

ISSN 1816-9228 (Print)
ISSN 2078-9114 (Online)



ВЕСТНИК

Югорского государственного университета

Основан
в 2005 году

1(60)
2021

Основные материалы номера:

- Математическое моделирование при исследовании полусимметрических связностей на трехмерных группах Ли с метрикой солитона Риччи
- Имитационная модель оценки рисков аварийных разливов нефти на основе методов кластеризации
- Применение системы Matlab для вычисления и анализа топологических характеристик цифрового изображения

г. Ханты-Мансийск



ВЕСТНИК ЮГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ВЫПУСК 1 (60)/2021

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-73606 от 31 августа 2018 г.

г. Ханты-Мансийск
2021 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ЮГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА»

Исламутдинов Вадим Фаруарович – главный редактор, доктор экономических наук, профессор Института цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», v_islamutdinov@ugrasu.ru, +7 (3467) 377-000 (доб. 105);

Шарова Полина Сергеевна – ответственный секретарь редакционной коллегии, заведующий единой редакцией научных журналов ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», p_sharova@ugrasu.ru, +7 (3467) 377-000 (доб. 421).

05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление по специальности 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки):

Пятков Сергей Григорьевич – доктор физико-математических наук, профессор Института цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», ответственный редактор по научной отрасли/специальности;

Быстров Виталий Викторович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института информатики и математического моделирования – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук» (по согласованию);

Вохминцев Александр Владимирович – кандидат технических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Интеллектуальные информационные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет» совместно с ФИЦ «Информатика и управление Российской академии наук Института системного анализа» (по согласованию);

Попков Юрий Соломонович – доктор технических наук, профессор, академик РАН, директор Института системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук; ведущий научный сотрудник кафедры систем обработки информации, моделирования и управления ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Мельников Андрей Витальевич – доктор технических наук, профессор базовой кафедры ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет» на базе АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий», директор АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий»;

Полищук Юрий Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник центра дистанционного зондирования Земли АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий» (по согласованию);

Кожанов Александр Иванович – доктор физико-математических наук, профессор ФГБУН «Институт математики имени С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук»;

Халиуллина Дарья Николаевна – кандидат технических наук, научный сотрудник Института информатики и математического моделирования – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук» (по согласованию).

05.16.00 Metallurgy and materials science by specialty 05.16.09 Materials science (by industries) (technical sciences):

Гуляев Павел Юрьевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института нефти и газа ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», ответственный редактор по научной отрасли/специальности;

Баев Владимир Константинович – доктор технических наук, главный научный сотрудник ФГБУН «Институт теоретической и прикладной механики имени С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук» (по согласованию);

Бороненко Марина Петровна – кандидат технических наук, доцент Института нефти и газа ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Долматов Алексей Викторович – кандидат технических наук, доцент Института цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Иордан Владимир Иванович – кандидат физико-математических наук, доцент Института цифровых технологий, электроники и физики ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» (по согласованию);

Алымов Михаил Иванович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Директор ФГБУН «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения (ИСМАН) РАН»;

Котванова Маргарита Кондратьевна – кандидат химических наук, доцент Института нефти и газа ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Милюкова Ирина Васильевна – кандидат физико-математических наук, доцент Института нефти и газа ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

12.00.00 Юридические науки по специальности 12.00.08 Уголовное право и криминология; уголовно-исполнительное (юридические науки):

Розенко Станислав Васильевич – кандидат юридических наук, директор Юридического института ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», ответственный редактор по научной отрасли/специальности;

Авдеев Вадим Авдеевич – доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права и уголовного процесса Юридического института ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Козаченко Иван Яковлевич – доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой уголовного права ФГБОУ ВО «Уральский государственный юридический университет» (по согласованию);

Рарог Алексей Иванович – доктор юридических наук, профессор научный руководитель кафедры уголовного права ФГБОУ ВО «Московский государственный Юридический университет имени О. Е. Кутафина» (по согласованию);

Кибальник Алексей Григорьевич – доктор юридических наук, профессор заведующий кафедрой уголовного права и процесса ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (по согласованию);

Шеслер Александр Викторович – доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права ФКОУ ВО «Кузбасский институт Федеральной службы исполнения наказаний», профессор кафедры уголовного права ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»;

Наваан Гантулга – кандидат юридических наук, профессор, начальник Института исполнения судебных решений МНР (по согласованию);

Сергеев Владимир Анатольевич – доктор юридических наук, профессор, директор Центра прикладного уголовного правосудия, профессор Школы правоохранения и управления юстицией Западного Иллинойского университета (по согласованию);

Понятовская Татьяна Григорьевна – доктор юридических наук, профессор, профессор кафедры уголовного права ФГБОУ ВО «Московский государственный юридический университет имени О. Е. Кутафина» (по согласованию);

Анисимов Валерий Филиппович – доктор юридических наук, профессор кафедры правоохранительной деятельности и адвокатуры Юридического института ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ

Science Index



СОДЕРЖАНИЕ

Колонка главного редактора	7
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ	15
Андреева Т. А., Оскорбин Д. Н., Родионов Е. Д. Исследование конформно киллинговых векторных полей на пятимерных 2-симметрических лоренцевых многообразиях	17
Клепиков П. Н., Родионов Е. Д., Хромова О. П. Математическое моделирование при исследовании полусимметрических связанностей на трехмерных группах Ли с метрикой солитона Риччи	23
Пономарев И. В. Алгоритм обнаружения выбросов в модели равномерно-нечеткой регрессии ..	30
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	37
Кочергин Г. А., Муратов И. Н. Имитационная модель оценки рисков аварийных разливов нефти на основе методов кластеризации	39
Маратканова И. В. Применение метода кластерного анализа для оценки сберегательно- инвестиционного потенциала населения Сибирского федерального округа	48
Муратов И. Н., Ибраева А. Ш., Тимергазина Л. Л., Полищук Ю. М. Дистанционное исследование термокарстовых озер арктической тундры Таймыра	62
Самарина О. В., Самарин В. А., Славский В. В., Куркина М. В. Применение системы Matlab для вычисления и анализа топологических характеристик цифрового изображения	72
Семенов С. П., Славский В. В., Куркина М. В., Ташкин А. О., Самарина О. В., Финогенов А. А. Компьютерные математические модели социально-экономических систем с использованием ГИС-технологий	79

УГОЛОВНО-ПРАВОВАЯ ПОЛИТИКА В СФЕРЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ПРЕСТУПНОСТИ.....	85
Авдеев В. А., Авдеева О. А. Энергетическая безопасность как вид общественной безопасности: доктринально-методологические и уголовно-правовые аспекты реализации	87
Забродина В. В., Меньшикова А. Г. «Использование служебного положения» при совершении мошенничества: проблемы применения.....	97
Щелконогова Е. В. Цифровые технологии и уголовное право: вопросы взаимодействия.....	105
Наши авторы	111

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Уважаемые читатели и коллеги!

В этом номере Вашему вниманию впервые представляется колонка главного редактора. Поводом для прямого обращения к читателям стала скорбная весть – 19 ноября 2020 года не стало профессора Виктора Владимировича Славского, замечательного ученого и человека, памяти которого посвящен данный выпуск Вестника Югорского государственного университета.



Виктор Владимирович родился 15 мая 1949 года в г. Называевске. В 1971 году закончил среднюю школу в г. Омске, и в этом же году поступил в Новосибирский государственный университет на математический факультет. После окончания университета, в 1971 году, он поступил в аспирантуру, и в 1974 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Интегрально-геометрические соотношения для многомерных поверхностей» по специальности 01.01.04 «Геометрия и топология» в диссертационном совете при Новосибирском государственном университете. В 2000 году – защитил докторскую диссертацию на тему «Конформно плоские метрики и псевдоевклидова геометрия» по специальности 01.01.04 «Геометрия и топология» в диссертационном совете при Институте математики СО РАН им. С. Л. Соболева. Решением ВАК от 20 ноября 2000 года Виктору Владимировичу присвоена ученая степень доктора физико-математических наук.

Область научных интересов В. В. Славского, лежащая на стыке геометрии и анализа, сформировалась под влиянием научной школы академика РАН Ю. Г. Решетняка. В своей докторской диссертации, посвященной в основном конформно плоским (в том числе обобщенным) римановым многообразиям, он ввел оригинальное авторское понятие одномерной кривизны, которое теперь по праву можно назвать «кривизной Славского». В 1974–2002 годах Виктор Владимирович работал на кафедре математического анализа Алтайского государственного университета. Преподавал высшую математику, алгебру, геометрию аналитическую и дифференциальную, математический и функциональный анализ, топологию, исследование операций, теорию принятия решений, системы компьютерной математики, информатику.

В. В. Славский являлся педагогом очень высокого уровня, широко внедряя в практику учебного процесса новые методы, основанные на использовании в практических занятиях математических пакетов MATLAB, DERIVE, Scientific WorkPlace, MAPLE, MATHEMATICA и др. В частности, им написан ряд учебно-методических пособий, связанных как с преподаванием классических предметов, таких как линейная алгебра и аналитическая геометрия, так и по новым курсам, например, «Распознавание образов». Им разработан и внедрен в учебный процесс ряд новых курсов для аспирантов и магистрантов таких, например, как «Математическое моделирование в естествознании», «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Основная преподавательская работа В. В. Славского связана в последние годы с работой с аспирантами и магистрантами.

В. В. Славский опубликовал более 150 научных работ, в частности, в международных базах данных Web of Sciences и Scopus, в изданиях из списка ВАК, а также несколько монографий. Под научным руководством В. В. Славского защищены 3 кандидатские диссертации (О. В. Самарина, И. В. Пономарев, О. П. Гладунова). Принимал участие в выполнении ряда грантов и научных проектов (РФФИ (гранты № 08-01-98001, № 18-47-860016), Совета по грантам Президента РФ для поддержки молодых ученых и ведущих научных школ РФ (грант № НШ-5682.2008.1), а также при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (гос. контракт № 02.740.11.0457).) В. В. Славский

вел большую экспертную работу, являясь рецензентом в редакциях ряда журналов («Сибирский математический журнал» и др.) и участвуя в рецензировании проектов заявок в различных научных фондах. В 2016 году решением президиума Российской академии наук он был выбран в эксперты РАН.

Научные интересы Виктора Владимировича в последние годы были связаны с исследованием конечных алгебр и групп Ли, однородных римановых метрик на однородных пространствах; с вычислением геометрических вероятностей и применением этих результатов к задачам обработки изображений и распознаванием образов; с задачами динамического программирования, распределения ресурсов, моделирования в экономических и социальных науках с использованием различных математических моделей, включая модели, связанные с принятием решений в нечетких условиях; с задачами математической обработки геофизических данных с применением преобразования Фурье и вейвлет-анализа, теории конформно плоских метрик, решением обратных задач геофизики, основанных на методах нечеткой математики и связанных с классификацией и нечеткой кластеризацией объектов; с применением математических пакетов в сфере образования, разработкой на основе математических пакетов тестовых и обучающих программ по курсам высшей математики, линейной алгебры, математического анализа, и. др., в частности, прикладных пакетов в издательской системе TEX; с компьютерной визуализацией алгоритмов на графах, созданием обучающих и тестирующих программ по избранным разделам дискретной математики. Им были получены существенные результаты во всех этих областях.

Виктор Владимирович много лет отдал Югорскому государственному университету. С самого его основания в 2002 году он работал на кафедре математического анализа, а затем – на кафедре высшей математики в должности профессора; участвовал в исследованиях по международным и российским научным проектам. Многие поколения математиков учились у Виктора Владимировича, получая глубокие знания и важные жизненные уроки. Коллектив Югорского государственного университета сожалеет, что Виктор Владимирович рано ушел из жизни и далеко не полностью реализовал свой потенциал. Не выдержало большое и доброе сердце удивительного человека, верного друга, товарища и настоящего ученого. Память о нем навсегда останется в наших сердцах.

Лучше всего о Викторе Владимировиче расскажут воспоминания его коллег и друзей.

Пятков Сергей Григорьевич (профессор Института цифровой экономики ЮГУ): «Я познакомился с Виктором Владимировичем осенью 2002 года, когда мы вместе приехали в ЮГУ, в этот год состоялся первый набор студентов в недавно открывшийся новый вуз. Основу кафедры математического анализа вновь организованного Факультета информатики и прикладной математики составили выпускники Новосибирского государственного университета, в основном приехавшие из Новосибирска. Несколько человек, в том числе и Виктор Владимирович, приехали из других городов. Практически все мы были участниками прошедшей летом 2002 г. в г. Ханты-Мансийске международной конференции «Обратные задачи: теория и приложения», организованной Югорским НИИ информационных технологий. В первые годы на кафедре работало 5 докторов наук, все известные ученые. Однако ключевыми сотрудниками кафедры, на плечи которых легла основная ноша по организации кафедры и учебного процесса, были Виктор Владимирович и я. Основные курсы читались нами (математический анализ, алгебра и геометрия, высшая математика). С самого начала работы Виктор Владимирович показал свою высокую квалификацию, все занятия проводились очень качественно и хорошо. Он оказывал неоценимую методическую помощь другим преподавателям, особенно молодым в части организации курсов, составления программ и других вопросах. Виктор Владимирович был хорошим товарищем, хорошим собеседником с большим чувством юмора и был незаменим на кафедральных и внеслужебных встречах. Я и мои коллеги очень уважали его».

Самарина Ольга Владимировна (доцент Института цифровой экономики ЮГУ): «Виктор Владимирович был моим научным руководителем – сначала при написании дипломной работы, затем – при работе над кандидатской диссертацией. Именно он пригласил меня после окончания университета в Ханты-Мансийск. Виктор Владимирович был очень отзывчивым и добрым человеком, всегда проявлял ко мне отеческую заботу и внимание, чему я бесконечно благодарна. Виктор Владимирович был очень талантливым математиком, его идеи и решения всегда были очень точными, изящными и простыми. Он умел подмечать мельчайшие детали, находить новаторское решение для поставленных задач. Работать с ним было настоящим удовольствием, он щедро делился своими знаниями и опытом, учил задавать верные вопросы и искать на них ответы».

Родионов Евгений Дмитриевич (профессор кафедры математического анализа Института математики и информационных технологий АГУ): «Виктор Владимирович умел дружить и делал это очень деликатно, душевно. Больше всего дорожу тем, что судьба подарила мне такого Друга... Впервые я познакомился с ним в Институте математики им. С. Л. Соболева СО РАН, в Академгородке, где Виктор Славский читал увлекательные лекции по интегральной геометрии нам, тогда молодым аспирантам. Впоследствии мы много лет работали вместе на кафедре математического анализа АГУ, проводили совместные исследования по программам грантов международных и российских научных фондов, строили планы. Его восприятие математики было необычайно глубоким, он тонко чувствовал красоту математических объектов и умел показать ее другим, и это вызывало восхищение и восторг. Если возникал математический вопрос, то его всегда можно было обсудить с Виктором Владимировичем, у него было свое нетривиальное мнение. Помню жаркое лето 1997 года, когда после обсуждения математического доклада мы сидели на кафедре математического анализа и решили немного пофантазировать. Кто-то предложил организовать конференцию по математике на базе матфака АГУ. Все восприняли это с энтузиазмом, тогда это было в новинку, и стали предлагать названия, но все не подходило. Наконец слово взял Виктор Владимирович и предложил назвать конференцию «МАК». После порции шуток он спокойно ответил: «Это короткое название, а полное – Математики Алтайскому краю». Идея понравилась и прижилась. С тех пор прошла уже XXIII конференция «МАК–2020». Многие поколения математиков прошли через этот форум. А на первое заседание откликнулась большая группа ученых из Института математики им. С. Л. Соболева СО РАН и Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН. Конференция имела ошеломительный успех, на открытии аудитория была заполнена до отказа, математики даже стояли в проходах. Секцию по геометрии, топологии и анализу возглавлял академик РАН Юрий Григорьевич Решетняк – учитель Виктора Владимировича, а секцию по дифференциальным уравнениям чл.-корр. РАН, впоследствии академик РАН Валентин Николаевич Монахов – один из первых деканов мехмата НГУ. Другим важным делом, у истоков которого стоял Виктор Владимирович, была организация краевого семинара по геометрии и математическому моделированию. Его первое заседание состоялось в далеком 1984 году, а Виктор Владимирович долгое время был его соруководителем. На семинаре делались доклады по чистой и прикладной математике, докладывались материалы докторских и кандидатских диссертаций, в результате чего был организован электронный математический журнал: «Труды семинара по геометрии и математическому моделированию». Виктор Владимирович был человеком большой души, необычайно добрым по отношению к преподавателям и студентам, и они всегда отвечали ему взаимностью. Он радовался успехам других преподавателей, особенно молодых, умел их незаметно поддержать. Его уважали и любили на математическом факультете. Учитель с душой».

Хромова Олеся Павловна (доцент кафедры математического анализа Института математики и информационных технологий АГУ): «Виктор Владимирович был моим учителем, научным наставником, человеком, ответившим на множество моих вопросов. Наши пути пересеклись в 2000 году, когда мне посчастливилось слушать его лекции по аналитической

геометрии. Пройдет еще несколько лет, прежде чем я смогу оценить глубину вложенных в нас знаний. Он всегда оставлял открытые проблемы, на которые было интересно искать ответы, охотно разъяснял. Наше плодотворное сотрудничество началось в 2006 году. К тому времени нас разделяли сотни километров и объединяли общие задачи. Виктор Владимирович был тем человеком, который учил смотреть на проблему под разным углом, задавать вопросы. Человеком, который проверил сотни страниц рассуждений и мегабайты кода. Человеком, который по возможности приходил поддержать на докладах, давал напутствия и советы. Человеком, который находился далеко и в то же время всегда рядом».

