25	23-40-33.33	-3.51	42.62	43.53	5	1.80	7.55	1.97	5	
254	25.11.25	01-12-51.67	0.13	42.99	46.70	9	1.71	4.24	0.13	6	
255	25.11.25	01-24-27.63	2.20	42.99	46.95	6	1.52	4.66	0.37	6	
256	25.11.25	14-14-44.89	0.68	42.71	47.63	18	1.69	5.68	0.93	7	
257	25.11.25	17-20-07.29	0.47	42.04	46.39	18	1.71	6.28	1.27	7	
258	25.11.25	23-38-04.38	0.10	41.35	47.84	33	1.73	5.99	1.10	5	
259	26.11.25	09-12-28.58	1.70	42.99	45.69	18	1.67	7.58	1.99	9	
260	27.11.25	01-21-21.49	-0.12	41.90	46.36	18	1.74	5.04	0.58	5	
261	27.11.25	01-28-48.53	-1.15	43.03	45.79	15	1.78	5.90	1.05	8	
262	27.11.25	19-13-53.81	-0.42	41.96	47.25	15	1.76	5.55	0.86	8	
263	28.11.25	03-55-52.25	-0.96	41.97	46.29	9	1.77	7.77	2.10	14	
264	28.11.25	15-02-53.95	0.55	42.88	46.84	6	1.65	4.36	0.20	5	
265	28.11.25	20-05-03.11	-0.16	41.85	48.06	15	1.74	7.07	1.71	9	
266	28.11.25	23-24-18.21	0.34	42.68	47.62	6	1.72	5.89	1.05	14	
267	29.11.25	23-37-25.00	2.31	42.10	48.99	9	1.66	8.06	2.25	10	
268	30.11.25	06-19-16.43	1.18	42.92	46.94	3	1.57	6.19	1.22	5	
269	01.12.25	01-43-08.36	-1.20	42.95	46.89	15	1.97	4.35	0.19	4	
270	01.12.25	06-44-51.44	1.57	42.26	48.51	24	1.66	7.32	1.85	4	
271	02.12.25	00-36-21.36	-0.02	41.40	46.68	24	1.73	6.15	1.19	6	
272	02.12.25	00-38-36.24	-0.92	42.85	46.90	9	1.90	3.86	-0.08	4	
273	02.12.25	03-00-19.23	-0.47	43.11	45.87	15	1.75	6.28	1.27	7	
274	02.12.25	08-08-41.18	-0.70	42.31	48.17	24	1.77	6.88	1.60	6	
275	02.12.25	08-33-00.23	0.20	42.28	46.92	24	1.71	5.78	0.99	7	
276	02.12.25	09-34-52.61	0.17	41.77	47.71	15	1.72	6.43	1.35	6	
277	02.12.25	09-57-51.80	-0.24	41.98	46.02	15	1.74	6.12	1.18	5	
278	02.12.25	13-05-59.58	-1.18	41.90	46.29	15	1.78	8.31	2.40	8	
279	02.12.25	13-08-51.51	0.14	42.31	47.06	15	1.72	5.97	1.09	8	
280	02.12.25	13-44-01.03	-0.39	42.28	47.63	15	1.76	5.97	1.09	6	
281	02.12.25	13-49-36.18	-0.51	42.37	47.20	9	1.79	5.06	0.59	4	

Таблица 2 (Продолжение)

282	02.12.25	14-36-19.99	-0.67	42.30	48.12	15	1.77	7.28	1.82	7	
283	02.12.25	15-17-07.82	-0.66	41.70	48.73	24	1.76	7.36	1.87	7	
284	02.12.25	18-33-10.66	-0.72	40.92	48.13	24	1.76	7.90	2.17	5	
285	02.12.25	22-07-52.65	0.60	42.29	47.61	3	1.69	5.10	0.61	6	
286	02.12.25	23-53-11.00	-1.49	43.01	48.12	24	1.79	7.37	1.87	7	
287	03.12.25	19-58-35.47	1.76	41.91	46.29	18	1.64	6.08	1.15	4	
288	03.12.25	20-47-17.21	-2.44	41.15	47.98	9	1.87	6.60	1.44	4	
289	04.12.25	00-39-21.40	0.37	42.67	47.82	18	1.72	5.91	1.06	9	
290	04.12.25	01-07-35.50	-6.44	40.54	51.64	98	1.82	8.60	2.55	7	
291	04.12.25	01-54-45.46	-0.63	41.64	46.70	18	1.76	6.02	1.12	7	
292	04.12.25	03-16-13.03	-2.05	41.56	46.68	24	1.81	6.43	1.35	9	
293	04.12.25	16-16-43.78	-0.42	41.95	46.31	18	1.75	6.37	1.32	6	
294	04.12.25	22-07-28.55	-3.68	40.20	49.64	9	1.81	8.01	2.23	4	
295	05.12.25	01-05-03.07	0.13	41.94	48.16	3	1.74	5.51	0.84	7	
296	05.12.25	07-29-44.84	-2.15	42.03	49.52	30	1.78	9.54	3.08	10	
297	05.12.25	12-16-37.04	-1.59	41.53	49.54	60	1.77	8.92	2.73	7	
298	05.12.25	18-13-18.78	-0.22	42.83	47.22	15	1.75	5.03	0.57	5	
299	05.12.25	22-39-29.72	-1.17	41.33	48.26	9	1.78	6.53	1.41	6	
300	06.12.25	00-29-14.99	0.52	42.90	47.04	9	1.69	5.21	0.67	6	
301	06.12.25	06-09-47.20	-0.15	42.91	46.99	3	1.76	4.70	0.39	4	
302	06.12.25	11-56-55.81	-0.27	41.71	48.25	15	1.74	8.45	2.47	9	
303	06.12.25	17-14-16.95	-3.50	40.88	48.80	24	1.86	7.97	2.20	4	
304	07.12.25	01-26-00.64	0.52	42.91	47.00	18	1.68	5.47	0.82	6	
305	07.12.25	02-36-33.02	-1.10	42.17	48.09	6	1.78	6.20	1.22	9	
306	07.12.25	07-20-21.50	-1.39	43.13	46.08	39	1.78	9.56	3.09	12	Чеченская Республика
307	07.12.25	21-50-53.93	-3.05	42.05	49.07	24	1.84	6.73	1.52	4	
308	08.12.25	14-11-15.73	0.83	43.04	45.49	18	1.70	7.13	1.74	7	
309	09.12.25	04-43-55.09	-2.53	41.76	46.49	24	1.86	6.70	1.50	7	
310	09.12.25	09-37-00.81	0.59	42.39	46.41	24	1.69	6.35	1.30	6	
311	09.12.25	16-08-32.99	-3.86	40.97	44.03	18	1.80	8.72	2.62	4	
312	09.12.25	16-08-32.99	-3.86	40.97	44.03	18	1.80	8.72	2.62	4	