Пономарев Игорь Викторович (доцент кафедры математического анализа Института математики и информационных технологий АГУ): «Когда говорят о настоящих ученых, я всегда представляю Виктора Владимировича. Спокойный и рассудительный, я видел его спорящим с кем-то лишь тогда, когда этот спор касался математики. Мне посчастливилось, что Виктор Владимирович согласился быть моим научным руководителем при работе над кандидатской диссертацией. Этот человек обладал математическим талантом, эрудицией и огромной работоспособностью. Бывало, что наши консультации заканчивались довольно поздно, а уже утром Виктор Владимирович представлял новые идеи, методы, файлы. Многие коллеги сравнивали его с компьютером, который не может допускать ошибки. «Если это сказал Славский, то это точно верно!» – эту фразу я слышал неоднократно от людей, хорошо знавших Виктора Владимировича. При этом он всегда требовал строгих доказательств и не оставлял без внимания ни единой мелочи. С ним можно было общаться практически на любые темы. Он никогда не делал наставлений, не обучал, но всегда подробнейшим образом объяснял, как можно достичь результата, очень тактично давал добрый совет. За это его любили и уважали».

Оскорбин Дмитрий Николаевич (доцент кафедры математического анализа Института математики и информационных технологий АГУ): «Виктор Владимирович был моим оппонентом, когда я защищал кандидатскую диссертацию, мы с ним переписывались и регулярно общались в процессе работы. Его замечания были очень глубокими, по существу. Всегда вспоминаю его незабываемые доклады на российских и международных научных форумах, одно из последних выступлений Виктора Владимировича на Днях геометрии в Новосибирске, где он докладывал о полярных преобразованиях конформно плоских метрик. Виктор Владимирович говорил тихим монотонным голосом, не пытался держать внимания аудитории. Постороннему человеку могло бы показаться, что это скучнейшая лекция на свете, но это была одна из самых интересных лекций по математике, которую я когда-либо слышал, – это была лекция настоящего математика! Легендарную личность Виктора Владимировича хорошо знали и ценили в Российской академии наук, он много лет являлся экспертом РАН в области математики, геометрии, топологии и анализа».

Валерий Николаевич Берестовский (однокурсник, д.ф.-м.н., сотрудник ИМ СО РАН): «Мы с Виктором были знакомы с первых студенческих дней в НГУ. В одной квартире (два первых года мы жили в жилом доме) со мной жил Михаил Ланкеревич, учившийся с Виктором в одной, 611-й группе. Эта группа состояла из студентов, получивших наилучшие баллы на вступительных экзаменах, но не учившихся в специализированных математических школах. С первых лет Виктор, несмотря на свою скромность, был легендой на нашем курсе. Михаил часто рассказывал, как Виктор решал задачи или помогал в этом другим в группе по всем специальностям, у него был природный математический талант. Позже мы общались на спецкурсах или докладах на кафедре геометрии и топологии, хотя Виктор специализировался на кафедре математического анализа у Ю. Г. Решетняка, а в аспирантские годы мы общались постоянно и позже на конференциях. Мы знаем в основном о незаурядных работах Виктора по математическому анализу и геометрии, но В. Н. Ремесленников, известный алгебраист, очень хорошо запомнил, как Виктор решал задачи на его практических занятиях по алгебре и хотел, чтобы он работал у него в Омске, в филиале ИМ СО РАН, хотя это так и не получилось. Я думаю, что с его математической техникой Виктор был более всего способен решать конкретные, в том числе и трудные математические задачи. Так, в

дипломной работе и кандидатской диссертации он решил поставленную ему Ю. Г. Решетняком нетривиальную задачу из интегральной геометрии, с которой ранее не справились хорошо известные математики. Две статьи Виктора на эту тему включены в список литературы переведенной на русский язык книги Л. А. Сантало «Интегральная геометрия и геометрические вероятности», опубликованной в 1983 г. в издательстве «Наука». Так что уже тогда Виктор был признанным классиком. Кандидатскую диссертацию он защитил в 1974 году, докторскую – в 2000 году. В докторской диссертации, посвященной в основном конформно плоским (в том числе обобщенным) римановым многообразиям, он ввел оригинальное понятие одномерной кривизны, которое по праву можно назвать кривизной Славского. Виктор рано ушел из жизни и далеко не реализовал свой потенциал. Он был прекрасным человеком, близким мне по духу».

Никоноров Юрий Геннадьевич (д.ф.-м.н., сотрудник Владикавказского научного центра РАН): «Наше знакомство с Виктором Владимировичем состоялось более 25 лет назад, я был тогда новоиспеченным выпускником мехмата НГУ, и оно оказалось в некотором смысле особенным, поскольку спустя некоторое время я переехал в Барнаул, где проработал около полугода. В это время я имел возможность регулярно общаться с Виктором Владимировичем при посещении матфака АГУ и старался потом поддерживать эти отношения после моего переезда в другой город. Мы вместе с Виктором Владимировичем участвовали в нескольких математических проектах и стали соавторами нескольких обзорных публикаций, в том числе и одной книги. Виктор Владимирович был последовательным сторонником использования пакетов аналитических вычислений для научных исследований, в частности, для исследования геометрических задач. Во многом благодаря именно его энтузиазму окружающие (к числу которых могу отнести и себя) начали использовать аналитические вычисления для решения математических задач на регулярной основе. Сейчас это кажется естественным или даже само собой разумеющимся, но Виктор Владимирович верно оценил преимущество такого подхода много лет назад, когда использование компьютеров еще не стало повсеместным. Он был очень скромным человеком, поэтому я лишь спустя некоторое время после нашего знакомства узнал о его замечательных математических результатах и очень высокой их оценке со стороны коллег-геометров. В то же время он был чрезвычайно отзывчивым, старался помочь всеми возможными способами как в математических вопросах, так и в плане всевозможных житейских проблем. У меня есть много поводов быть ему благодарным лично. В частности, при его непосредственном и активном участии был подготовлен отзыв ведущей организации (в качестве которой выступал АГУ) на мою кандидатскую диссертацию, защищенную в 1995 году. Виктор Владимирович был прекрасным человеком и талантливым математиком. Таким он и останется в нашей памяти».

Поликанова Ирина Викторовна, (к.ф.-м.н., доцент кафедры математики и методики обучения математики АлтГПУ): «Виктор Владимирович Славский был одним из первых преподавателей Алтайского государственного университета, в котором я обучалась с 1974 по 1979 годы, со дня основания факультета естественных наук. На лекциях и практических занятиях сложные математические выкладки он подкреплял примерами, что делало излагаемый материал понятным и интересным. Общаясь с Виктором Владимировичем как научным руководителем моей дипломной работы, я осознала, как мне повезло! Глубокий ум и эрудиция сочетались в нём с прекрасными человеческими качествами: простотой, скромностью, трудолюбием и отзывчивостью. После смерти мамы, когда я осталась одна с маленьким ребёнком, Виктор Владимирович предложил помощь в освоении компьютера и терпеливо обучал меня в течение месяца набору текста в Латехе, благодаря чему по сей день имею возможность публиковать статьи в научных журналах и чувствовать себя независимой от обстоятельств. В Викторе Владимировиче ценю, прежде всего, доброту, ответственность за близких, благородство».

Куркина Мария Викторовна (доцент Института цифровой экономики ЮГУ): «Для меня Виктор Владимирович был не только ученым, учителем и другом, он был, прежде

всего, моим отцом. И хотелось бы рассказать о нем, как о очень близком, родном и любимом человеке. Безусловно мой выбор профессии произошел под его влиянием. Папа настолько легко и просто мог объяснить любую тему как из чистой математики, так и из прикладной. И не просто объяснить, а увлечься и увлечь за собой. Одним из последних его интересов была тропическая математика, и уверена, она приобрела бы много нового, но он так рано ушел.

Большинство самых светлых воспоминаний так или иначе связаны именно с ним. Папа был рядом. Он каждый погожий день летом ездил со мной маленькой на пляж и строил песочные города, учил плавать, он часто будил меня в школу и кормил завтраком, мы путешествовали вместе и строили планы на будущее. В 90е годы папа работал на 2–3 работах и приходил домой очень поздно уставшим, но, если мне был не понятен какой-то в школе материал, или хотелось что-то с ним обсудить, или требовалась какая-то помощь – у него всегда находилось на меня время. Папе можно было рассказать любой секрет и быть уверенной в том, что о нем никто не узнает. Он мог не соглашаться со мной, спорить, доказывать, отчитывать, но когда я поступала по-своему, он в дальнейшем не упрекал и поддерживал. Папа никогда не говорил мне о любви, но ее я постоянно чувствовала и всегда знала, что мои победы – его радость, а мои неудачи – его боль.

Если меня папа очень любил, то внуков он обожал и бесконечно баловал. Он не занимался работой по дому, но как-то попросила его погладить пеленки и он, как всегда, не отказал. И с тех пор, когда он видел высохшее, но еще не глаженое детское белье, то он первым делом хватался за утюг. Папа по собственной инициативе мог часами носить на руках внуку или внука, если у них что-то болело или беспокоило. Он мог научить 6–8 месячного ребенка включать любимые мультики на компьютере и рисовать человечков. Он гулял с ними, играл и водил на кружки, помогал делать уроки. Когда папа шел с ними в магазин, то бесполезно было говорить не набирать сладостей, скупалось все, что внуки захотели.

Я очень благодарна судьбе, что этот Человек был в моей жизни. Папа был уникальной личностью, я не встречала такого соотношения человеческих качеств. Оставаясь необыкновенно светлым душой, деликатным, отзывчивым, добрым, верным и в то же время обладающий таким огромным запасом знаний, умений, трудолюбием, ответственностью, чувством юмора. Внешне тихий, скромный, даже старающийся быть незаметным, но кто знал его чуть ближе, – любили и уважали».

Семенов Сергей Петрович (доцент Института цифровой экономики ЮГУ): «Хочу поделиться одним (ненаучным) эпизодом из более чем 30-летней дружбы с В. В. Славским. В начале 90-х годов персональные компьютеры добрались до матфака Алтайского госуниверситета. В наше совместное пользование был выделен компьютер IBM PC/XT польского производства с оранжевым экраном под названием Mazovia-1016. Мы с Виктором Владимировичем по-братски делили ресурсы этого компьютерного чуда, оперативная память и ёмкость винчестера которого составляла 256 кБ и 20 Мб соответственно! В эти романтические годы нам удалось выполнить ряд совместных проектов на этом компьютере. Один из них был связан с изданием сборника вступительных задач по математике в университет. Это был коммерческий проект. В то время ЕГЭ не существовало, и мы планировали реализовать тираж среди абитуриентов экономического факультета, на котором тогда был очень высокий конкурс.

С помощью коллег-преподавателей собрали за разные годы задачки, структурировали их по тематике и годам использования. Пожалуй, единственным в то время текстовым редактором, позволяющим верстать сложные математические формулы с верхними и нижними индексами, был ChiWriter. Однако у этого научного редактора были проблемы с разметкой страницы, поэтому отступы и поля мы устанавливали экспериментально. Для этого использовался матричный принтер Seikosha. Поскольку с первого раза редко удавалось угадать параметры фактической разметки страницы, то экспериментов было много. Сейкоша трещал как пулемет непрерывными очередями. В итоге к концу рабочего дня вся наша маленькая

комната была завалена черновиками формата А4. Виктор Владимирович, оглядывая захлавленную комнату, со свойственным ему чувством юмора шутил про «современные безбумажные технологии». Тем не менее, сборник удалось сверстать и договориться с типографией о тираже. Некоторое время мы жили в предвкушении больших денег и ощущали завистливые взгляды коллег. Но, когда мы попытались приступить к реализации, выяснилось, что вступительные экзамены по математике на экономический факультет отменили. Таким образом, наш коммерческий проект благополучно прогорел, да разве и могло быть иначе. Но мы с Виктором Владимировичем не унывали.

И тут появились первые российские биржи...»

Главный редактор В. Ф. Исламутдинов

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В МАТЕМАТИЧЕСКОМ
МОДЕЛИРОВАНИИ

Т. А. Андреева, Д. Н. Оскорбин, Е. Д. Родионов

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНФОРМНО КИЛЛИНГОВЫХ ВЕКТОРНЫХ ПОЛЕЙ НА ПЯТИМЕРНЫХ 2-СИММЕТРИЧЕСКИХ ЛОРЕНЦЕВЫХ МНОГООБРАЗИЯХ

Конформно киллинговы поля играют важную роль в теории солитонов Риччи, а также порождают важный класс локально конформно однородных (псевдо)римановых многообразий. В римановом случае В. В. Славским и Е. Д. Родионовым было доказано, что такие пространства являются либо конформно плоскими, либо конформно эквивалентны локально однородным римановым многообразиям. В псевдоримановом случае вопрос их строения остается открытым. Псевдоримановы симметрические пространства порядка k , где $k > 2$, играют важную роль в исследованиях по псевдоримановой геометрии. В настоящее время они исследованы в случаях $k = 2, 3$ Д. В. Алексеевским, А. С. Галаевым и другими. Для произвольного k известны нетривиальные примеры таких пространств: обобщенные многообразия Казена-Уоллаха. В случае малых размерностей эти пространства и векторные поля Киллинга на них изучались Д. Н. Оскорбиным, Е. Д. Родионовым и И. В. Эрнстом с помощью систем компьютерной математики. В данной работе с помощью СКМ Sagemath исследованы конформно киллинговы векторные поля на пятимерных неразложимых 2-симметрических лоренцевых многообразиях, построен алгоритм для их вычисления.

Ключевые слова: конформно киллинговы векторные поля, лоренцевы многообразия, k -симметрические пространства.

Т. А. Andreeva, D. N. Oskorbin, E. D. Rodionov

INVESTIGATION OF CONFORMALLY KILLING VECTOR FIELDS ON 5-DIMENSIONAL 2-SYMMETRIC LORENTZIAN MANIFOLDS

Conformally Killing fields play an important role in the theory of Ricci solitons and also generate an important class of locally conformally homogeneous (pseudo) Riemannian manifolds. In the Riemannian case, V.V. Slavsky and E.D. Rodionov proved that such spaces are either conformally flat or conformally equivalent to locally homogeneous Riemannian manifolds. In the pseudo-Riemannian case, the question of their structure remains open. Pseudo-Riemannian symmetric spaces of order k , where $k > 2$, play an important role in research in pseudo-Riemannian geometry. Currently, they have been investigated in cases $k = 2, 3$ by D.V. Alekseevsky, A.S. Galaev and others. For arbitrary k , non-trivial examples of such spaces are known: generalized Kachen - Wallach manifolds. In the case of small dimensions, these spaces and Killing vector fields on them were studied by D.N. Oskorbin, E.D. Rodionov, and I.V. Ernst with the help of systems of computer mathematics. In this paper, using the Sagemath SCM, we investigate conformally Killing vector fields on five-dimensional indecomposable 2-symmetric Lorentzian manifolds, and construct an algorithm for their computation.

Key words: conformally Killing vector fields, Lorentzian manifolds, k -symmetric spaces.

1. Обозначения и факты.

Определение. Псевдоримановым многообразием называется гладкое многообразие $\mathcal{M}$, на котором задан гладкий невырожденный симметричный метрический тензор g . Если метрический тензор имеет сигнатуру $(1, n - 1)$, то $(\mathcal{M}, g)$ называется лоренцевым многообразием.

Определение. Псевдориманово многообразие $(\mathcal{M}, g)$ называется симметрическим порядка k , если

$$\nabla^k R = 0, \quad \nabla^{k-1} R \neq 0,$$

где $k \geq 1$ и R — тензор кривизны $(\mathcal{M}, g)$, а ∇ — связность Леви-Чивиты.

Для римановых многообразий из условия $\nabla^k R = 0$ вытекает $\nabla R = 0$. Однако лоренцевы k -симметрические пространства существуют при всех $k \geq 2$.

Локально неразложимые 1-симметрические лоренцевы многообразия описаны Кахеном и Уоллахом в [1], 2-симметрические лоренцевы многообразия исследованы в работах [2,3,4]. Отметим, что они являются многообразиями Уокера [5,6].

Определение. Гладкое векторное поле K на (псевдо)римановом многообразии $(\mathcal{M}, g)$ называется полем Киллинга, если выполняется равенство

$$L_K g = 0, \tag{1}$$

где $L_K g$ — производная Ли метрического тензора вдоль поля K .

Определение. Гладкое векторное поле K на (псевдо)римановом многообразии $(\mathcal{M}, g)$ называется конформно киллинговым векторным полем, если выполняется равенство

$$L_K g = f(p)g, \tag{2}$$

где $L_K g$ — производная Ли метрического тензора вдоль поля K , $p \in \mathcal{M}$, а $f(p)$ — гладкая вещественная функция на многообразии.

Из теоремы Ву (см. [7]) следует, что любое лоренцево многообразие локально может быть представлено в виде прямого произведения некоторого риманова многообразия $(\mathcal{M}_1, g_1)$ и локально неразложимого лоренцева многообразия $(\mathcal{M}_2, g_2)$. Все рассматриваемые далее лоренцевы многообразия предполагаются локально неразложимыми.

С помощью теоремы А.С. Галаева и Д.В. Алексеевского (см. [2]) можно выбрать систему локальных координат (v, x^1, x^2, x^3, u) на $\mathcal{M}$, где $(\mathcal{M}, g)$ — неразложимое лоренцево пятимерное многообразие, такую, что

$$\begin{aligned} g = 2dudv + \sum_{i=1}^3 (dx^i)^2 + & \left(H_{110}(x^1)^2 \right. \\ & + 2H_{120}x^1x^2 + 2H_{130}x^1x^3 + H_{220}(x^2)^2 \\ & \left. + 2H_{230}x^2x^3 + H_{330}(x^3)^2 + \sum_{i=1}^3 (x^i)^2 u H_{ii1} \right) du^2, \end{aligned} \tag{3}$$

где H_{ii1} — ненулевые действительные числа, а H_{ij0} — произвольные константы.