313	09.12.25	18-18-53.70	-1.86	41.49	48.57	18	1.79	10.15	3.41	9	Северо-восток Азербайджана
314	10.12.25	01-11-34.51	-1.98	42.02	49.19	33	1.78	8.54	2.52	11	
315	10.12.25	02-02-30.43	-4.32	41.69	46.41	54	1.90	7.30	1.83	6	
316	10.12.25	08-42-53.70	-1.53	41.49	46.86	15	1.79	7.83	2.13	6	
317	10.12.25	15-05-31.99	0.55	42.37	48.50	24	1.71	8.32	2.40	9	
318	10.12.25	15-18-53.23	0.89	42.90	47.08	3	1.62	5.34	0.74	4	
319	10.12.25	23-48-44.44	0.42	42.99	47.09	9	1.70	6.39	1.33	7	
320	11.12.25	06-42-12.76	0.54	42.07	47.41	15	1.70	6.08	1.16	10	
321	11.12.25	09-22-09.01	0.74	42.99	44.01	10	1.72	8.53	2.52	5	
322	11.12.25	12-27-55.11	0.23	43.12	46.99	9	1.72	5.95	1.08	6	
323	11.12.25	13-50-08.04	-0.07	43.09	46.88	15	1.74	5.53	0.85	6	
324	11.12.25	17-14-36.88	-0.28	41.56	47.89	6	1.75	5.85	1.03	6	
325	11.12.25	19-00-39.94	-1.58	42.85	45.79	9	1.80	7.04	1.69	8	
326	11.12.25	23-33-33.49	-0.14	41.62	46.39	9	1.73	8.61	2.56	12	Азербайджан-Грузия
327	12.12.25	02-04-17.37	2.80	41.82	47.48	18	1.55	4.83	0.46	4	
328	12.12.25	03-41-02.27	-1.57	41.78	47.91	9	1.89	6.06	1.15	4	
329	12.12.25	03-55-14.87	-3.51	43.08	46.97	3	3.05	4.96	0.53	3	
330	12.12.25	06-48-00.27	0.22	41.62	46.44	24	1.72	6.27	1.26	6	
331	12.12.25	07-41-18.89	-0.42	41.81	47.96	6	1.77	6.35	1.30	5	
332	12.12.25	14-48-11.63	-4.51	41.03	44.22	50	1.83	8.20	2.34	6	
333	12.12.25	19-05-15.59	2.49	42.78	46.25	6	1.58	6.88	1.60	4	
334	12.12.25	20-27-24.23	-2.46	42.36	48.20	18	1.84	5.89	1.05	6	
335	12.12.25	23-12-28.10	0.23	42.49	47.68	9	1.71	4.13	0.07	5	
336	13.12.25	02-18-44.46	1.01	42.95	47.02	3	1.68	5.94	1.08	8	
337	13.12.25	10-13-58.82	-0.29	42.26	47.81	15	1.75	6.50	1.39	8	
338	13.12.25	11-45-00.07	-1.49	42.06	46.47	9	1.82	6.15	1.19	5	
339	13.12.25	17-57-26.41	0.64	41.63	46.44	9	1.70	6.52	1.40	5	
340	13.12.25	18-33-18.65	2.98	41.51	46.38	18	1.62	6.61	1.45	4	
341	13.12.25	19-26-30.03	0.10	41.65	46.41	9	1.73	7.19	1.77	6	
342	14.12.25	17-24-05.74	-1.86	40.20	46.14	5	1.77	7.89	2.16	3	