2. Основной алгоритм.

В решении задачи о нахождении общего решения уравнения конформно киллингова поля на пятимерных локально неразложимых 2-симметрических лоренцевых многообразиях можно выделить следующие основные этапы:

- 1) запись уравнения $L_X g = f(p)g$ для определения конформно киллингова поля в локальных координатах Д.В. Алексеевского - А.С. Галаева;
 - 2) нахождение частного решения уравнения $L_X g = f(p)g$;
 - 3) построение общего решения с помощью уравнения для нахождения полей Киллинга.
- Более подробно:

1) Уравнение конформно киллингова векторного поля в локальных координатах на пятимерном 2-симметрическом неразложимом лоренцевом многообразии с метрикой (3) примет вид системы дифференциальных уравнений (4)

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{2} \frac{dX_1}{dx^2} + \frac{1}{2} \frac{dX_2}{dx^1} = 0, & 2 \frac{dU}{dv} &= 0, \\
 & \frac{1}{2} \frac{dX_1}{dx^3} + \frac{1}{2} \frac{dX_3}{dx^1} = 0, & -f + \frac{dX_j}{dx^j} &= 0, \\
 & \frac{1}{2} \frac{dX_2}{dx^3} + \frac{1}{2} \frac{dX_3}{dx^2} = 0, & \frac{dU}{dx^j} + \frac{1}{2} \frac{dX_j}{dv} &= 0, \\
 & \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 (H_{ii1}u + H_{ii0})(x^i)^2 \frac{dU}{dv} + H_{120}x^1x^2 \frac{dU}{dv} + \\
 & \quad + \left(H_{130}x^1 \frac{dU}{dv} + H_{230}x^2 \frac{dU}{dv} \right) x^3 - 2f + \frac{dU}{du} + \frac{dV}{dv} = 0, \\
 & \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 (H_{ii1}u + H_{ii0})(x^i)^2 \frac{dU}{dx^j} + H_{120}x^1x^2 \frac{dU}{dx^j} + \\
 & \quad + \left(H_{130}x^1 \frac{dU}{dx^j} + H_{230}x^2 \frac{dU}{dx^j} \right) x^3 + \frac{dV}{dx^j} + \frac{1}{2} \frac{dX_2}{du} = 0, \\
 & -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \left(2H_{ii1}fu + 2H_{ii0}f - H_{ii1}U - 2(H_{ii1}u + H_{ii0}) \frac{dU}{du} \right) (x^i)^2 + \\
 & \quad + \left((H_{111}u + H_{110})X_1 + H_{120}X_2 + H_{130}X_3 - \left(2 \left(H_{120}f - H_{120} \frac{dU}{du} \right) x^1 - \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. - H_{120}X_1u \right) - (H_{221}u + H_{220})X_2 - H_{230}X_3 \right) x^2 - \left(2 \left(H_{130}f - H_{130} \frac{dU}{du} \right) x^1 + \right. \\
 & \quad \left. + 2(H_{230}f - H_{230}X_2 - (H_{331}u + H_{330})X_3) \right) x^3 + 2 \frac{dV}{du} = 0,
 \end{aligned}$$

где H_{ii1} — ненулевые действительные числа, H_{ij0} — произвольные константы, а $V(v, x^1, x^2, x^3, u)$, $X_i(v, x^1, x^2, x^3, u)$, $U(v, x^1, x^2, x^3, u)$ — компоненты векторного поля K ($i = 1, 2, 3$).

2) Для системы уравнений (4) построим частное решение.

Теорема 1. Векторное поле

$$K = (2fv + c) \frac{d}{dv} + fx^1 \frac{d}{dx^1} + fx^2 \frac{d}{dx^2} + fx^3 \frac{d}{dx^3},$$

где c, f — некоторые постоянные, на 2-симметрическом пятимерном неразложимом лоренцевом многообразии M с метрикой (3) является конформно киллинговым.

Доказательство. В локальных координатах Д.В. Алексеевского - А.С. Галаева проверим справедливость системы уравнений (4) для поля K .

Все уравнения, кроме последнего, очевидно, выполнены, последнее уравнение выполнено, так как после подстановки значений V , X_i , U и раскрытия всех скобок мы получаем:

$$\begin{aligned} & -H_{111}f(x^1)^2u - H_{110}f(x^1)^2 - H_{221}f(x^2)^2u - H_{220}f(x^2)^2 - H_{331}f(x^3)^2u - \\ & -H_{330}f(x^3)^2 + H_{111}f(x^1)^2u + H_{110}f(x^1)^2 + H_{120}f(x^1x^2 + \\ & + H_{130}f(x^1x^3) - 2H_{120}f(x^1x^2) + H_{120}f(x^1x^2) + H_{221}f(x^2)^2u + \\ & + H_{220}f(x^2)^2 + H_{230}f(x^2x^3) - 2H_{130}f(x^1x^3) - 2H_{230}f(x^2x^3) + \\ & + H_{130}f(x^1x^3) + H_{230}f(x^2x^3) + H_{331}f(x^3)^2u + H_{330}f(x^3)^2 = 0. \end{aligned}$$

Теорема доказана.

3) Имеет место

Лемма. Пусть (M, g) – (псевдо) риманово многообразие, K, P – конформно киллинговы векторные поля на M с константой $f \in R$. Тогда $K - P$ есть векторное поле Киллинга на M .

Доказательство. Действительно, вычитая почленно из равенства $L_K g = fg$ равенство $L_P g = fg$ получаем $L_{K-P} g = 0$.

Следствие. В условиях теоремы 1 пространство конформно киллинговых векторных полей может быть построено с помощью частного решения конформно киллингова уравнения и пространства полей Киллинга.

Отметим, что неразложимые 2-симметрические лоренцевы многообразия являются пространствами Кахена-Уоллаха $\mathcal{CW}_d^{n+2}$ при $d = 1$, киллинговы векторные поля на которых изучались в работе [8]. Была доказана

Теорема 2. Пусть X — векторное поле Киллинга с координатами $V(v, x^1, \dots, x^n, u)$, $X_j(v, x^1, \dots, x^n, u)$, $U(v, x^1, \dots, x^n, u)$ (V, X_j, U — гладкие функции), на обобщенном многообразии Кахена-Уоллаха $(\mathcal{CW}_d^{n+2}, g)$ размерности $n + 2 \geq 4$, с метрикой

$$g = 2dvdu + \sum_{i=1}^n (dx^i)^2 + \left(\sum_{i,j=1}^n a_{ij}(u) x^i x^j \right) (du)^2,$$

где $a_{ij}(u) = H_{ij0} + H_{ij1}u$.

Общее решение уравнения Киллинга имеет вид:

$$\begin{cases} U = 0 \\ X_i = b_i(u) + f_{ik}x^k, \\ V = -\dot{b}_i(u)x^i + c \end{cases},$$

где $c \in \mathbb{R}$ — произвольная константа, функции $b_i(u)$ определяются системой дифференциальных уравнений $\ddot{b}_i(u) = a_{ij}(u)b_j(u)$, (f_{ik}) — постоянная кососимметричная матрица, коммутирующая с $A = (a_{ij})$. Размерность пространства полей Киллинга не меньше $2n + 1$ и не больше $2n + 1 + \frac{n(n-1)}{2}$.

Таким образом, используя следствие леммы, теорему 2 при $n = 3$, $d = 1$ и утверждение теоремы 1, получим.

Теорема 3. Пусть X — конформно киллингово векторное поле с координатами $V(v, x^1, x^2, x^3, u)$, $X_i(v, x^1, x^2, x^3, u)$, $U(v, x^1, x^2, x^3, u)$ (V, X^j, U — гладкие функции), на 2-симметрическом пятимерном неразложимом лоренцевом многообразии $\mathcal{M}$ с локально

допустимой метрикой (3). Общее решение уравнения конформно киллингова поля имеет вид:

$$\begin{cases} U = 0, \\ X_i = b_i(u) + f_{ik}x^k + fx^i, \\ V = -\dot{b}_i(u)x^i + 2fv + c, \end{cases}$$

где $c \in \mathbb{R}$ — произвольная константа, функции $b_i(u)$ определяются системой дифференциальных уравнений $\dot{b}_i(u) = a_{ij}(u)b_j(u)$, (f_{ik}) — постоянная кососимметричная матрица, коммутирующая с $A = (a_{ij})$, где $a_{ij}(u) = H_{ij0} + H_{ij1}u$. Размерность пространства полей Киллинга не меньше 8 и не больше 11.

Замечание. Поля Киллинга на 2-симметрических многообразиях размерности 4, 5 и 6 рассматривались в работе [9]. Кроме того, заметим, что конформно-киллинговы векторные поля на лоренцевых многообразиях до размерности 4 включительно рассматривались ранее, см., например, [10].

Заключение.

В результате проведенных исследований построен алгоритм для нахождения общего решения конформного аналога уравнения Киллинга на пятимерных локально неразложимых 2-симметрических лоренцевых многообразиях, изучено строение группы локально конформных преобразований таких пространств. Данные исследования найдут приложения при изучении потока Риччи на многообразиях, различных обобщениях теории многообразий А.Эйнштейна, а разработанные функции для СКМ Sagemath применимы при изучении тензорных полей на лоренцевых многообразиях малой размерности.

Литература

1. Cahen, M. Lorentzian symmetric spaces / M. Cahen, N. Wallach // Bulletin of the American Mathematical Society. - 1970. - Vol. 76. - P. 585-591.
2. Galaev, A. S. Two-symmetric Lorentzian manifolds / A. S. Galaev, D. V. Alexeevskii // Journal of Geometry and Physics. - 2011. - Vol. 61, № 12. - P. 2331-2340.
3. Blanco, O. F. Structure of second-order symmetric Lorentzian manifolds / O. F. Blanco, M. Sanchez, J. M. Senovilla // Journal of the European Mathematical Society. - 2013. - Vol. 15. - P. 595-634.
4. Galaev, A. S. Holonomy groups of Lorentzian manifolds: classification, examples, and applications / A. S. Galaev, T. Leistner // European Mathematical Society. - 2008. - № 1. - P. 53-96.
5. Walker, A. G. On parallel fields of partially null vector spaces / A. G. Walker // Quarterly Journal of Mathematics. - 1949. - Vol. 20. - P. 135-145.
6. The geometry of Walker manifolds / M. Brozos-Vázquez, E. García-Río, P. Gilkey [et al.] // Synthesis Lectures on Mathematics and Statistics. - 2009. - Vol. 2. - P. 1-179.
7. Wu, H. On the de Rham decomposition theorem / H. Wu // Illinois Journal of Mathematics. - 1964. - Vol. 8, Issue 2. - P. 291-311.
8. Oskorbin, D. N. Ricci solitons and killing fields on generalized Cahen-Wallach manifolds / D. N. Oskorbin, E. D. Rodionov // Siberian Mathematical Journal. - 2019. - V. 60, № 5. - P. 1165-1170.

9. Оскорбин, Д. Н. О размерностях пространства полей Киллинга на 2-симметрических лоренцевых многообразиях / Д. Н. Оскорбин, Е. Д. Родионов, И. В. Эрнст. - Текст : непосредственный // Математические заметки СВФУ. - 2019. - Т. 26, № 3. - С. 47-53.
10. Hall, G. S. Symmetries and Curvature Structure in General Relativity / G. S. Hall. - Hackensack : World Scientific Publishing Co, 2004. - 430 p.

П. Н. Клепиков, Е. Д. Родионов, О. П. Хромова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОЛУСИММЕТРИЧЕСКИХ СВЯЗНОСТЕЙ НА ТРЕХМЕРНЫХ ГРУППАХ ЛИ С МЕТРИКОЙ СОЛИТОНА РИЧЧИ

Полусимметрические связности впервые открыты Э.Картаном и являются естественным обобщением связности Леви-Чивиты. Свойства параллельного переноса таких связностей и основные тензорные поля исследовались И.Агриколой, К.Яно и другими математиками. В настоящей работе построена математическая модель для изучения полусимметрических связностей на трехмерных группах Ли с метрикой инвариантного солитона Риччи. Получена классификация данных связностей на трехмерных унимодулярных группах Ли с левоинвариантной римановой метрикой солитона Риччи. Доказано, что в этом случае существуют нетривиальные инвариантные полусимметрические связности. Ранее авторами проводились аналогичные исследования в классе эйнштейновых метрик.

Ключевые слова: полусимметрические связности, инвариантные солитоны Риччи, группы Ли, левоинвариантные римановы метрики, математическое моделирование.

P. N. Klepikov, E. D. Rodionov, O. P. Khromova

MATHEMATICAL MODELING IN THE STUDY OF SEMISYMMETRIC CONNECTIONS ON THREE-DIMENSIONAL LIE GROUPS WITH THE METRIC OF THE RICCI SOLITON

Semisymmetric connections were first discovered by E. Cartan and are a natural generalization of the Levi-Civita connection. The properties of the parallel transfer of such connections and the basic tensor fields were investigated by I. Agrikola, K. Yano and other mathematicians. In this paper, a mathematical model is constructed for studying semisymmetric connections on three-dimensional Lie groups with the metric of an invariant Ricci soliton. A classification of these connections on three-dimensional unimodular Lie groups with left-invariant Riemannian metric of the Ricci soliton is obtained. It is proved that in this case there are nontrivial invariant semisymmetric connections. Previously, the authors carried out similar studies in the class of Einstein metrics.

Key words: semi-symmetric connections, invariant Ricci solitons, Lie groups, left-invariant Riemannian metrics, mathematical modeling.

1. Введение и основные результаты

Актуальным направлением в исследовании римановых многообразий малой размерности является математическое моделирование, создание и применение алгоритмов для нахождения тензорных полей на римановых многообразиях с целью изучения последних. В этом направлении известны многие результаты [1–12]. Целью данной работы является

описание алгоритма, который позволит изучить вопрос о нахождении полусимметрических связностей на трехмерных группах Ли с метрикой инвариантного солитона Риччи. В результате будет дана классификация данных связностей на трехмерных унимодулярных группах Ли с левоинвариантной римановой метрикой солитона Риччи, а также показано, что в этом случае существуют нетривиальные инвариантные полусимметрические связности. Ранее авторами проводились аналогичные исследования в классе эйнштейновых метрик [13,14]. Более подробно.

Пусть (M, g) — риманово многообразие. Определим на данном многообразии метрическую связность ∇ с помощью формулы

$$\nabla_X Y = \nabla_X^g Y + g(X, Y)V - g(V, Y)X,$$

где V — некоторое фиксированное векторное поле, X и Y — произвольные векторные поля, ∇^g — связность Леви-Чивиты. Связность ∇ является одной из трех основных связностей, описанных Э. Картаном в [1], и называется метрической связностью с векторным кручением или полусимметрической связностью.

Класс метрических связностей, определяемых данным образом, содержит связность Леви-Чивиты и играет важную роль в исследованиях по римановой геометрии (см. [1–10]).

Тензор кривизны и тензор Риччи связности ∇ определяются соответственно равенствами

$$R(X, Y)Z = \nabla_Y \nabla_X Z - \nabla_X \nabla_Y Z + \nabla_{[X, Y]} Z, \quad r(X, Y) = \text{tr}(Z \rightarrow R(X, Z)Y).$$

Отметим, что, в отличие от случая связности Леви-Чивиты, в данном случае тензор Риччи не обязан быть симметричным. Однако верна следующая теорема (см. [9,10])

Теорема 1. Пусть (M, g) — (псевдо)риманово многообразие с полусимметрической связностью. Тензор Риччи является симметричным тогда и только тогда, когда 1-форма π , определяемая равенством $\pi(X) = g(X, V)$ для любого векторного поля X на M , замкнута, т.е. $d\pi = 0$.

Определение 1. Метрика g полного риманова многообразия (M, g) называется солитоном Риччи, если она удовлетворяет уравнению

$$r = \Lambda g + L_P g, \quad (1)$$

где r — тензор Риччи метрики g , $L_P g$ — производная Ли метрики g по направлению полного дифференцируемого векторного поля P , константа $\Lambda \in \mathbb{R}$. Если $M = G/H$ — однородное пространство, то однородная риманова метрика, удовлетворяющая (2), называется однородным солитоном Риччи, а если $M = G$ и поле P левоинвариантно — инвариантным солитоном Риччи. Более того, инвариантный солитон Риччи называется тривиальным, если $L_P g(Y, Z) = \tau \cdot g(Y, Z)$ для некоторого $\tau \in \mathbb{R}$, и любых $Y, Z \in \mathfrak{g}$, где $\mathfrak{g}$ — алгебра Ли группы Ли G .

Замечание. Векторное поле V неявно входит в уравнение (2), а в случае $V = 0$ мы получаем классическое определение солитона Риччи. Заметим также, что производная Ли имеет вид: $L_P g(X, Y) = P g(X, Y) + g([X, P], Y) + g(X, [Y, P])$. Более того, если солитон Риччи инвариантен, то $L_P g(X, Y) = g([X, P], Y) + g(X, [Y, P])$ для произвольных инвариантных полей X и Y .

Отметим, что в случае связности Леви-Чивиты инвариантные солитоны Риччи исследовались в работах [11–12], где была доказана

Теорема 2. Для любой конечномерной унимодулярной группы Ли с левоинвариантной римановой метрикой и связностью Леви-Чивиты все инвариантные солитоны Риччи тривиальны.