Таблица 2 (Продолжение)

343	14.12.25	22-20-42.17	0.37	42.44	48.00	6	1.71	5.71	0.95	6	
344	14.12.25	23-14-05.37	0.10	41.94	47.55	24	1.72	4.84	0.47	6	
345	15.12.25	01-06-30.29	-0.86	42.30	48.12	15	1.78	5.78	0.99	7	
346	15.12.25	10-14-38.83	-1.33	42.48	45.52	24	1.79	7.37	1.87	6	
347	15.12.25	13-35-44.87	0.60	42.02	46.17	24	1.69	6.41	1.34	4	
348	15.12.25	13-43-35.84	-0.18	41.99	46.40	9	1.74	5.34	0.74	4	
349	15.12.25	20-04-53.29	-1.07	43.00	47.75	24	1.77	6.71	1.51	10	
350	16.12.25	05-43-52.34	-0.11	42.96	47.07	30	1.74	5.67	0.93	4	
351	16.12.25	05-51-01.76	-1.50	41.78	48.24	45	1.79	7.34	1.86	7	
352	16.12.25	11-10-58.85	0.03	42.39	44.26	48	1.73	8.63	2.57	7	
353	16.12.25	11-38-39.28	3.44	41.88	47.65	15	1.52	6.28	1.27	4	
354	16.12.25	12-39-14.78	-3.04	41.75	45.59	24	1.82	9.40	3.00	14	Грузия
355	16.12.25	17-03-13.17	-0.58	41.84	46.58	9	1.76	7.00	1.67	10	
356	16.12.25	17-53-58.59	-0.86	42.04	48.22	45	1.77	6.81	1.56	3	
357	16.12.25	19-25-45.39	1.39	43.09	44.30	54	1.70	7.69	2.05	7	
358	16.12.25	19-51-49.73	-2.27	43.48	44.02	1	1.78	9.44	3.02	6	
359	16.12.25	21-13-03.70	-1.70	42.16	48.20	39	1.82	5.56	0.87	5	
360	17.12.25	10-07-10.99	0.68	42.97	47.05	6	1.68	6.32	1.29	7	
361	17.12.25	13-55-26.75	1.32	42.96	47.07	3	1.63	5.91	1.06	6	
362	17.12.25	17-15-52.48	-1.46	41.22	47.40	15	1.79	7.22	1.79	8	
363	17.12.25	20-50-06.94	1.40	42.53	46.22	3	1.65	6.05	1.14	9	
364	18.12.25	09-26-27.59	-2.45	41.69	44.63	10	1.79	10.08	3.38	7	
365	18.12.25	11-37-11.48	0.32	42.47	46.91	24	1.69	4.64	0.36	5	
366	18.12.25	14-12-18.53	-0.21	42.51	46.29	18	1.74	7.19	1.77	6	
367	18.12.25	15-02-51.18	-1.07	40.97	48.32	18	1.77	8.14	2.30	5	
368	18.12.25	15-45-37.72	-0.46	42.43	46.39	15	1.77	5.81	1.01	5	
369	18.12.25	16-45-52.09	0.16	41.61	46.38	24	1.72	6.91	1.62	7	
370	18.12.25	18-56-19.48	-0.57	41.91	47.53	24	1.77	6.04	1.13	9	
371	18.12.25	20-21-31.83	-0.49	43.23	46.61	15	1.75	6.33	1.29	7	
372	18.12.25	21-17-29.62	-1.73	42.76	45.83	24	1.83	6.15	1.19	6	
373	18.12.25	23-49-22.48	-0.14	42.88	45.11	18	1.73	7.03	1.69	7	
374	19.12.25	02-57-40.37	-0.29	41.66	46.42	18	1.74	7.77	2.09	11	
375	19.12.25	04-41-04.04	-0.23	41.81	46.34	9	1.74	6.08	1.15	5	
376	19.12.25	04-49-33.40	0.23	41.85	46.34	9	1.72	5.88	1.05	5	
377	19.12.25	12-16-49.95	0.30	42.38	46.37	3	1.71	4.85	0.47	5	
378	19.12.25	12-17-48.64	0.85	42.36	47.74	6	1.69	7.10	1.72	8	
379	19.12.25	13-30-54.75	0.15	42.39	46.48	3	1.72	4.44	0.25	4	
380	19.12.25	13-53-53.31	0.35	42.42	47.74	9	1.73	6.26	1.26	8	
381	19.12.25	19-18-08.69	-0.11	41.49	48.07	9	1.73	6.19	1.22	6	
382	19.12.25	19-18-46.09	-0.43	41.54	48.04	15	1.76	5.44	0.80	5	
383	19.12.25	22-07-31.78	0.55	42.41	47.76	6	1.71	6.85	1.58	11	
384	20.12.25	13-46-56.36	0.92	42.13	47.65	9	1.71	6.90	1.61	9	
385	20.12.25	18-09-09.93	-0.27	41.63	47.70	15	1.76	6.26	1.26	6	
386	20.12.25	20-35-55.24	-0.70	41.90	47.92	6	1.78	5.53	0.85	6	
387	20.12.25	23-49-15.48	0.58	43.02	47.02	6	1.66	4.21	0.12	5	
388	21.12.25	00-31-26.72	1.18	41.85	48.03	3	1.65	6.43	1.35	5	
389	21.12.25	03-07-13.20	-0.33	42.66	46.40	24	1.75	7.91	2.17	12	
390	21.12.25	03-23-13.29	0.46	42.46	48.17	30	1.71	6.19	1.22	5	
391	21.12.25	08-26-46.34	-1.58	43.18	46.34	6	1.81	6.31	1.28	6	
392	21.12.25	23-20-23.72	0.75	42.89	47.02	6	1.62	3.93	-0.04	5	
393	22.12.25	01-30-26.07	1.88	43.00	47.14	6	1.54	4.61	0.34	4	
394	22.12.25	15-12-02.31	2.41	43.08	47.46	6	1.59	6.57	1.43	4	
395	22.12.25	15-27-35.28	3.74	40.80	46.15	54	1.64	8.13	2.30	4	
396	22.12.25	18-37-40.09	-1.93	42.87	46.52	9	2.04	5.10	0.61	5	
397	22.12.25	22-29-54.35	2.03	43.19	46.14	15	1.63	6.12	1.18	6	
398	22.12.25	22-37-49.90	-0.96	42.87	46.43	9	1.86	4.41	0.23	5	
399	23.12.25	01-36-26.84	-0.88	42.48	46.43	15	1.81	5.13	0.63	6	
400	23.12.25	01-41-46.18	-0.72	40.71	46.34	69	1.75	7.63	2.02	5	
401	23.12.25	01-58-35.33	-0.76	42.28	48.08	18	1.78	6.22	1.23	6	
402	23.12.25	04-31-23.15	-1.28	41.93	48.04	39	1.79	6.78	1.54	8	
403	23.12.25	12-24-27.35	-0.35	41.97	46.70	6	1.75	5.54	0.85	5	