Замечание. В неунимодулярном случае аналогичный результат до размерности четыре включительно получен П.Н.Клепиковым и Д.Н.Оскорбиным [12].

Определение 2. Полусимметрическая связность на римановом многообразии (M, g) называется тривиальной, если векторное поле V , определяющее эту связность, равно нулю.

Основным результатом данной работы является получение искомого алгоритма и доказательство следующей теоремы.

Теорема 3. Пусть (G, g, ∇) — трехмерная группа Ли с левоинвариантной римановой метрикой g и полусимметрической связностью ∇ , отличной от связности Леви-Чивиты. Тогда среди таких групп Ли существуют группы и полусимметрические связности на них, допускающие нетривиальные инвариантные солитоны Риччи.

2. Построение алгоритма

Пусть далее $M = G$ — группа Ли с левоинвариантной римановой метрикой, $\mathfrak{g}$ — ее алгебра Ли. Фиксируем базис $e_1, \dots, e_n$ левоинвариантных векторных полей в $\mathfrak{g}$ и положим

$$[e_i, e_j] = c_{ij}^k e_k, \quad g(e_i, e_j) = g_{ij}, \quad c_{ijs} = c_{ij}^k g_{ks},$$

где c_{ij}^k — структурные константы алгебры Ли, g_{ij} — компоненты метрического тензора.

Зафиксируем некоторое инвариантное векторное поле V , с помощью которого определим на G метрическую связность ∇ с векторным кручением.

Тогда компоненты связности ∇ определяются формулами

$$\Gamma_{ij}^k = (\Gamma^g)_{ij}^k + g_{ij} V^k - g_{sj} V^s \delta_i^k,$$

где $(\Gamma^g)_{ij}^s = \frac{1}{2} g^{ks} (c_{ijk} - c_{jki} + c_{kij})$ — компоненты связности Леви-Чивита ∇^g , $\|g^{ks}\|$ — матрица обратная к $\|g_{ks}\|$, δ_i^k — символ Кронекера.

Аналогично общему случаю определим тензор кривизны R и тензор Риччи r . В базисе $e_1, \dots, e_n$ их компоненты соответственно есть

$$R_{ijks} = (\Gamma_{ik}^l \Gamma_{jl}^p - \Gamma_{jk}^l \Gamma_{il}^p + c_{ij}^l \Gamma_{lk}^p) g_{ps}, \quad r_{ik} = R_{ijks} g^{js}.$$

Пусть P — левоинвариантное векторное поле. Тогда (1) можно переписать в терминах структурных констант алгебры Ли

$$r_{ij} = \Lambda g_{ij} - P^k (c_{ki}^s g_{sj} + c_{kj}^s g_{si}), \quad (2)$$

где r_{ij} — компоненты тензора Риччи, $\Lambda \in \mathbb{R}$, g_{ij} — компоненты метрического тензора, P^k — координаты левоинвариантного векторного поля, c_{ij}^k — структурные константы алгебры Ли $\mathfrak{g}$.

Пусть $(G, \mathfrak{g}, V)$ задана метрической группой Ли G с алгеброй Ли $\mathfrak{g}$ и векторным полем V , определяющим связность. Справедливо следующее утверждение

Лемма 1. Если метрическая группа Ли $(G, \mathfrak{g}, V)$ удовлетворяет уравнению солитона Риччи, то в некотором базисе $\{e_1, \dots, e_n\}$ алгебры Ли $\mathfrak{g}$ выполняется соотношение

$$V^i g_{ij} c_{kt}^j = 0 \quad (3)$$

или в инвариантной форме

$$g(V, [X, Y]) = 0, \quad \forall X, Y \in \mathfrak{g}.$$

Здесь c_{kt}^j — структурные константы алгебры $\mathfrak{g}$, определяемые разложением $[e_k, e_t] = c_{kt}^j e_j$.

Доказательство. Если $(G, \mathfrak{g}, V)$ удовлетворяет уравнению солитона Риччи, то в силу (1) тензор Риччи должен быть симметричен. Тогда по теореме 1 необходимо $d\pi = 0$, т.е. для произвольных векторных полей $X, Y \in \mathfrak{g}$ выполняется

$$2d\pi(X, Y) = X\pi(Y) - Y\pi(X) - \pi([X, Y]) = -2\pi([X, Y]) = -2g([X, Y], V) = 0.$$

Фиксируя некоторый базис $\{e_1, \dots, e_n\}$ в алгебре Ли $\mathfrak{g}$, из данного равенства получаем (3).

Лемма 2. Инвариантный солитон Риччи тривиален тогда и только, когда выполняется

$$P^k(c_{ki}^s g_{sj} + c_{kj}^s g_{si}) = \tau g_{ij}.$$

Следующая классификация для трехмерных метрических групп Ли была получена Дж. Милнором в [15].

Теорема 4. Пусть G — трехмерная унимодулярная группа Ли с левоинвариантной римановой метрикой. Тогда в алгебре Ли группы G существует ортонормированный базис $\{e_1, e_2, e_3\}$ такой, что:

$$[e_1, e_2] = \alpha_3 e_3, \quad [e_1, e_3] = -\alpha_2 e_2, \quad [e_2, e_3] = \alpha_1 e_1.$$

3. Доказательство теоремы

В данном разделе для доказательства теоремы 3 рассмотрим систему уравнений (2) для определения инвариантных солитонов Риччи, систему уравнений (3) для определения симметричности тензора Риччи, а также систему уравнений (4) для определения тривиальности солитона Риччи. Заметим, что в силу тензорного вида левой и правой частей уравнения (3) все вычисления достаточно провести для базиса Дж.Милнора. Рассуждения проведем для унимодулярной группы Ли G , что будет достаточным для доказательства теоремы 3.

Условие (3) имеет вид $V^1 \alpha_1 = 0$, $V^2 \alpha_2 = 0$, $V^3 \alpha_3 = 0$, поэтому имеет место один из следующих случаев

- (i) $V = (0, 0, 0)$;
- (ii) $V = (V^1, 0, 0)$ и $\alpha_1 = 0$;
- (iii) $V = (0, V^2, 0)$ и $\alpha_2 = 0$;
- (iv) $V = (0, 0, V^3)$ и $\alpha_3 = 0$;
- (v) $V = (V^1, V^2, 0)$ и $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 0$;

(vi) $V = (0, V^2, V^3)$ и $\alpha_2 = 0, \alpha_3 = 0$;

(vii) $V = (V^1, 0, V^3)$ и $\alpha_1 = 0, \alpha_3 = 0$;

(viii) $V = (V^1, V^2, V^3)$ и $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 0, \alpha_3 = 0$.

С точностью до переобозначения базисных векторов интерес представляют только случаи (i), (ii), (v) и (viii).

(i) В данном случае вектор V тривиален и полусимметрическая связность является связностью Леви-Чивиты. При этом решениями системы уравнений (2) являются следующие тривиальные солитоны

1. $\Lambda = \frac{1}{2}\alpha_3^2, \tau = 0, \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 \in \mathbb{R}, V = (0, 0, 0), P = (P^1, P^2, P^3).$

2. $\Lambda = 0, \tau = 0, \alpha_1 = 0, \alpha_2 = \alpha_3 \in \mathbb{R}, V = (0, 0, 0), P = (P^1, 0, 0).$

3. $\Lambda = 0, \tau = 0, \alpha_1 = \alpha_3 \in \mathbb{R}, \alpha_2 = 0, V = (0, 0, 0), P = (0, P^2, 0).$

4. $\Lambda = 0, \tau = 0, \alpha_1 = \alpha_2 \in \mathbb{R}, \alpha_3 = 0, V = (0, 0, 0), P = (0, 0, P^3).$

(ii) В этом случае $V = (V^1, 0, 0)$, $V^1 \neq 0$ и $\alpha_1 = 0$. Тогда системы уравнений (2) и (4)

примут вид

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}V^1(\alpha_2 - \alpha_3) &= P^1(\alpha_2 - \alpha_3), \\ \frac{1}{2}(\alpha_2^2 - \alpha_3^2) - (V^1)^2 &= \Lambda^2, \\ \frac{1}{2}(\alpha_3^2 - \alpha_2^2) - (V^1)^2 &= \Lambda^2, \\ \frac{1}{2}(\alpha_2 - \alpha_3)^2 &= -\Lambda, \\ 0 &= P^2\alpha_3, \\ 0 &= P^3\alpha_2, \\ 0 &= \tau, \end{aligned} \quad (5)$$

и

$$P^1(\alpha_3 - \alpha_2) = 0, \quad P^2\alpha_3 = 0, \quad P^3\alpha_2 = 0.$$

Решением системы равенств (5) является

$$\Lambda = -(V^1)^2, \tau = 0, \alpha_1 = 0, \alpha_2 = -\alpha_3, \alpha_3 = \pm \frac{\sqrt{2}}{2}V^1, V = (V^1, 0, 0), P = (\frac{V^1}{2}, 0, 0).$$

Очевидно, что оно не удовлетворяет (6), поскольку в рассматриваемом случае $V^1 \neq 0$. Таким образом, найденный солитон нетривиален.

(iii) и (iv) Данные случаи рассматриваются аналогично (ii). Соответствующие нетривиальные солитоны имеют вид

1. $\Lambda = -(V^2)^2, \alpha_1 = -\alpha_3, \alpha_3 = \pm \frac{\sqrt{2}}{2}V^2, \alpha_2 = \tau = 0, V = (0, V^2, 0), P = (0, \frac{V^2}{2}, 0);$

2. $\Lambda = -(V^3)^2, \alpha_1 = -\alpha_2, \alpha_2 = \pm \frac{\sqrt{2}}{2}V^3, \alpha_3 = \tau = 0, V = (0, 0, V^3), P = (0, 0, \frac{V^3}{2});$

где $V^2 \neq 0$ и $V^3 \neq 0$ соответственно.

(v) Пусть теперь $V = (V^1, V^2, 0)$, $V^1 V^2 \neq 0$ и $\alpha_1 = 0$, $\alpha_2 = 0$. Тогда система уравнений (2) примет вид

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} V^1 \alpha_3 &= P^1 \alpha_3, \\ \frac{1}{2} V^2 \alpha_3 &= P^2 \alpha_3, \\ V^1 V^2 &= 0, \\ \frac{1}{2} \alpha_3^2 - (V^1)^2 - (V^2)^2 &= \Lambda, \\ \frac{1}{2} \alpha_3^2 + (V^1)^2 &= -\Lambda, \\ \frac{1}{2} \alpha_3^2 + (V^2)^2 &= -\Lambda, \\ 0 &= \tau.\end{aligned}$$

Данная система равенств не имеет решений, поскольку в рассматриваемом случае $V^1 V^2 \neq 0$.

(vi) и (vii) Рассуждениями аналогичными (v), заключаем что в данных случаях инвариантных солитонов Риччи не существует.

(viii) Пусть теперь $V = (V^1, V^2, V^3)$ $V^1 V^2 V^3 \neq 0$ и $\alpha_1 = \tau = 0$, $\alpha_2 = 0$, $\alpha_3 = 0$. Тогда системы уравнений (2) примет вид $V^2 V^3 = 0$,

$$\begin{aligned}V^1 V^3 &= 0, \\ V^1 V^2 &= 0, \\ (V^1)^2 + (V^2)^2 &= -\Lambda, \\ (V^1)^2 + (V^3)^2 &= -\Lambda, \\ (V^2)^2 + (V^3)^2 &= -\Lambda, \\ 0 &= \tau.\end{aligned}$$

Данная система равенств не имеет решений, поскольку в рассматриваемом случае $V^1 V^2 V^3 \neq 0$.

4. Заключение.

В работе изучен класс полусимметрических метрических связностей, которые включают в себя связность Леви-Чивиты и порождают обобщение теории солитонов Риччи, а также общей теории относительности А. Эйнштейна. Построена математическая модель для изучения полусимметрических связностей на трехмерных группах Ли с метрикой инвариантного солитона Риччи. Данная математическая модель допускает реализацию в средах универсальных математических систем и может быть использована для изучения метрических связностей на группах Ли малой размерности (см., например, [16, 17]).

Литература

1. Cartan, E. Sur les variétés à connexion affine et la théorie de la relativité généralisée (deuxième partie) / E. Cartan // Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure. - 1925. - Vol. 42. - P. 17-88.
2. Yano, K. On semi-symmetric metric connection / K. Yano // Revue Roumaine de Math. Pure et Appliquées. 1970. - Vol. 15. - P. 1579-1586.
3. Agricola, I. Manifolds with vectorial torsion / I. Agricola, M. Kraus // Differential Geometry and its Applications. 2016. - Vol. 46. - P. 130-147.
4. Muniraja, G. Manifolds Admitting a Semi-Symmetric Metric Connection and a Generalization of Schur's Theorem // International Journal of Contemporary Mathematical Sciences. - 2008. - Vol. 25, Is. 3. - P. 1223-1232.
5. Agricola, I. The Geodesics of Metric Connections with Vectorial Torsion / I. Agricola, C. Thier // Annals of Global Analysis and Geometry. - 2004. - Vol. 26. - P. 3211-332.

6. Родионов, Е. Д. О секционной кривизне метрических связностей с векторным кручением / Е. Д. Родионов, В. В. Славский, О. П. Хромова. - Текст : непосредственный // Известия АлтГУ. - 2020. - № 1. - С. 124-127.
7. Yilmaz, H. B. On a Semi Symmetric Metric Connection with a Special Condition on a Riemannian Manifold / H. B. Yilmaz, F. O. Zengin, S. A. Uysal // European journal of pure and applied mathematics. - 2011. - Vol. 4, Is. 2. - P. 152-161.
8. Zengin, F. O. Some vector fields on a riemannian manifold with semi-symmetric metric connection / F. O. Zengin, S. A. Demirbag, S. A. Uysal [et al.] // Bulletin of the Iranian Mathematical Society. - 2012. - Vol. 38, Is. 2. - P. 479-490.
9. Barua, B. Some properties of a semi-symmetric metric connection in a Riemannian manifold / B. Barua, A. Kr. Ray // Indian Journal of Pure and Applied Mathematics. - 1985. - Vol. 16, Is. 7. - P. 736-740.
10. De, U. C. Some properties of a semi-symmetric metric connection on a Riemannian manifold / U. C. De, B. K. De // Istanbul Universitesi Fen Fak?ltesi Mat. Der. - 1995. - Vol. 54. - P. 111-117.
11. Di Cerbo, L. Generic properties of homogeneous Ricci solitons / L. Di Cerbo // Advances in Geometry. - 2014. - Vol. 14, Is. 2. - P. 225-237.
12. Клепиков, П. Н. Однородные инвариантные солитоны Риччи на четырехмерных группах Ли / П. Н. Клепиков, Д. Н. Оскорбин. - Текст : непосредственный // Известия АлтГУ. - 2015. - Т. 1, № 2. - С. 115-122.
13. Клепиков, П. Н. Уравнение Эйнштейна на трехмерных метрических группах Ли с векторным кручением / П. Н. Клепиков, Е. Д. Родионов, О. П. Хромова. - Текст : непосредственный // Итоги науки и техники. Серия: Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры. - 2020. - Т. 181, № 3. - С. 41-54.
14. Клепиков, П. Н. Уравнение Эйнштейна на трехмерных локально симметрических (псевдо)римановых многообразиях с векторным кручением / П. Н. Клепиков, Е. Д. Родионов, О. П. Хромова. - Текст : непосредственный // Математические заметки СВФУ. - 2019. - Т. 26, № 4. - С. 25-36.
15. Milnor, J. Curvatures of left invariant metrics on Lie groups / J. Milnor // Advances in Mathematics. - 1976. - Vol. 21. - P. 293-329.
16. Программный комплекс для определения секционной кривизны метрических групп Ли : свидетельство о регистрации программы для ЭВМ : № 2020614218 : заявл. 23.03.2020 : опубл. 27.03.2020 / Хромова О. П. - Текст : электронный // ЭБС АлтГУ. - URL: <http://elibrary.asu.ru/xmlui/handle/asu/10158?show=full> (дата обращения: 10.04.2021).
17. Программный комплекс для нахождения инвариантных тензорных полей конечномерных групп Ли : свидетельство о регистрации программы для ЭВМ : № 2014612649 : заявл. 14.10.2013 : опубл. 20.03.2014 / Оскорбин Д. Н., Хромова О. П. - Текст : электронный // ЭБС АлтГУ. - URL: <http://elibrary.asu.ru/handle/asu/7432> (дата обращения: 10.04.2021).

И. В. Пономарев

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ В МОДЕЛИ РАВНОМЕРНО-НЕЧЕТКОЙ РЕГРЕССИИ

При построении математических моделей по статистическим данным перед исследователем возникает необходимость оценки однородности выборки, в частности, изучение данных на выбросы. Наличие в выборке выбросов негативно сказывается на результатах моделирования и адекватности модели в целом. В данной работе разработан алгоритм, позволяющий количественно измерить эффект влияния каждого наблюдения на качество построенной модели. Приводится описание данного алгоритма. Ранее автором проводились аналогичные исследования для различных регрессионных моделей.

Ключевые слова: модель нечеткой линейной регрессии; расстояние Кука; статистические выбросы.

I. V. Ponomarev

ALGORITHM FOR DETECTING OUTLIERS IN THE MODEL UNIFORMLY FUZZY REGRESSION

When constructing mathematical models based on statistical data, the researcher faces the need to assess the homogeneity of the sample, in particular, the study of data on emissions. Availability in a sample of outliers negatively affects the modeling results and the adequacy of the model as a whole. In this work, an algorithm has been developed that allows one to quantitatively measure the effect of the influence of each observation on the quality of the constructed model. The description of this algorithm is given. Previously the author carried out similar studies for various regression models.

Key words: fuzzy linear regression model; Cook's distance; statistical outliers.