Таблица 2 (Продолжение)

404	23.12.25	19-25-16.86	-0.88	42.31	48.13	24	1.78	6.60	1.44	10	
405	23.12.25	20-24-50.08	-0.57	42.12	48.25	24	1.76	5.64	0.91	7	
406	23.12.25	23-01-30.82	-1.32	40.77	48.23	30	1.77	8.93	2.74	5	
407	24.12.25	01-24-01.51	0.15	43.01	47.01	6	1.71	5.39	0.77	4	
408	24.12.25	02-44-27.85	1.29	41.97	48.30	33	1.65	5.96	1.09	4	
409	24.12.25	02-46-18.47	2.12	40.99	46.51	60	1.66	6.30	1.28	4	
410	24.12.25	07-23-43.57	-0.56	42.27	48.05	15	1.76	6.34	1.30	5	
411	24.12.25	09-30-05.64	-0.19	43.01	45.69	24	1.74	7.10	1.72	8	
412	24.12.25	16-01-37.83	0.47	41.74	47.98	6	1.69	5.99	1.11	4	
413	24.12.25	17-23-15.37	0.21	42.97	46.76	3	1.70	4.60	0.33	4	
414	24.12.25	19-53-38.09	-1.74	41.05	48.95	18	1.79	7.89	2.16	4	
415	24.12.25	21-21-44.51	0.58	42.52	46.26	24	1.69	5.73	0.96	8	
416	25.12.25	04-00-27.88	-0.38	42.81	47.07	18	1.76	5.97	1.10	8	
417	25.12.25	13-44-02.50	0.14	43.13	46.42	3	1.72	5.77	0.99	7	
418	25.12.25	19-55-38.75	-0.07	41.62	47.70	15	1.74	5.94	1.08	5	
419	25.12.25	23-28-40.42	-0.21	42.69	45.68	15	1.74	6.67	1.49	9	
420	26.12.25	08-08-11.40	-0.13	42.50	46.27	24	1.74	7.94	2.19	10	
421	26.12.25	12-56-37.64	-0.37	41.51	48.45	9	1.75	7.32	1.85	6	
422	26.12.25	15-40-39.55	-0.05	42.98	47.03	9	1.74	5.53	0.85	6	
423	26.12.25	18-53-49.41	0.18	42.96	47.03	15	1.71	5.01	0.56	6	
424	26.12.25	20-19-28.83	-0.36	41.63	46.69	18	1.75	5.44	0.80	5	
425	26.12.25	20-59-01.02	-0.65	41.54	46.61	24	1.76	7.29	1.83	11	
426	26.12.25	22-12-36.74	0.10	42.93	47.11	6	1.72	4.67	0.37	6	
427	26.12.25	22-16-00.16	0.36	42.97	47.01	9	1.69	4.78	0.44	6	
428	27.12.25	01-14-38.96	-0.47	42.98	47.03	6	1.78	5.32	0.73	6	
429	27.12.25	05-37-33.11	0.22	42.96	47.01	6	1.71	4.97	0.54	4	
430	27.12.25	08-20-53.92	-0.78	43.16	45.86	15	1.76	8.48	2.49	10	
431	27.12.25	09-26-19.09	-0.86	42.98	47.04	6	1.86	5.33	0.74	4	
432	27.12.25	09-26-48.61	-0.31	42.96	47.02	9	1.77	5.48	0.82	4	
433	27.12.25	13-31-34.94	-0.48	41.40	48.28	6	1.75	6.98	1.66	6	
434	27.12.25	14-17-37.32	0.23	42.99	47.06	6	1.70	4.98	0.55	5	
435	27.12.25	16-28-07.16	0.13	42.51	46.36	6	1.72	6.57	1.43	9	
436	27.12.25	20-33-00.83	0.81	43.02	47.10	6	1.65	5.15	0.64	5	
437	27.12.25	22-10-24.02	-0.04	40.74	48.17	30	1.73	8.53	2.52	5	
438	28.12.25	14-55-20.64	0.30	42.25	48.35	6	1.72	8.06	2.25	10	
439	28.12.25	16-01-37.47	-0.16	43.44	45.96	15	1.74	7.46	1.92	6	
440	28.12.25	18-48-32.52	-2.86	43.24	44.95	48	1.81	7.24	1.80	4	
441	28.12.25	23-05-46.80	-1.19	42.04	48.34	6	1.81	6.09	1.16	5	
442	29.12.25	00-00-13.20	-1.26	42.49	46.86	3	1.95	3.70	-0.17	3	
443	29.12.25	01-29-16.74	1.11	43.07	47.13	9	1.63	4.97	0.54	4	
444	29.12.25	01-30-30.66	0.79	43.08	47.15	15	1.66	4.82	0.46	4	
445	29.12.25	04-52-43.77	-0.25	43.06	47.27	3	1.75	6.10	1.17	7	
446	29.12.25	06-57-38.27	-1.64	41.63	46.84	60	1.82	7.03	1.68	4	
447	29.12.25	08-35-11.09	0.21	41.78	47.74	24	1.71	5.79	1.00	4	
448	29.12.25	08-45-19.90	-1.35	41.72	47.85	24	1.86	5.24	0.69	4	
449	29.12.25	13-28-02.38	0.12	43.03	47.24	3	1.73	5.97	1.09	7	
450	29.12.25	23-51-28.26	-1.71	41.51	46.23	54	1.79	7.28	1.82	10	
451	29.12.25	23-53-46.95	-1.13	41.54	46.40	18	1.77	6.65	1.47	6	
452	30.12.25	11-13-08.01	-1.68	41.10	48.23	24	1.80	7.33	1.85	5	
453	31.12.25	04-12-36.59	1.66	41.71	47.62	54	1.62	6.46	1.37	4	
454	31.12.25	13-03-50.88	0.60	42.01	48.52	48	1.69	7.13	1.74	5	
455	31.12.25	17-05-13.28	-0.73	42.09	48.13	6	1.77	7.30	1.83	6	

Обозначения основных параметров землетрясений:

t_0 – время в очаге землетрясения (по Гринвичу);
 δt_0 – погрешность определения времени в очаге землетрясения (с);
 φ^0 – широта эпицентра (градус);
 λ^0 – долгота эпицентра (градус);

h – глубина гипоцентра (км);
 K_p – энергетический класс по Т.Г. Раутиан;
 M – магнитуда (пересчитанная из класса K_p);
 n – число сейсмостанций (по записям которых определялся эпицентр);
 V_p/V_s – отношение скорости продольной волны V_p к скорости поперечной волны V_s .

Работа выполнена с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

Список литературы

1. Магомедов Х.Д., Адиллов З.А., Асекова З.А., Гамидова А.М., Мусалаева З.А., Сагателова Е.Ю., Павличенко И.Н. Каталог землетрясений Северо-Восточного Кавказа (территория Дагестана и приграничные зоны) и акватории Среднего Каспия за II квартал 2025 г. // Мониторинг. Наука и технологии. 2025. №3(65). С. 66-78.
2. Магомедов Х.Д., Адиллов З.А., Асекова З.А., Гамидова А.М., Мусалаева З.А., Сагателова Е.Ю., Павличенко И.Н. Каталог землетрясений Северо-Восточного Кавказа (территория Дагестана и приграничные зоны) и акватории Среднего Каспия за III квартал 2025 г. // Мониторинг. Наука и технологии. 2025. №4(66). С. 114-125.
3. Адиллов З.А., Асекова З.О., Гамидова А.М., Мусалаева З.А., Павличенко И.Н., Сагателова Е.Ю., Шахмарданова С.Г. Каталог (оригинал) землетрясений Дагестана за 2025 г. // Фонды ДФ ФИЦ ЕГС РАН. Махачкала, 2025.
4. Магомедов Х.Д., Адиллов З.А., Асекова З.А., Гамидова А.М., Магомедова Д.С., Мусалаева З.А., Сагателова Е.Ю., Павличенко И.Н. Каталог землетрясений Северо-Восточного Кавказа (территория Дагестана и приграничные зоны) и акватории Среднего Каспия за III квартал 2018 г. // Мониторинг. Наука и технологии. 2018. №4. С. 85-96.
5. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км. // Экспериментальная сейсмика. Труды ИФЗ АН СССР. №32(199). М.: Наука. 1964. С. 88-93.

References

1. Magomedov Kh.D., Adilov Z.A., Asekova Z.A., Gamidova A.M., Musalaeva Z.A., Sagatlova E.Yu., Pavlichenko I.N. Catalog of earthquakes of the North-Eastern Caucasus (Dagestan and border areas) and the Middle Caspian for the II quarter of 2025. *Monitoring. Nauka i tekhnologii*. 2025. No. 3(65). Pp. 66-78.
2. Magomedov Kh.D., Adilov Z.A., Asekova Z.A., Gamidova A.M., Musalaeva Z.A., Sagatlova E.Yu., Pavlichenko I.N. Catalog of earthquakes of the North-Eastern Caucasus (Dagestan and border areas) and the Middle Caspian for the III quarter of 2025. *Monitoring. Nauka i tekhnologii*. 2025. No. 4(66). Pp. 114-125.
3. Adilov Z.A., Asekova Z.O., Gamidova A.M., Musalaeva Z.A., Pavlichenko I.N., Sagatlova E.Yu., Shakhmardanova S.G. Catalog (original) of earthquakes in Dagestan for 2025. *Fondy DF FITS YEGS RAN*. Makhachkala. 2025.
4. Magomedov Kh.D., Adilov Z.A., Asekova Z.A., Gamidova A.M., Musalaeva Z.A., Sagatlova E.Yu., Pavlichenko I.N. Catalog of earthquakes of the North-Eastern Caucasus (Dagestan and border areas) and the Middle Caspian for the III quarter of 2018. *Monitoring. Nauka i tekhnologii*. 2018. No. 4. Pp. 85-96.
5. Rautian T.G. On the determination of the energy of earthquakes at a distance of up to 3000 km. *Eksperimental'naya seysmika. Trudy IFZ AN SSSR*. No. 32(199). Moscow: Nauka. 1964. Pp. 88-93.

Сведения об авторах Принадлежность к организации

Магомедов Хаскил Джарулаевич

кандидат технических наук, директор Дагестанского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия

Адиллов Заракхман Ашуралиевич

заведующий отделом Дагестанского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия

Асекова Зульфиа Османовна

инженер 1 категории Дагестанского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия

Бжассо Милена Алиловна

инженер Дагестанского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия

Гамидова Айшат Магомедовна

инженер 1 категории Дагестанского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия

Information about authors Affiliations

Magomedov Khaskil Dzharulaevich

PhD in Technical Sciences, Director of Dagestan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia

Adilov Zarakhman Ashuralievich

Head of Department, Dagestan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia

Asekova Zulfia Osmanovna

Engineer of the Dagestan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia

Bzhasso Milena Alilovna

Engineer of the Dagestan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia

Gamidova Aishat Magomedovna

Engineer of the Dagestan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia

Сагателова Елена Юрьевна

инженер 1 категории Дагестанского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия

Павличенко Ирина Николаевна

инженер 1 категории Дагестанского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия

Шахмарданова Сapiят Гаджиевна

инженер Дагестанского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 367025, Махачкала, Россия

Sagatelova Elena Yurevna

Engineer of the Dagestan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia

Pavlichenko Irina Nicolaevna

Engineer of the Dagestan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia

Shakhmardanova Sapiyat Gadjievna

Engineer of the Departmenta, Dagestan Branch of Federal Research Center United Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 367025, Makhachkala, Russia

Поступила в редакцию 30.01.2025 г.