1. Введение

Актуальным направлением развития регрессионного моделирования является применение теории нечетких множеств. В этом направлении можно выделить работы [1-6]. В данной работе за основу выбрана равномерно-нечеткая регрессионная модель [7].

Целью исследования является получение алгоритма позволяющего проверить исходную статистическую выборку на наличие выбросов. Подобным исследованиям посвящены работы [8-11]. Отличительной особенностью данной методики является использование “двойной” оценки – при построении регрессионной модели и при вычислении характеристики наблюдения. В результате работы алгоритма каждому наблюдению ставится в соответствие числовая характеристика – расстояние Кука. Данная характеристика будет полезна исследователю при проведении экспертного анализа выборки.

Рассмотрим равномерно-нечеткую регрессионную модель

$$f(X) = a_0 + \sum_{j=1}^k a_j x_{ij} \quad (1)$$

которая равна моде нечеткого числа $A = f(X)$. В данной модели $f \in \Phi$ – нечеткая числовая функция; $a_0, a_1, \dots, a_k$ являются параметрами модели, а x_{ij} – регрессорами.

Предполагая, что функция принадлежности будет иметь конкретный вид

$$\mu_A(y) = \varphi \left(\frac{|f(X) - y|}{\sigma} \right), \quad (2)$$

где $\varphi : [0, \infty) \rightarrow [0, 1]$ – фиксированная убывающая функция, $\varphi(0) = 1$; $\sigma > 0$ – параметр, определяем из условия нормировки достоверности модели.

Пусть имеется некоторая выборка $\Omega = \{(x_{i1}, \dots, x_{ik}, y_i) : i = 1, \dots, N\}$. Достоверность модели будет определяться величиной

$$\delta(f) = \min_{i=1, \dots, N} \{\mu_{A_i}(y_i)\}.$$

В виду того, что спецификация модели является линейной функцией, задача нахождения наиболее достоверной модели сводится к нахождению

$$\alpha_\infty(X, y) = \min_{a_j, j=\overline{0, k}} \max_{i=1, \dots, n} \left| a_0 + \sum_{j=1}^k a_j x_{ij} - y_i \right|. \quad (3)$$

Задача нахождения (3) можно сформулировать в виде задачи линейного программирования

$$\begin{cases} \min_{u; v; a_j, j=\overline{0, k}} (u - v), \\ u \geq \sum_{j=1}^k a_j x_{sj} - y_s, \quad s = 1, \dots, N, \\ v \leq \sum_{j=1}^k a_j x_{tj} - y_t, \quad t = 1, \dots, N, \end{cases}$$

где u – верхняя огибающая, v – нижняя огибающая.

Графическая реализация алгоритма решения представлен на рисунке 1.

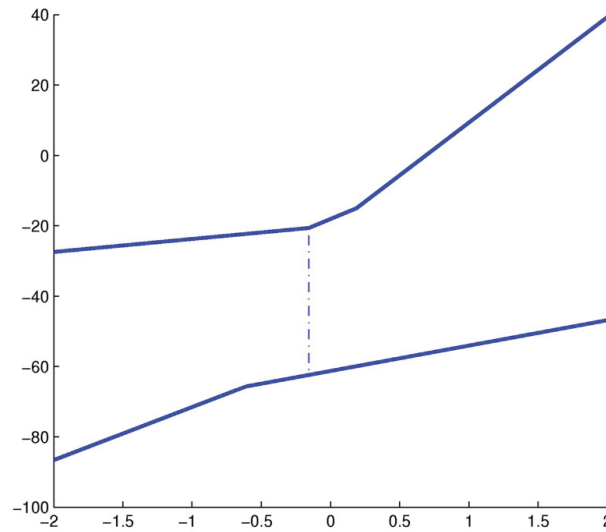


Рисунок 1. Минимальное значение разности двух огибающих в двумерном случае

2. Модификация расстояния Кука

В силу вероятностных предположений относительно регрессионной модели, все наблюдения имеют одинаковое значение, равнозначное влияние на результат моделирования. Поэтому в [9] предполагается, что удаление из выборки одного значения не должно в значительной мере изменять коэффициенты регрессии. Показателем изменения коэффициентов регрессии, влиянием наблюдения на результат будет служить расстояние Кука.

Определение 1. Пусть имеется регрессионная модель

$$y_i = b_0 + b_1 x_{i1} + \dots + b_k x_{ik} + \varepsilon_i,$$

где $\hat{b}, \hat{b}_{(i)}$ – оценки коэффициентов регрессии по исходным данным и после исключения i -го наблюдения.

Расстоянием Кука будем называть величину

$$CD(\hat{Y}, \hat{Y}_{(i)}) = \frac{(\hat{a}_{(i)} - \hat{a})^T (X^T X) (\hat{a}_{(i)} - \hat{a})}{(k+1)s^2},$$

где X – матрица регрессоров; k – количество регрессоров; s^2 – оценка дисперсии ошибок.

Предельным значением расстояния Кука считается значение статистики $F(\alpha, k+1, N-k-1)$.

Таким образом, имеем следующий алгоритм исследования исходных данных методом расстояния Кука:

1. Вычисляются оценки коэффициентов регрессии $\hat{a}$ и дисперсия s^2 .
2. Из набора наблюдений исключается i -ое наблюдение и находятся оценки $\hat{a}_{(i)}$.
3. Определяется расстояние Кука $CD(\hat{Y}, \hat{Y}_{(i)})$ и сравнивается с $F(\alpha, k+1, N-k-1)$.
4. Если $CD(\hat{Y}, \hat{Y}_{(i)}) > F(\alpha, k+1, N-k-1)$, то делается заключение что i -ое наблюдение является выбросом.

Заметим, что расстояние Кука можно представить в виде

$$CD(\hat{Y}, \hat{Y}_{(i)}) = \frac{(X(\hat{a}_{(i)} - \hat{a}))^T (X(\hat{a}_{(i)} - \hat{a}))}{(k+1)s^2} = \frac{(\hat{Y} - \hat{Y}_{(i)})'(\hat{Y} - \hat{Y}_{(i)})}{(k+1)s^2}, \quad (4)$$

что позволяет рассматривать данную метрику как аналог обычного евклидова расстояния.

Определение 2. Евклидовым расстоянием между нечеткими числами $A = \{(z_i, \mu_A(z_i)), i = \overline{1, n}\}$ и $B = \{(z_i, \mu_B(z_i)), i = \overline{1, n}\}$ называется величина

$$d(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\mu_A(z_i) - \mu_B(z_i))^2}. \quad (5)$$

Объединим метрики (4) и (5) и введем следующее определение.

Определение 3. Расстоянием Кука между нечеткими числами A и B называется величина

$$FDK(A, B) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\mu_A(z_i) - \mu_B(z_i))^2}}{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}{n-1}}, \quad (6)$$

где $\bar{z}$ – среднее значение.

3. Алгоритм исследования данных на выбросы

Рассмотрим модель (1) с треугольной функцией принадлежности, т.е. φ – линейная убывающая функция.

Проверка исходных данных будет заключаться в построении расстояния (6) между вектором теоретических $Y = \{y_1, \dots, y_N\}$ и расчетных $\hat{Y} = \{\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_N\}$ значений. Соответствующий алгоритм можно представить следующим образом.

1. Решая задачу (3), определяются оценки коэффициентов $\hat{a}$ регрессии (1).
2. По формуле (2) вычисляются расчетные значения выходной переменной и соответствующие им функции принадлежности $\hat{Y} = \{(\hat{y}_i, \mu_A(\hat{y}_i))\}$.
3. Из набора данных исключается j -ое наблюдение и повторяются шаги 1 и 2. Получаем значение $\hat{Y}_{(j)} = \{(\hat{y}_i^*, \mu_A(\hat{y}_i^*))\}, i \neq j$.
4. Определяется расстояние Кука (6) $FDK(\hat{Y}, \hat{Y}_{(j)})$.
5. Шаги 3 и 4 повторяются для всех $j = \overline{1, N}$.

Для проверки работоспособности данного алгоритма был создан комплекс программ. Комплекс был запрограммирован в системе компьютерной математики MatLab и включает в себя три отдельные программы. Первая программа по заданному объему и размерности генерирует выборку одинаково распределенных случайных величин и искусственно “засоряет” ее небольшим (обычно 5% от объема исходной выборки) количеством дополнительных наблюдений. Эти наблюдения отличаются по распределению от основной выборки и играют роль выбросов.

Вторая программа строит модель равномерно-нечеткой регрессии. От пользователя требуется указать массивы входных и результирующей переменных. На выходе получаются два массива: коэффициентов и значений функции принадлежности для результирующей переменной $\mu_A(\hat{y}_i)$.

Третья программа производит пошаговое исключение из исходной выборки по одному наблюдению и вычисляет для оставшихся наблюдений новые значения функции принадлежности $\mu_A(\hat{y}_i^*)$ с использованием второй программы. На каждом таком шаге вычисляется расстояние Кука между полученными нечеткими числами. Результат записывается в массив и выводится графическая иллюстрация (диаграмма).

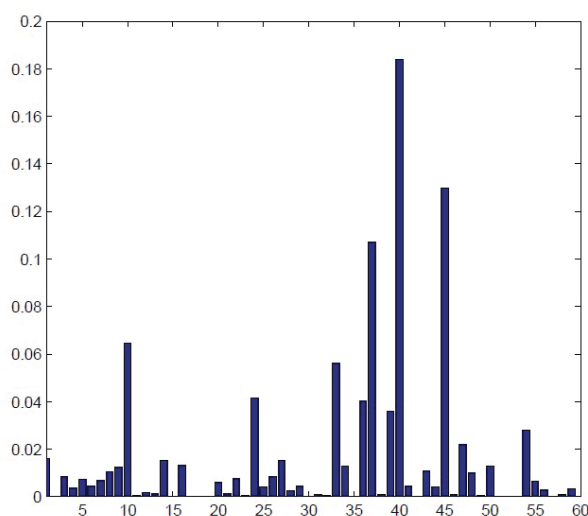


Рисунок 2. Диаграмма значений расстояний Кука для тестовой выборки

На рисунке 2 представлена диаграмма рассеяния расстояний Кука для одной из тестовых выборок. Легко заметить, что критическими могут быть признаны четыре наблюдения. Все эти наблюдения и были заранее введены в выборку.

С использованием разработанного программного комплекса был проведен ряд подобных испытаний с различными выборками. Результаты анализа показали, что данный метод верно определяет 3-4 выброса при объеме выборки 60-100 наблюдений. Уменьшение объема выборки влечет за собой увеличение разброса данных и тем самым осложняет процесс нахождения выбросов. При тестировании малых выборок представленный алгоритм верно определял 1-2 выброса. Таким образом, данный алгоритм пригоден для анализа результатов регрессионного моделирования. Полученный программный комплекс позволяет за разумное время обработать достаточное число наблюдений.

Заметим, что окончательный ответ на вопрос об отнесении наблюдения к выбросам дает непосредственно исследователь. Разработанный алгоритм и комплекс программ являются удобными инструментами для обнаружения “подозрительных” элементов и вычисляет соответствующую численную характеристику.

Литература

1. David, B. *Alternativ Methods of Regression* / B. David, D. Yadolah. - New York : Jonh Wiley & Sans, Inc., 1993. - 248 p.
2. Gomez, A. T. *Applications Of Fuzzy Regression In Actuarial Analysis* / A. T. Gomez, J. de A. Sanchez // *Journal of Risk & Insurance*. - 2003. - Vol. 30. - P. 665-699.
3. Tanaka, H. *Linear regression analysis with fuzzy model* / H. Tanaka, S. Uejima, K. Asai // *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. - 1982. - Vol. 12 (6). - P. 903-907.
4. Брюс, П. *Практическая статистика для специалистов Data Science : перевод с английского* / П. Брюс, Э. Брюс. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2018. 304 с. - Текст : непосредственный.
5. Дрейпер, Н. *Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия = Applied Regression Analysis* / Н. Дрейпер, Г. Смит. - 3-е издание. - Москва, 2007. - 369 с. - Текст : непосредственный.

6. Стрижов, В. В. Методы выбора регрессионных моделей / В. В. Стрижов, Е. А. Крымова. - Москва : ВЦ РАН, 2010. - 60 с. - Текст : непосредственный.
7. Пономарев, И. В. Нечеткая модель линейной регрессии / И. В. Пономарев, В. В. Славский. - Текст : непосредственный // Доклады Академии наук. - 2009. - Т. 428, № 5. - С. 598-600.
8. Andrews, D. F. Finding the outliers that matter / D. F. Andrews, D. Pregibon // Journal of the Royal Statistical Society. - 1978. - Vol. 40. - P. 85-93.
9. Cook, R. D. Detection of Influential Observation in Linear Regression / R. D. Cook // Technometrics. - 1977. - Vol. 42, № 1. - P. 15-18.
10. Weisberg, S. Applied linear regression / S. Weisberg. - 3rd editor. - New York : John Wiley & Sons, Inc., 2005. - 260 p.
11. Пономарев, И. В. Метод поиска экстремальных наблюдений в задаче нечеткой регрессии / И. В. Пономарев, Т. В. Саженова, В. В. Славский. - Текст : непосредственный // Известия Алтайского государственного университета. - 2018. - № 4 (102). - С. 98-101.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

Г. А. Кочергин, И. Н. Муратов

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РИСКОВ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

В работе предложен новый риск-ориентированный подход к осуществлению контрольно-надзорной деятельности в сфере регионального экологического контроля. Рассмотрены вопросы построения имитационной модели оценки рисков аварийных разливов нефти, реализуемой в виде цифровой карты региона на основе сочетания методов кластеризации и пространственного анализа данных. В основе анализа лежат данные по аварийности на промысловых нефтепроводах на лицензионных участках Ханты-Мансийского автономного округа за период с 2014 по 2020 годы. Результатом анализа является цифровая карта, опубликованная в сети Интернет с авторизованным доступом и отражающая 5 уровней риска для участков территории исследования.

Ключевые слова: риск-ориентированный подход, имитационная модель, пространственный анализ, методы кластеризации, геоинформационные системы, аварийные разливы нефти.

G. A. Kochergin, I. N. Muratov

SIMULATION MODEL FOR ASSESSING THE RISKS OF ACCIDENTAL OIL SPILLS BASED ON CLUSTER ANALYSIS

The paper proposes a new risk-oriented approach to the implementation of control and supervision activities in the field of regional environmental control. The issues of building a simulation model of oil spill risks assessment, implemented in the form of a digital map of the region based on a combination of clustering methods and spatial data analysis are considered. The analysis is based on data on accidents at field oil pipelines in the license areas of Khanty-Mansi Autonomous Okrug for the period from 2014 to 2020. The result of the analysis is a digital map published on the Internet with authorized access and reflecting 5 levels of risk for the districts of the study area.

Key words: risk-oriented approach, simulation model, spatial analysis, cluster analysis, geoinformation systems, oil spills.

Введение

В связи с необходимостью внедрения риск-ориентированного подхода при осуществлении контрольно-надзорной деятельности региональными органами государственной власти, обусловленной принятием соответствующего федерального закона [1], возникает задача разработки методики для отнесения объектов или субъектов контроля к определенной категории риска. Правительством РФ разработаны общие правила определения категорий рисков [2, 3], которые, тем не менее, не являются универсальными для таких видов контроля, как, например, региональный экологический контроль, где объектом контроля является участок территории, а не юридическое лицо как таковое. Более того, поставленная в сфере регионального экологического контроля задача должна решаться отдельно для каждого субъекта РФ исходя из специфики хозяйственной деятельности, выявленных экологических рисков, а также накопленной информации об экологическом состоянии окружающей среды и зафиксированных негативных процессах или явлениях.

Для Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО), являющегося лидером среди российских регионов по добыче и транспортировке углеводородного сырья, одной из главных экологических проблем является загрязнение земель лесного фонда вследствие аварийного разлива нефти и нефтепродуктов [4]. Огромная территория, на которой ведется интенсивная добыча нефти, и относительно слаборазвитая транспортная инфраструктура требуют разработки новых подходов не только к проведению контрольно-надзорных мероприятий, но и к их планированию. В связи с этим внедрение риск-ориентированного подхода является ключевой задачей, решение которой позволит не только обеспечить экологическую безопасность региона, но и повысит эффективность работы инспекторского состава при осуществлении контрольно-надзорных мероприятий [5].

В качестве инструмента для оценки указанных рисков представляют интерес методические документы [6], регламентирующие оценку риска аварий на магистральных и промысловых нефтепроводах. Согласно упомянутой выше методике, оценка риска аварий – это процесс, используемый для определения вероятности (или частоты) и степени тяжести последствий реализации опасностей аварий для здоровья человека, имущества и (или) окружающей природной среды. Оценка риска включает анализ вероятности (или частоты), анализ последствий и их сочетания. В данной методике используются многолетние данные об авариях для количественного анализа риска аварий на магистральном нефтепроводе. Производится количественная оценка показателей риска аварий для сравнения их со среднестатистическим (фоновым) уровнем риска и установления степени опасности линейных участков и линейных составляющих магистрального нефтепровода.

Для анализа риска аварий на промысловых нефтепроводах также предполагается использование другой методики [7], которая включает идентификацию опасностей, которые могут привести к авариям, и определение вероятностей (частот) возникновения аварий с использованием метода анализа деревьев отказов. Использование многолетних данных об авариях в данной методике не предусмотрено.

По нашему мнению, использование указанных выше методик для анализа риска аварий на магистральных и промысловых нефтепроводах вызывает определенные сложности применительно к территориальным условиям ХМАО, где сеть трубопроводов представляет собой сильно разветвленную структуру (рисунок 1), а их общая протяженность по состоянию на 2019 год составляет более 114 тыс. км [4]. В связи с этим, актуальной является задача оценки рисков аварийных разливов нефти на площадных участках и создание цифровой карты рисков для всей территории региона. Наиболее приемлемым, по нашему мнению, является подход к оценке рисков аварийных разливов нефти на землях лесного фонда, в основе которого лежит процедура кластеризации имеющихся многолетних данных об авариях и создание на ее основе цифровой карты, которая будет отражать степень риска для той или иной территории. В соответствии с действующим законодательством [3] будем выделять 5 категорий риска, которые более подробно рассмотрены ниже.

Исходя из вышесказанного следует, что в настоящее время методические вопросы внедрения риск-ориентированного подхода к осуществлению регионального экологического контроля на территории ХМАО разработаны недостаточно, что является основной причиной невозможности внедрения такого подхода. В связи с этим целью данной работы является изложение методических вопросов разработки имитационной модели оценки рисков аварийных разливов нефти, реализуемой в виде цифровой карты региона на основе сочетания методов кластеризации и пространственного анализа данных. Под риском аварийного разлива нефти мы будем понимать ожидаемую частоту возникновения инцидента на некотором участке территории, рассчитанную на основе имеющихся данных об авариях в прошлом на всей территории анализа. Такой тип анализа рисков, основанный на использовании результатов статистической обработки проявлений опасных событий и процессов в прошлом, в [8] называется апостериорным.

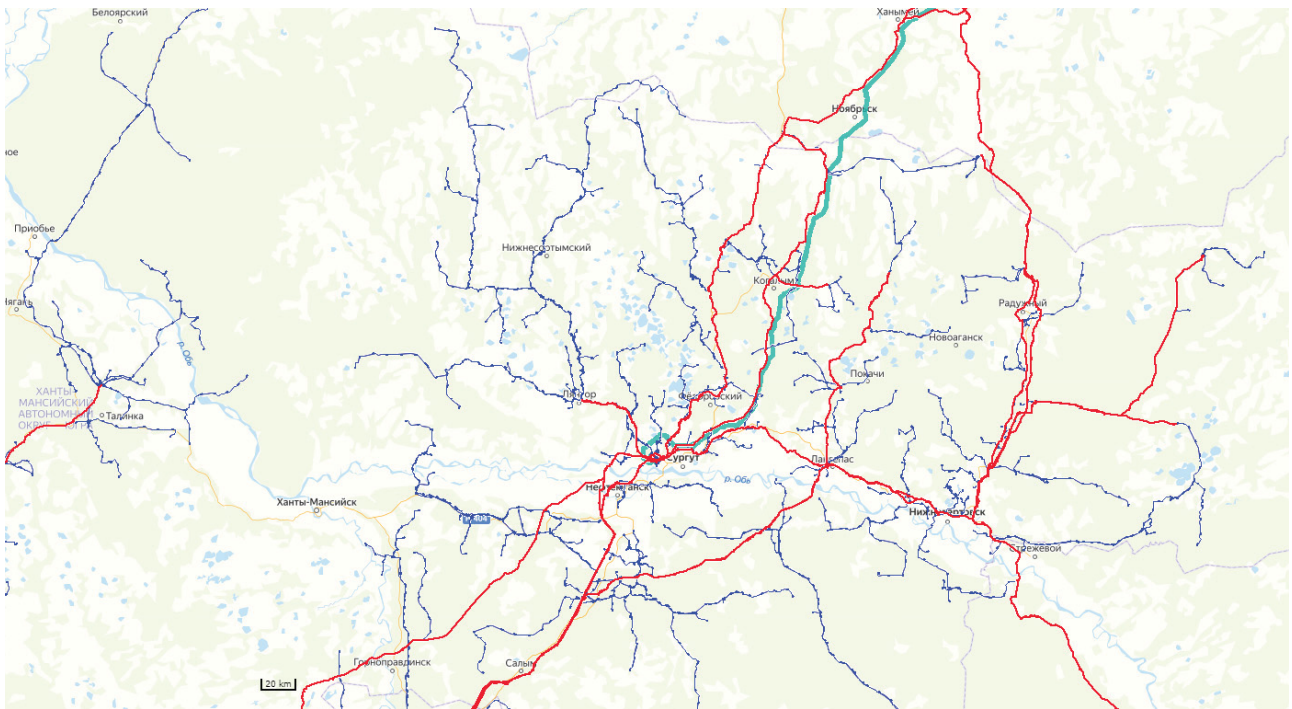


Рисунок 1 – Схема размещения трубопроводов на территории ХМАО:
магистральные – красные линии; промысловые – синие линии

Данные и особенности их обработки и анализа

Для проведения исследований в настоящей работе использовались данные, накопленные в региональной информационной системе «Автоматизированная информационная система контрольно-надзорной деятельности» (АИС КНД), основным пользователем которой является Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (Природнадзор Югры). В качестве исходных данных использовалась выборка информации обо всех произошедших на территории лицензионных участков (ЛУ) авариях на промысловых нефтепроводах за 2014–2020 гг. Для каждого инцидента определены местоположение и дата, что позволяет соотнести эту информацию с границами лицензионных участков и провести пространственный анализ данных об аварийности на участках определенной площади за весь рассматриваемый отрезок времени.

Первоначальный размер выборки, импортированной из АИС КНД, составлял 18 686 записей об авариях за период с 2014 по 2020 гг. Из них пригодными для дальнейшего анализа оказались только 14 744 записи, которые имели корректное описание местоположения аварий. Остальные записи были исключены из дальнейшего анализа ввиду недостаточной их корректности.

Обработка исходной выборки данных производилась с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel, которое позволило сформировать двумерную таблицу объектов, имеющих корректное описание пространственных и атрибутивных данных. Также все расчеты интегральных показателей, используемых в исследовании, проводились в указанном табличном процессоре.

Для кластеризации и пространственного анализа данных применялось специализированное программное обеспечение с открытым исходным кодом – геоинформационная система GeoDA [9], разработанная в Центре науки о пространственных данных Чикагского университета США. Анализ различных ГИС показал, что указанная система, предназначенная для анализа данных путем изучения и моделирования пространственных закономерностей, является

наиболее подходящей для решения нашей задачи. Для отображения табличных данных в геоинформационной системе предварительно было выполнено преобразование табличных данных с координатами мест аварий к пространственному формату.

Создание цифровой карты рисков аварийных разливов нефти в регионе и ее публикация на заключительном этапе анализа проводилась с использованием серверной геоинформационной системы NextGIS Web [10], которая так же относится к классу систем с открытым исходным кодом. Это позволило предоставить доступ к разработанной цифровой карте определенному кругу авторизованных пользователей (сотрудникам Природнадзора Югры) посредством сети Интернет.

Методические вопросы разработки имитационной модели

Рассмотрим методические вопросы построения имитационной модели для оценки рисков аварийных разливов нефти на территории автономного округа в виде цифровой карты, которая реализуется алгоритмическими методами с использованием кластеризации и пространственного анализа. Для создания цифровой карты нами предлагается следующая последовательность этапов обработки и анализа данных:

1. Расчет интегрального показателя на основе аварий, произошедших в границах лицензионных участков за все годы наблюдений, с учетом площади ЛУ и суммарного количества аварий на всех ЛУ по каждой компании.
2. Кластеризация лицензионных участков на 5 классов (по 5 уровням риска) на основе рассчитанных значений интегрального показателя.
3. Разделение ЛУ на элементарные участки меньшей площади, в зависимости от рассчитанного уровня риска.
4. Расчет нового интегрального показателя для элементарных участков с учетом площади участка и количества аварий на соседних участках.
5. Кластеризация элементарных участков на 5 классов (по 5 уровням риска) на основе значений нового интегрального показателя.
6. Создание цифровой карты оценки рисков аварийных разливов нефти на территории автономного округа и публикация результатов анализа.

На первом этапе для каждого лицензионного участка, расположенного на территории автономного округа, был рассчитан интегральный показатель AGSWK, основанный на данных о количестве аварий за все годы и учитывающий площадь ЛУ и усредненное количество аварий на всех ЛУ по каждой компании, с использованием следующей формулы:

$$AGSWK = AGS + \frac{1}{K} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N AGS \times wk_{ij}, \quad (1)$$

где N – количество лицензионных участков на территории ХМАО (423 шт.); K – количество лицензионных участков у соответствующей компании-недропользователя; wk – элементы матрицы соответствия компаний WK, для которой выполняется следующее условие:

$$wk_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если название компании совпадает для } i\text{-го и } j\text{-го ЛУ} \\ 0, & \text{в противоположном случае} \end{cases}, \quad (2)$$

AGS – это показатель количества аварий, определяемый по формуле:

$$AGS = (w_{2020} \times a_{2020} + w_{2019} \times a_{2019} + \dots + w_{2014} \times a_{2014}) \times \frac{1}{S}, \quad (3)$$

где w – весовой коэффициент для соответствующего года; a – количество зафиксированных аварий на лицензионном участке в соответствующем году; S – площадь лицензионного участка.

Весовой коэффициент для соответствующего года w в формуле (3) принимает следующие значения: "1" для 2020 года, "1/2" для 2019 года, "1/4" для 2018 года и так далее до "1/64" для 2014 года. Эти значения выбраны таким образом, чтобы значимость (вес) аварий уменьшалась с увеличением времени давности произошедших аварий, то есть, чем раньше произошли аварии, тем меньше будет их значимость.

Матрица соответствия компаний WK в формуле (1) введена для того, чтобы увеличить значение интегрального показателя для всех лицензионных участков тех компаний, у которых есть участки с высоким количеством выявленных аварий.

На втором этапе на основе рассчитанных по формуле (1) значений интегрального показателя AGSWK все 423 лицензионных участка были разбиты на 5 кластеров с использованием метода кластеризации k-медоидов [11]. Информация о полученных кластерах представлена в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Результаты кластеризации ЛУ

№ кластера	Центр кластера (по показателю AGSWK)	Количество ЛУ в кластере	Уровень риска
1	0,001	357	низкий
2	0,058	18	умеренный
3	0,107	19	средний
4	0,172	17	значительный
5	0,374	12	высокий

Отношение внутрикластерной суммы квадратов расстояний к межкластерной сумме квадратов расстояний для полученных кластеров оказалось равным 0,056. Низкие значения указанного отношения свидетельствуют о высокой компактности элементов в каждом кластере и, вместе с тем, о большой отдаленности кластеров друг от друга, что, в свою очередь, говорит о высоком качестве полученного разбиения.

На третьем этапе было проведено разделение всех лицензионных участков, попавших во 2-5 кластеры, на элементарные участки по следующему правилу: 2 на 2 км для лицензионных участков из 5 кластера, 4 на 4 км – из 4 кластера, 8 на 8 км – из 3 кластера и 16 на 16 км – из 2 кластера. То есть, чем выше определенный на втором этапе уровень риска для лицензионного участка, тем на более мелкие элементарные участки он разделяется. Такое разделение равномерной квадратной сеткой позволит выявить компактные места высокой концентрации аварий на лицензионных участках, что, в свою очередь, позволит с более высокой детализацией определить территории с различными уровнями риска аварийного разлива нефти. Следует отметить, что лицензионные участки, выделенные на втором этапе в кластер с низким уровнем риска, не разделялись на элементарные участки, а, следовательно, не подвергались дальнейшему анализу.

На четвертом этапе было рассчитано значение нового интегрального показателя ASW для каждого выделенного на предыдущем этапе элементарного участка с учетом площади этого участка и среднего количества аварий на соседних участках по следующей формуле:

$$ASW = AS + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N AS \times ws_{ij}, \quad (4)$$

где N – количество соседних участков на пороговом расстоянии (5 км); ws – элементы матрицы близости элементарных участков WS , для которой выполняется следующее условие:

$$ws_{ij} = \begin{cases} 1 - \left| \frac{d_{ij}}{h} \right|, & \text{если } \left| \frac{d_{ij}}{h} \right| < 1 \\ 0, & \text{в противоположном случае} \end{cases}, \quad (5)$$

где d_{ij} – расстояние между центрами элементарных участков i и j ; h – пороговое расстояние (5 км).

AS в формуле (4) является показателем количества аварий, который определяется по формуле:

$$AS = (w_{2020} \times a_{2020} + w_{2019} \times a_{2019} + \dots + w_{2014} \times a_{2014}) \times \frac{1}{S}, \quad (6)$$

где w – весовой коэффициент для соответствующего года; a – количество зафиксированных аварий на элементарном участке в соответствующем году; S – площадь элементарного участка.

Значения весовых коэффициентов для соответствующего года в формуле (6) были выбраны по тому же правилу, что и в формуле (3). Матрица близости элементарных участков WS в формуле (4) введена для того, чтобы увеличить значение интегрального показателя для всех соседних (в радиусе 5 км) элементарных участков с теми, где выявлено большое количество аварий.

На пятом этапе на основе рассчитанных по формуле (4) значений интегрального показателя ASW все элементарные участки были разбиты на 5 кластеров с использованием метода кластеризации k-медоидов. Отношение внутрикластерной суммы квадратов расстояний к межкластерной сумме квадратов расстояний для нового разбиения получилось равным 0,139, что так же говорит о приемлемом качестве кластеризации. Результаты кластеризации элементарных участков приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты кластеризации элементарных участков

№ кластера	Центр кластера (по показателю AGS)	Количество элементарных участков в кластере	Уровень риска
1	0	1747	низкий
2	0,089	586	умеренный
3	0,303	473	средний
4	0,869	334	значительный
5	1,916	197	высокий

На заключительном шестом этапе анализа было проведено пространственное объединение полученных на пятом этапе результатов кластеризации элементарных участков и лицензионных участков, выделенных на втором этапе анализа в кластер с низким уровнем риска. На основе этого был сформирован единый пространственный слой с контурами участков, где для каждого участка был определен номер кластера или уровень риска к которому он относится. В результате была построена и затем опубликована цифровая карта автономного округа с отображением 5 уровней риска аварийного разлива нефти для различных территорий (рисунок 2).

Обсуждение результатов

Для интерпретации полученных результатов рассчитаем количество зафиксированных за весь период аварий для каждого участка рассматриваемой территории, относящейся к одному из 5 выделенных уровней риска. Дополнительно рассчитаем суммарную площадь всех территорий для каждого уровня риска и концентрацию аварий на 100 квадратных километров. Результаты расчетов приведены в таблице 3.

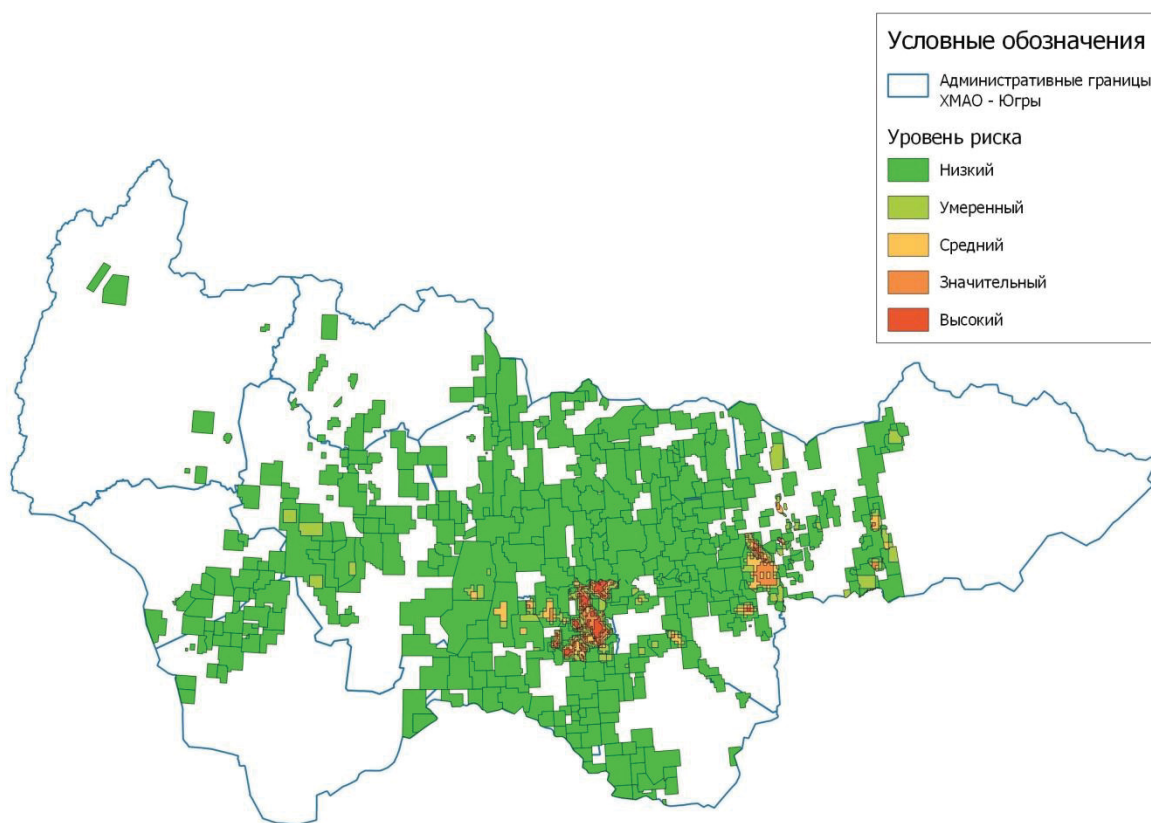


Рисунок 2 – Цифровая карта оценки рисков аварийных разливов нефти на территории Ханты-Мансийского автономного округа

Таблица 3 – Показатели уровней риска аварий

Уровень риска	Количество аварий, шт.	Площадь территорий, кв. км	Концентрация аварий, шт./ 100 кв. км
Низкий	1 390	174 653	0,8
Умеренный	1 321	6 593	20,0
Средний	2 218	2 842	78,0
Значительный	3 830	1 829	209,4
Высокий	5 985	785	762,4
Итого	14 744	186 703	—

Из таблицы 3 видно, что для участков с высоким уровнем риска характерна наибольшая концентрация аварий – 762 на 100 квадратных километров, и с уменьшением степени риска концентрация аварий падает примерно в 3–4 раза. Участки территории с низким уровнем риска характеризуются минимальным значением концентрации аварий на уровне менее 1 аварии на 100 квадратных километров за все время наблюдений. Таким образом, построенная в результате анализа цифровая карта оценки рисков аварийного разлива нефти позволяет разделить территорию автономного округа на различные зоны, которые требуют различного подхода к организации и частоте контрольно-надзорных мероприятий в сфере регионального экологического контроля. Однако, данные вопросы уже выходят за рамки изложенного в работе исследования.