Алиев Расул Магомедович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой нефтегазового дела, Дагестанский государственный технический университет

Атаев Загир Вагитович

кандидат географических наук, профессор кафедры физической географии Дагестанского государственного педагогического университета, профессор кафедры географии Дагестанского государственного университета

Батугин Андриан Сергеевич

доктор технических наук, доцент, Московский государственный горный университет МИСИС

Безруких Павел Павлович

доктор технических наук, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского

Братков Виталий Викторович

доктор географических наук, доцент, заведующий кафедрой географии Московского государственного университета геодезии и картографии

Булаева Нуржиган Маисовна

доктор технических наук, действительный член Академии информатизации образования, генеральный директор ООО «Центр сопряженного мониторинга окружающей среды и природных ресурсов»

Гайрабеков Ибрагим Гиланиевич

доктор технических наук, Член-корреспондент Академии наук Чеченской Республики, профессор, Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова

Галаганов Олег Николаевич

кандидат физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук

Григорьев Борис Афанасьевич

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий базовой кафедрой «Исследование нефтегазовых пластовых систем» РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Дадашев Мирали Нуралиевич

доктор технических наук, профессор кафедры физической и коллоидной химии РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Демежко Дмитрий Юрьевич

доктор геолого-минералогических наук, Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН

Дубинин Евгений Павлович

доктор геолого-минералогических наук, член Российской академии естественных наук, заведующий сектором геодинамики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Музей землеведения

Зуй Владимир Игнатьевич

доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры региональной геологии, Белорусский государственный университет

Илюшина Татьяна Владимировна

доктор географических наук, профессор, заведующая кафедрой землеустройства и кадастров, научный сотрудник учебно-исторического центра, Московский государственный университет геодезии и картографии

Aliyev Rasul Magomedovich

Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Oil and Gas Engineering, Dagestan State Technical University

Atayev Zagir Vagitovich

Candidate of Geography, Professor of the Department of Physical Geography of Dagestan State Pedagogical University, Professor of the Department of Geography of Dagestan State University

Batugin Andrian Sergeevich

Doctor of Engineering, Associate Professor, Moscow State Mining University MISIS

Bezrukih Pavel Pavlovich

Doctor of Engineering, Honored Worker of Science of the Russian Federation, G.M. Krzhizhanovskiy Power Engineering Institute

Bratkov Vitaliy Viktorovich

Doctor of Geography, Associate Professor, Head of the Geography Department of the Moscow State University of Geodesy and Cartography

Bulaeva Nurjagan Maisovna

Doctor of Engineering, Member of the Academy of Informatization of Education, General Director of the Center of the Dual Monitoring of Environment and Natural Resources

Gairabekov Ibragim Gilanievich

Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Chechen Republic, Professor, Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov

Galaganov Oleg Nikolaevich

Candidate of Physics and Mathematics, Chief Researcher, Head of the Laboratory of «Satellite Methods for Studying Geophysical Processes», O.Y. Schmidt Institute of Earth Physics of the Russian Academy of Sciences

Grigoryev Boris Afanas'evich

Doctor of Engineering, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Basic Department «Research of Oil and Gas Formation Systems», Gubkin Russian State University of Oil and Gas

Dadashev Mirali Nuralievich

Doctor of Engineering, Professor of the Department of Physical and Colloidal Chemistry of Gubkin Russian State University of Oil and Gas

Demezhko Dmitry Yurievich

Doctor of Geology and Mineralogy, Y.P. Bulashevich Institute of Geophysics, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences

Dubinin Evgeniy Pavlovich

Doctor of Geology and Mineralogy, Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Head of the Geodynamics Sector, Lomonosov Moscow State University, Museum of Earth Science

Zui Vladimir Ignatievich

Doctor of Geology and Mineralogy, Professor of the Department of Engineering Geology and Geophysics, Belarusian State University

Ilyushina Tatiana Vladimirovna

Doctor of Geography, Professor, Head of the Department of Land Management and Cadastre, Researcher at the Educational and Historical Center, Moscow State University of Geodesy and Cartography

Керимов Ибрагим Ахмедович

доктор физико-математических наук, профессор, академик Академии наук Чеченской Республики, вице-президент Академии наук Чеченской Республики, главный научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук

Малинников Василий Александрович

доктор технических наук, заведующий кафедрой космического мониторинга и экологии, Московский государственный университет геодезии и картографии

Мелкий Вячеслав Анатольевич

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук

Минцаев Магомед Шавалович

доктор технических наук, профессор, действительный член Академии наук Чеченской Республики, ректор Грозненского государственного нефтяного технического университета им. академика М.Д. Миллионщикова

Мухтаров Абдулвагаб Шариф оглы

доктор геолого-минералогических наук, руководитель отдела «Тепломассоперенос в недрах Земли», Институт геологии и геофизики Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики

Парфенюк Ольга Ивановна

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией теоретической геофизики, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук

Петрик Галина Георгиевна

кандидат физико-математических наук, ведущий инженер, Объединенный институт высоких температур РАН

Петров Иван Васильевич

доктор экономических наук, профессор, заместитель декана факультета экономики и бизнеса, Финансовый университет при правительстве Российской Федерации

Утямышев Ильдар Рустамович

доктор технических наук, профессор Университета Западной Аттики (Афины, Греция), вице-президент Российской академии естественных наук

Федаш Анатолий Владимирович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии Российского Государственного Университета нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Хуторской Михаил Давыдович

доктор геолого-минералогических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, председатель Научного совета РАН по проблемам геотермии, заведующий лабораторией тепломассопереноса, Геологический Институт РАН

Шихнабиева Тамара Шихгасановна

доктор педагогических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ Института стратегии развития образования РАО, действительный член Академии информатизации образования, профессор кафедры информатики ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В.Плеханова»

Kerimov Ibragim Akhmedovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of the Academy of Sciences of the Chechen Republic, Vice-President of the Academy of Sciences of the Chechen Republic, Chief Researcher of the O.Y. Schmidt Institute of Earth Physics of the Russian Academy of Sciences

Malinnikov Vasily Alexandrovich

Doctor of Engineering, Head of the Department of Space Monitoring and Ecology, Moscow State University of Geodesy and Cartography

Melkiy Vyacheslav Anatol'evich

Doctor of Engineering, Leading Researcher at the Laboratory of Volcanology and Volcano Hazard of the Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Mintsaeve Magomed Shavalovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of the Academy of Sciences of the Chechen Republic, Rector of the Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov

Mukhtarov Abdulgagab Sharif ogly

Doctor of Geology and Mineralogy, Head of the Department «Heat and Mass Transfer in the Bowels of the Earth», Institute of Geology and Geophysics of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan

Parfenyuk Olga Ivanovna

Doctor of Physics and Mathematics, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Theoretical Geophysics, O.Y. Schmidt Institute of Earth Physics of the Russian Academy of Sciences

Petrik Galina Georgievna

Candidate of Physics and Mathematics, Leading Engineer, Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences

Petrov Ivan Vasilievich

Doctor of Economics, Professor, Deputy Dean of the Faculty of Economics and Business, Financial University under the Government of the Russian Federation

Utyamyshev Ildar Rustamovich

Doctor of Engineering, Professor at the University of Western Attica (Athens, Greece), Vice-President of the Russian Academy of Natural Sciences

Fedash Anatoly Vladimirovich

Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Geoecology, Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkin

Khutorskoy Mikhail Davydovich

Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Honored Worker of Science RF, Academician of RANS, Chairman of the Scientific Council on geothermy, Head of the Heat and Mass Transfer Laboratory, Geological Institute of the Russian Academy of Sciences

Shikhnaбиеva Tamara Shihgasanovna

Doctor of Education, Leading Researcher, Institute of Education Development Strategy, Russian Academy of Education (RAE), Member of the Academy of Informatization of Education, Professor on Department of Informatics of Plekhanov Russian University of Economics

Журнал «Мониторинг. Наука и технологии» (МНТ) печатает оригинальные работы (исследовательские и обзорные), не опубликованные ранее, представляющие результаты исследований и разработок в следующих областях знаний:

- науки о Земле,
- информационные системы и технологии в науке и образовании,
- физико-математические науки,
- технические науки.

Язык публикаций – русский, английский.

Объем статьи (заголовок, аннотация, ключевые слова (на русск. и англ. языках), текст, литература и References, сведения об авторах): минимальный – 6 стр., максимальный – 20 стр.

Статья оформляется в виде единого файла с подписями всех авторов на последней странице.

Скан-копии всех документов высылаются на электронный адрес редакции МНТ e-mail: mnt@csmos.ru.

Вся ответственность, связанная с неправомерным использованием объектов интеллектуальной собственности, лежит на авторах рукописи.

Статьи публикуются на коммерческой основе.

Рукописи, не соответствующие изложенным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

Редколлегия не вступает в переписку с авторами по поводу отклоненных работ.

Адрес для представления материалов:

e-mail: monitoringST@mail.ru, mnt@csmos.ru

Тел.: (8-928) 962-32-60

Почтовый адрес: 367027, Респ. Дагестан, г. Махачкала, ул. Селиваньева, 2
Главному редактору журнала «МНТ» Булаевой Нуржаган Маисовне

© «Мониторинг. Наука и Технологии», 2026

Номер подписан в печать 27.03.2026 г.

Отпечатано в ООО «ЦСМОСипР»

Адрес издателя/типографии: 367027, РД, г. Махачкала, ул. Селивантсёва, 2

Цена свободная. Тираж 350

Заказ №1