Заключение

Представлена методика, основанная на совместном использовании методов кластеризации и пространственного анализа данных, которая позволяет построить имитационную модель оценки рисков аварийных разливов нефти в виде цифровой карты региона. Отличитель-

ной особенностью предложенной методики является учет не только количественной информации о выявленных авариях, но и включение в анализ пространственной составляющей о местоположении аварий, а также дополнительный учет таких факторов, как принадлежность участков с большим количеством аварий одной и той же компании и пространственная близость таких участков.

Проведенный анализ данных об аварийности на трубопроводных системах Ханты-Мансийского автономного округа за 2014-2020 гг. позволил построить цифровую карту региона, разделяющую всю площадь лицензионных участков на зоны с различным уровнем риска возникновения аварийного разлива нефти. Установлено, что суммарная площадь территорий с высоким риском, расположенных в Нефтеюганском и Нижневартовском районах автономного округа, составляет всего 785 квадратных километров, и при этом вмещает в себе более 40% всех зафиксированных инцидентов.

В связи с высокой важностью задачи внедрения риск-ориентированного подхода при осуществлении регионального экологического контроля данная статья будет способствовать применению такого подхода в Ханты-Мансийском автономном округе. А предложенное в работе разделение территории автономного округа на зоны различного уровня риска позволит оптимизировать финансовые и временные ресурсы для обеспечения и надлежащего планирования контрольно-надзорных мероприятий ответственными органами власти региона.

Благодарности

Работа выполнялась в рамках государственного задания Департамента информационных технологий и цифрового развития ХМАО-Югры на 2021 год. Данные предоставлены Службой по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений ХМАО-Югры.

Литература

1. Российская Федерация. Законы. О внесении изменений в Федеральный закон «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» : Федеральный закон № 246-ФЗ : от 13.07.2015 : [принят Государственной Думой 1 июля 2015 года]. – Текст : электронный // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182622 (дата обращения: 15.01.2021).
2. О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации (вместе с "Правилами отнесения деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей и (или) используемых ими производственных объектов к определенной категории риска или определенному классу (категории) опасности") : постановление Правительства РФ № 806 : от 17.08.2016 : редакция от 05.11.2020. – Текст : электронный // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_203819/ (дата обращения: 15.01.2021).
3. О критериях отнесения производственных объектов, используемых юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к определенной категории риска для регионального государственного экологического надзора и об особенностях осуществления указанного надзора : постановление Правительства РФ № 1410 : от 22.11.2017. – Текст : электронный // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_283389/ (дата обращения: 15.01.2021).
4. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2019 году. – Текст : электронный // Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. – URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob->

ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/4372185/2019-god-
(дата обращения: 15.01.2021).

5. Комов, В. Э. Обоснование повышения эффективности деятельности контрольно-надзорной деятельности на региональном уровне / В. Э. Комов, А. И. Кабалинский. – Текст : непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2017. – № 1-1. – С. 159–164.

6. Об утверждении Руководства по безопасности “Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов : Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 228 : от 17.06.2016. – Текст : электронный // КонсультантПлюс. – URL: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=OTN&n=18466&demo=1> (дата обращения: 15.01.2021).

7. Методика анализа риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазодобычи : руководство по безопасности : утверждена Приказом Ростехнадзора № 317 от 17.08.2015. – Текст : электронный // КонсультантПлюс. – URL: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=OTN&n=10619&demo=1> (дата обращения: 15.01.2021).

8. Медведева, С. А. Экологический риск. Общие понятия, методы оценки / С. А. Медведева. – Текст : непосредственный // XXI век. Техносферная безопасность. – 2016. – № 1. – С. 67–81.

9. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis : сайт. – URL: <http://geodacenter.github.io/> (дата обращения: 15.01.2021). – Текст : электронный.

10. NextGIS Web : сайт. – URL: <https://nextgis.ru/nextgis-web/> (дата обращения: 15.01.2021). – Текст : электронный.

11. Kaufman, L. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis / L. Kaufman, P. Rousseeuw. – New York : John Wiley, 2005. – 342 p.

И. В. Маратканова

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ОЦЕНКИ СБЕРЕГАТЕЛЬНО-ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА
НАСЕЛЕНИЯ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

В статье проведен многомерный кластерный анализ регионов Сибирского федерального уровня по уровню сберегательно-инвестиционного потенциала населения. Кластеризация проведена с помощью ППК «Statistica» на основе совместного использования иерархических и неиерархических алгоритмов. Такой подход позволил повысить достоверность разбиения регионов округа на однородные группы. В результате выявлена неоднородность регионов Сибирского федерального округа по уровню исследуемого потенциала. Получены три кластера с высоким, средним и низким уровнем сберегательно-инвестиционного потенциала населения. Каждый полученный кластер предоставляет инструмент для принятия эффективных решений на уровне как отдельно взятого региона, так и округа в целом. Проведенный анализ позволил проанализировать современное состояние и тенденции развития уровня сберегательно-инвестиционного потенциала населения в Сибирском федеральном округе, а также выяснять причины низкого уровня исследуемого потенциала.

Ключевые слова: сбережения, инвестиции, потенциал, кластерный анализ, население, округ, регион.

I. V. Maratkanova

**APPLICATION OF THE CLUSTER ANALYSIS
FOR ASSESSING THE SAVINGS AND INVESTMENT POTENTIAL
OF THE POPULATION OF THE SIBERIAN FEDERAL DISTRICT**

The article presents a multidimensional cluster analysis of the regions of the Siberian Federal Level by the level of savings and investment potential of the population. Clustering was carried out using the ACC «Statistica» based on the joint use of hierarchical and non-hierarchical algorithms. This approach made it possible to increase the reliability of dividing the regions of the district into homogeneous groups. As a result, the heterogeneity of the regions of the Siberian Federal District in terms of the studied potential is revealed. Three clusters with a high, medium and low level of savings and investment potential of the population were obtained. Each resulting cluster provides a tool for making effective decisions at the level of both a single region and the district as a whole. The analysis made it possible to analyze the current state and trends in the development of the level of savings and investment potential of the population in the Siberian Federal District. And also to find out the reasons for the low level of the investigated potential.

Key words: savings, investments, potential, cluster analysis, population, district, region.

Введение

Одной из острейших социально-экономических проблем, которая не позволяет нашей стране развиваться в условиях глобальной конкуренции, является низкий уровень частного инвестирования как важнейшая финансовая база обеспечения динамичного подъема экономики. Так, в 2020 г. на фондовом рынке Московской биржи был зарегистрирован четырехмиллионный частный инвестор, однако, это лишь 3,2 % граждан России в возрасте старше 18 лет,

что значительно ниже по сравнению с развитыми экономиками мира. Это требует переосмысления ключевых аспектов современной среды, создающей необходимые условия по формированию сбережений и их использованию в качестве инвестиционного ресурса.

Более того, в российской экономической науке теоретические и эмпирические аспекты сберегательно-инвестиционного потенциала населения (СИПН) остаются малоизученными, что выступает сдерживающим фактором при анализе его состояния и перспектив развития.

Проблема СИПН все более актуализируется в России, однако, несмотря на определенные позитивные шаги государства (отдельные стратегии, реформы, программы), ощутимый эффект от мобилизации сберегательных ресурсов пока еще не получен. На наш взгляд, причиной этого является как отсутствие достоверных оценок СИПН, так и комплексного государственного участия и контроля.

Все это в совокупности представляет актуальность темы. В связи с этим, данное исследование осуществлено с целью сравнительного анализа уровня СИПН в регионах Сибирского федерального округа (СФО).

Анализ проводится на примере СФО за 2008 и 2018 гг. В качестве главного инструмента использован кластерный анализ для распределения регионов СФО по уровню СИПН.

Методология и результаты

Кластерный анализ появился в научной литературе в середине XX века и с тех пор бурно развивается. Предмет кластерного анализа был определен и описан исследователем К. Трионом еще в 1939 г. В настоящее время опубликовано множество работ, посвященных исследованию конкретных социально-экономических проблем с использованием кластерного анализа [1–4].

Главным направлением кластерного анализа является «разбиение множества исследуемых объектов и признаков на однородные в соответствующем понимании группы или кластеры» [5].

Под кластером, мы будем понимать «некоторое единство, образованное либо изначально запланированными действиями, либо путем притяжения некоторых субстанций к определенному центральному объекту, обладающему особой силой» [6].

Достоинством кластерного анализа является то, что он позволяет обнаружить однородные группы, что невозможно сделать при обычном наблюдении из-за значительного количества классифицируемых объектов, а также целого набора признаков. Следует подчеркнуть, что «кластерный анализ, в отличие от большинства математико-статистических методов, не накладывает никаких ограничений на вид рассматриваемых объектов, и позволяет рассматривать множество исходных данных практически произвольной природы, сокращать и сжимать массивы информации и делать их компактными и наглядными» [5]. Это имеет большое значение, т. к. СИПН характеризуется разнообразием показателей и затруднительно применение традиционных экономических подходов. Данный анализ позволит представить большой массив экономической информации в компактной, удобной и наглядной форме.

В нашем исследовании кластерный анализ проведем в несколько этапов с использованием пакета прикладных программ «Statistica».

На *первом этапе* применения кластеризации сформировано информационное поле исследования.

В раннем авторском исследовании, посвященному факторному анализу, мы приходим к выводу, что на сберегательное поведение граждан оказывает влияние множество специфических факторов. Все разнообразие факторов сведено нами в единую классификацию, отличительной особенностью которой является разделение факторов по месту возникновения: на внутренние и внешние. Систематизированная и предложенная нами классификация факторов обладает огромным теоретическим и практическим значением, поскольку позволяет системно представить их влияние на сберегательное поведение, а также служит прочным фундаментом для построения наиболее развернутой системы показателей для оценки СИПН [7].

Всего было предложено 96 показателей, разделенных на восемь частных потенциалов [8]: доходно-имущественный ($P_{ДИ}$) – 10 показателей, потребительский (P_P) – 10 показателей, предпринимательский ($P_{П}$) – 9 показателей, культурно-образовательный ($P_{КО}$) – 9 показателей, финансово-экономический и институциональный ($P_{ФЭИ}$) – 21 показатель, социально-политический и правовой ($P_{СПП}$) – 10 показателей, демографо-трудовой ($P_{ДТ}$) – 20 показателей, экологический и природно-ресурсный ($P_{ЭПР}$) – 7 показателей.

Следовательно, были сформированы специальные таблицы по восьми потенциалам, включающим 96 показателей. Данные собраны из сборников Росстата и Банка России (или получены путем преобразования данных из этих источников) по регионам СФО.

На *втором этапе* осуществлена проверка используемых показателей на однородность распределения относительно среднего уровня (коэффициент вариации) и на подчинение исходной информации закону нормального распределения (с помощью отношения показателя асимметрии и эксцесса к их ошибкам и критерия Шапиро-Уилка), а также исключены из выборки показатели, имеющие слабую связь с результативным показателем. В качестве, которого был выделен такой показатель, как прирост (уменьшение) сбережений населения, который в свою очередь включает: денежные средства во вкладах на счетах в банках, в государственных и других ценных бумагах, на счетах индивидуальных предпринимателей, наличных денег на руках, расходы на покупку недвижимости, скота и птицы и прочие сбережения. Кроме того, данный показатель скорректирован на задолженность по кредитам.

Для окончательного выделения финальных показателей использован метод главных компонент в рамках программы Statistica, инструмент «Многомерный разведочный анализ-Факторный анализ». Данный метод подробно рассматривается в работах современных исследователей А. С. Денисенко, Г. О. Крылова, И. А. Корнева [9]. И позволяет выявить сразу для всех регионов округа по всей массе показателей наиболее весомые, существенно влияющие на исходный результат.

При этом перед применением данной процедуры все числовые признаки приведены к стандартизированному виду. Для выполнения этой процедуры воспользуемся инструментом «Данные-Стандартизировать» ППК «Statistica». Таким образом, применение процедуры стандартизации позволило отобразить в одной системе координат переменные с различными единицами измерения.

Применение метода главных компонент позволил перейти от анализа исходных таблиц, содержащих 62 показателя (после исключения на однородность и нормальность распределения) к набору из 24 показателей (Таблица 1).

Таблица 1 – Перечень показателей для применения кластерного анализа в оценке СИПН

Обозначение	Название показателя	Источник информации
$ДИ_1$	Денежные доходы на душу населения (за месяц), руб.	[10]
$ДИ_9$	Уровень обеспеченности граждан движимым имуществом (число собственных легковых автомобилей на 1 тыс. населения), шт.	Расчетный показатель по данным [10]
$ДИ_{10}$	Уровень обеспеченности граждан недвижимым имуществом (общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на душу населения), м ²	Расчетный показатель по данным [10]
P_1	Потребительские расходы на душу населения (за месяц), руб.	[10]
P_5	Расходы на оплату обязательных платежей и разнообразных взносов на душу населения (за месяц), руб.	Расчетный показатель по данным [10]
P_8	Задолженность по кредитам в рублях и иностранной валюте на душу населения, руб.	Расчетный показатель по данным [10]

Применение метода кластерного анализа для оценки сберегательно-инвестиционного потенциала населения Сибирского федерального округа

$П_1$	Число малых предприятий в регионе на 10 тыс. населения, ед.	[11]
$П_3$	Оборот малых предприятий на душу населения, тыс. руб.	[11]
$П_6$	Сальдированный финансовый результат деятельности малых предприятий на душу населения, руб.	[11]
$КО_1$	Доля граждан с высшим профессиональным образованием, в структуре экономически активного населения, %	[12]
$ФЭИ_1$	Объем валового регионального продукта на душу населения, руб.	[10, 13]
$ФЭИ_8$	Оборот розничной торговли на душу населения, руб.	[10]
$ФЭИ_9$	Соотношение кредитов к депозитам в рублях и иностранной валюте, в долях	Расчетный показатель по данным [10]
$ФЭИ_{10}$	Доля ипотечной задолженности граждан в общей сумме задолженности по кредитам, %	Расчетный показатель по данным [10]
$ФЭИ_{18}$	Доля жилья, построенных гражданами за счет собственных и привлеченных средств, в общем вводе жилья, %	Расчетный показатель по данным [10]
$ФЭИ_{19}$	Налогообложение граждан (налог на имущество и НДФЛ) на душу населения, руб.	[10]
$СПП_4$	Уровень бедности (численность граждан с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума, в % от общего числа населения)	[10]
$СПП_8$	Доля граждан, состоящих на учете в качестве нуждающихся в жилых помещениях, % от общего числа населения	Расчетный показатель по данным [10]
$СПП_{10}$	Число зарегистрированных преступлений на 100 тыс. населения, ед.	Расчетный показатель по данным [10]
$ДТ_2$	Удельный вес городского населения, %	[10]
$ДТ_6$	Коэффициент демографической нагрузки (на 1 тыс. граждан трудоспособного возраста приходится лиц нетрудоспособных возрастов), %	[10]
$ДТ_{11}$	Суммарный коэффициент рождаемости (число детей на одну женщину региона), детей	[10]
$ДТ_{18}$	Доля занятых, % от общего населения	[10]
$ДТ_{20}$	Коэффициент напряженности на рынке труда, число граждан на одну вакансию	[10]

На **третьем этапе** для проведения кластерного анализа необходимо определиться с правилом объединения объектов исследования, т. е. ввести меру для измерения расстояния между объектами (некое среднее значение исходных нормированных значений показателей) и с мерой близости, т. е. указать метод разбиения регионов округа на кластеры.

В специальной литературе для измерения расстояний между объектами используется различные меры (рисунок 1).

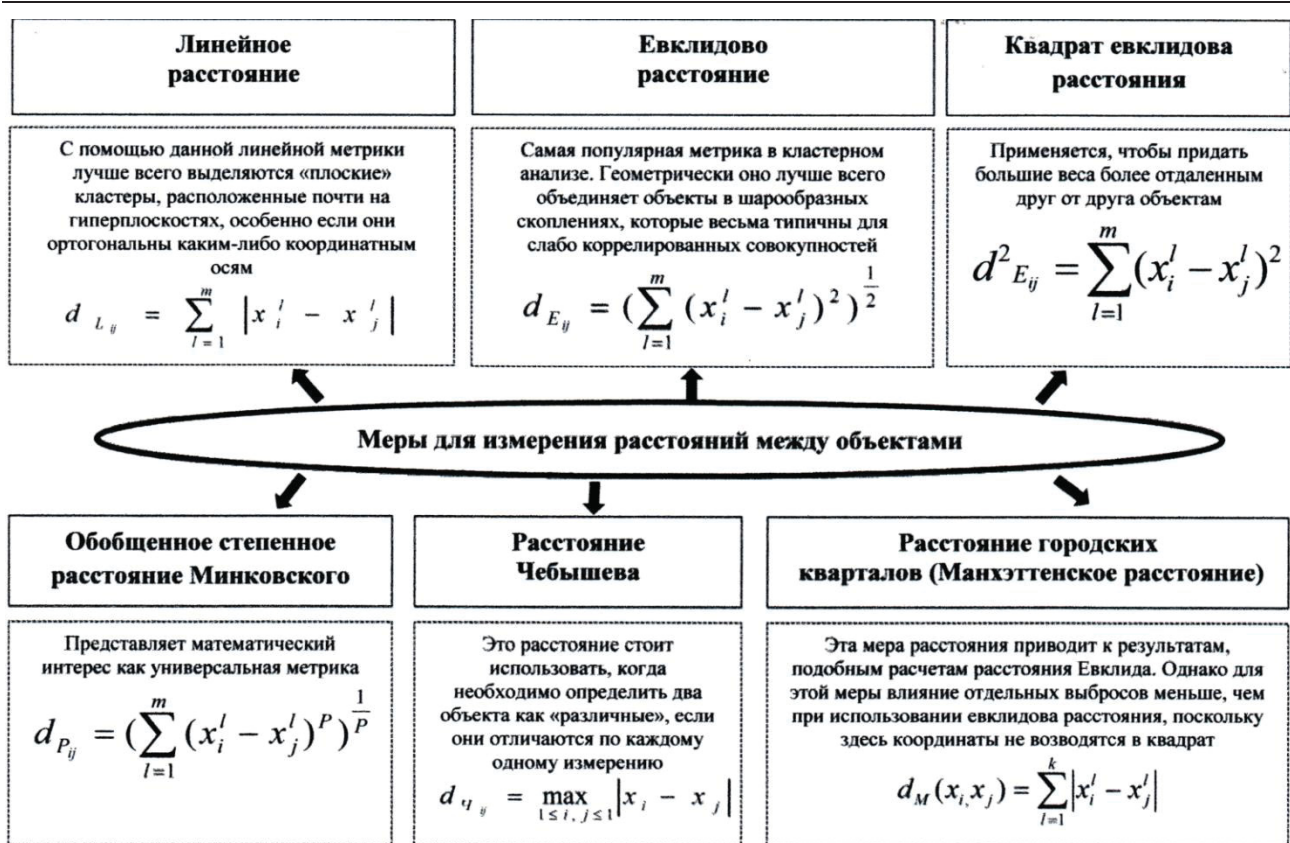


Рисунок 1 – Меры для измерения расстояний между объектами

При использовании данных мер чем меньше будет расстояние между ними, тем объекты будут более схожи. Из рассмотренных мер Манхэттенское расстояние при определении числовых характеристик объектов менее чувствительно к некоторым ошибкам и к случайным исключениям.

Также на этом этапе, согласно нашему исследованию, определились с методами разбиения объектов на кластеры. В современной научной литературе разработаны специальные методы разбиения множества на кластеры, среди них наиболее популярны (рисунок 2).

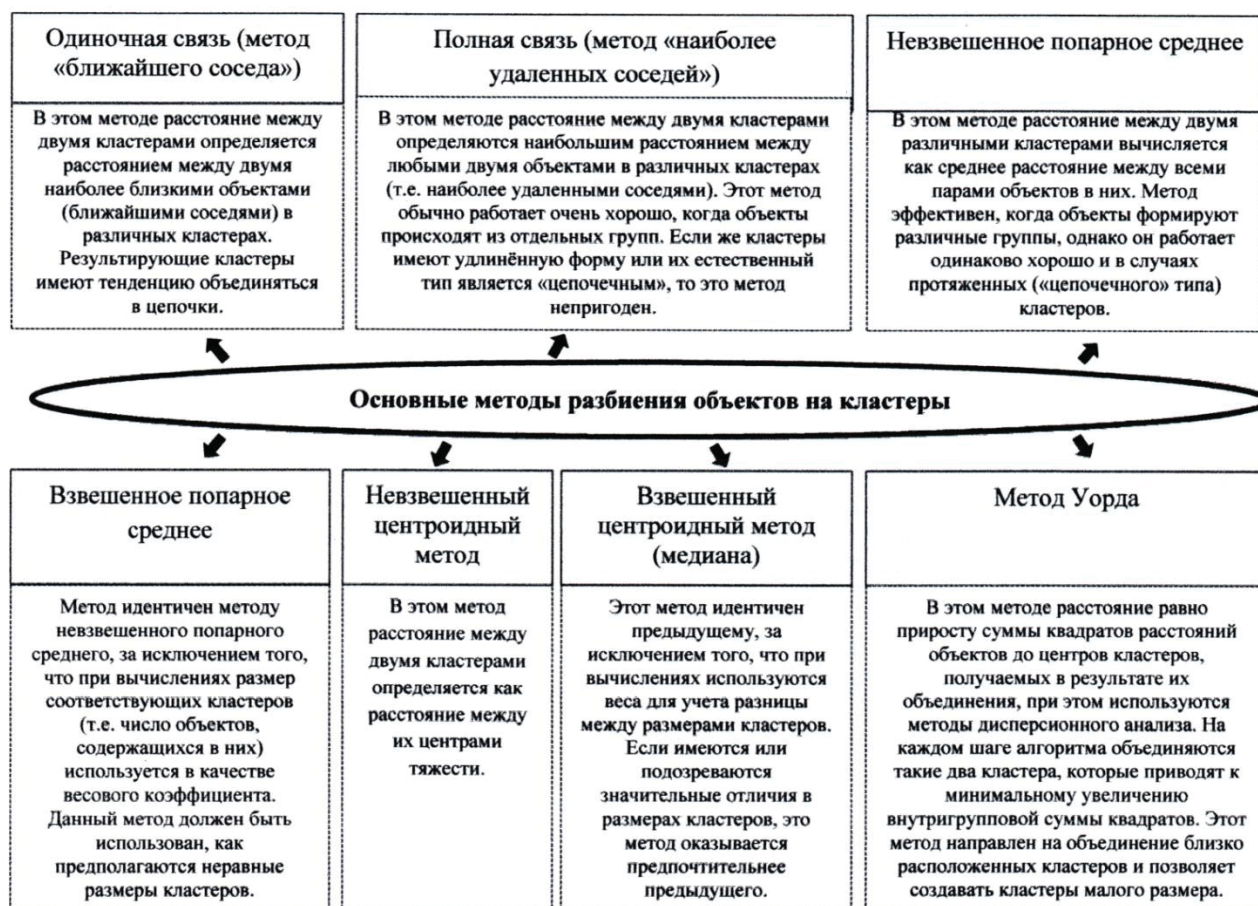


Рисунок 2 – Основные методы разбиения объектов на кластеры

Все методы разбиения множества на кластеры традиционно делятся на два типа: иерархические и неиерархические. Каждый из методов включает множество подходов и алгоритмов.

Так, иерархический метод кластерного анализа дает «возможность формировать кластеры с помощью построения так называемой иерархической, или древовидной структуры данных» [14].

Иерархические алгоритмы могут «работать как «агломеративно», т. е. склеивая на каждом шаге двух ближайших кластеров с последующим определением расстояния между вновь построенным и остальными (построение кластеров снизу вверх), так и «дивизимно», т. е. разбивая на каждом шаге большие кластеры на меньшие (построение кластеров сверху вниз)» [15]. Большим преимуществом иерархических методов кластерного анализа является построение дендрограмм.

Дендрограмма (от греч. dendron – «дерево»), которая «содержит исчерпывающую информацию о структуре данных и служит удобным средством визуальной интерпретации результатов» [5].

Неиерархический метод предполагает, что сначала «определяется количество кластеров, на которые будет дробиться изучаемая совокупность, а затем все объекты в пределах заданного порогового значения объединяются в той или иной кластер» [14]. Распространенным методом неиерархической кластеризации является метод k -средних, который разбивает совокупность объектов на k сегментов, расположенных на возможно больших расстояниях друг от друга.

В проводимом исследовании для разбиения регионов округа по уровню СИПН на однородные группы, на наш взгляд, есть необходимость совместного использования иерархических и неиерархических алгоритмов.

На четвертом этапе будем использовать иерархические алгомеративные алгоритмы для выявления количества кластеров и кластерных центров, а на пятом этапе неиерархические алгоритмы, в которых число кластеров или центроидов будет являться исходными данными. Подход позволит повысить достоверность разбиения регионов округа на однородные группы.

В работе автор придерживается мнения об использовании метода алгомеративного семейства, а именно метода Уорда (Ward's method), предложенного еще в 1963 г. Джо Вардом. Подробное описание метода Уорда дано в источниках [16, 17].

Преимуществом данного метода является то, что он использует, в отличие от других методов кластерного анализа, метод дисперсионного анализа для оценки расстояния между кластерами. Суть данного метода заключается в том, чтобы оптимизировать минимальную дисперсию внутри кластеров. На каждом шаге алгоритма производится объединение между такими двумя кластерами, в которых внутригрупповая сумма квадратов минимальна, что обеспечивает объединение близко расположенных кластеров. Также к достоинствам данного метода можно отнести достоверность анализа, простоту алгоритма, а также возможность наглядно интерпретировать проведенный анализ данных.

К недостаткам можно отнести громоздкость вычислений, поскольку на каждом шаге алгоритма выстраивается дистанционная матрица для текущих кластеров. Однако данный недостаток в настоящее время нивелируется вычислительными возможностями, предоставляемыми современным программным обеспечением **Statistica**, которые содержат модули для реализации метода Уорда.

На четвертом этапе вычисляем степень схожести регионов округа в соответствии с избранной метрикой и группируем регионы в кластеры в соответствии с избранной процедурой объединения (правило объединения – метод Варда, мера близости – Манхэттенское расстояние). На выходе благодаря применению инструмента «Анализ-Многомерный разведочный анализ-Кластерный анализ» программы Statistica, мы получаем дендрограмму, которая будет показывать количество однородных регионов округа по 24 отобранным показателям (таблица 2; рисунок 3, 4).

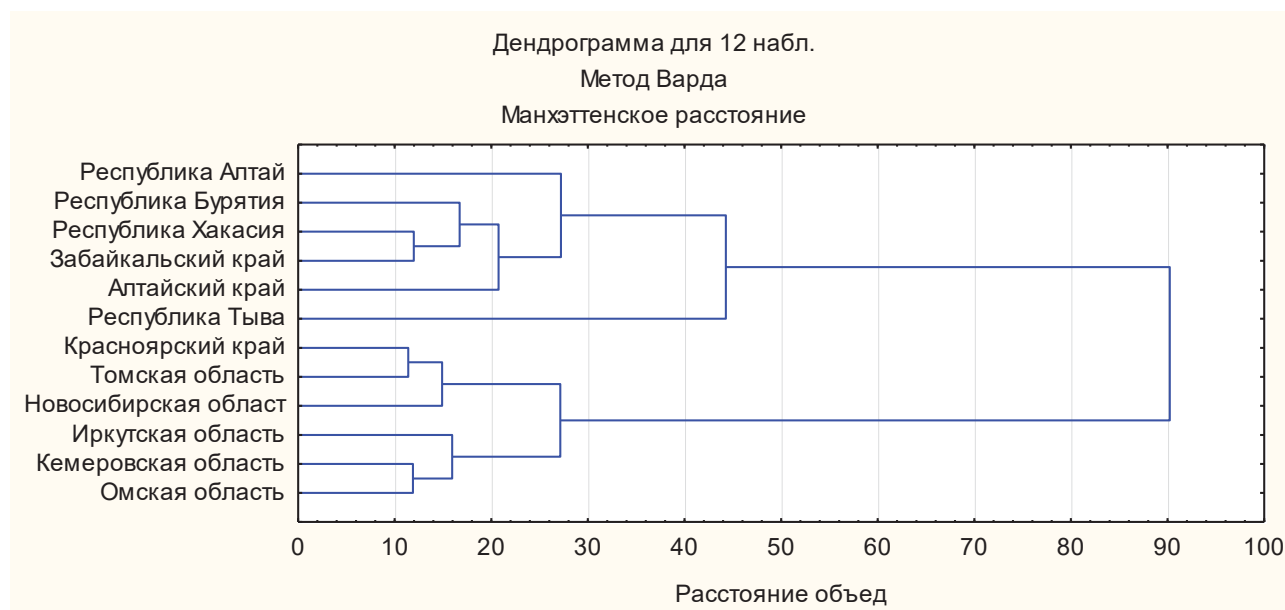


Рисунок 3 – Дендрограмма кластеризации регионов СФО по составляющим СИПН в 2008 г.

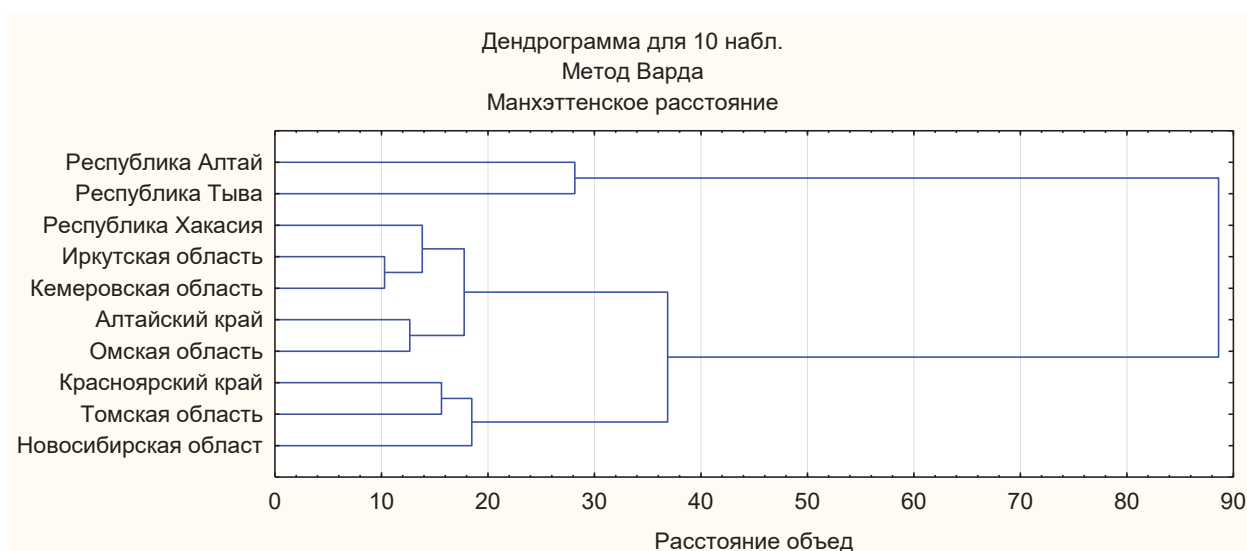


Рисунок 4 – Дендрограмма кластеризации регионов СФО по составляющим СИПН в 2018 г.

В результате получено разбиение регионов СФО на кластеры, где по оси ординат отражены регионы, а по оси абсцисс – значения СИПН, представленного величиной, сформированной на основе 24 показателей.

Полученное значение не имеет единицы измерения, а является многомерной статистической оценкой. В нашем случае – оценка СИПН в регионах СФО.

По результатам кластерного анализа достаточно отчетливо выделяется в СФО в 2008 г. два кластера (Рисунок 3), а в 2018 г. уже три кластера регионов (рисунок 4). Заметим, что в 2008 г. в СФО было 12 регионов, а в 2018 г. – 10 регионов (Республика Бурятия и Забайкальский край включены в состав Дальневосточного федерального округа).

Каждый полученный кластер имеет схожую величину СИПН, что позволяет получить результат, пригодный для типологии регионов и предоставляет инструмент для принятия эффективных решений на уровне как отдельно взятого региона, так и округа в целом.

Результаты кластеризации регионов СФО по составляющим СИПН в 2008 г. и 2018 г. представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты кластеризации по составляющим СИПН по регионам СФО в 2008 г. и 2018 г.

2008 г.		
Кластер 1 (высокий уровень СПДХ)	Кластер 2 (низкий уровень СПДХ)	
Красноярский край Томская область Новосибирская область Иркутская область Кемеровская область Омская область	Республика Алтай Республика Бурятия Республика Хакасия Забайкальский край Алтайский край Республика Тыва	
2018 г.		
Кластер 1 (высокий уровень СПДХ)	Кластер 2 (средний уровень СПДХ)	Кластер 3 (низкий уровень СПДХ)
Красноярский край Новосибирская область Томская область	Республика Хакасия Кемеровская область Иркутская область Алтайский край Омская область	Республика Алтай Республика Тыва

Анализируя полученные данные (таблица 2), можно отметить, что за последние 10 лет СИПН в СФО претерпел изменения. Проведем анализ полученных кластеров в 2018 г.

В первый кластер в 2018 г. (высокий уровень СИПН) входят три наиболее развитых региона СФО: Красноярский край, Новосибирская и Томская области, следовательно, их можно назвать полюсами сберегательного потенциала.

Эти регионы относительно других регионов СФО имеют высокий уровень денежных доходов, который во многом определяет возможности и тенденции развития СИПН. В первом кластере среднее значение денежных доходов составило 28 721 руб. на душу населения, в то время как во втором кластере – 23 486 руб. и в третьем кластере – 17 53 руб.

Кроме того, регионы первого кластера отличаются от регионов второго и третьего кластеров уровнем развития предпринимательства. Число, оборот и сальдированный результат малого предпринимательства достаточно высок по сравнению с другими регионами СФО. Так, например, сальдированный финансовый результат деятельности малых предприятий на душу населения в первом кластере в 5 раз выше, чем во втором кластере и в 16 раз выше, чем в третьем кластере.

Средние значения первого значительно выше, чем второго и третьего кластеров, таких показателей как: доля граждан с высшим профессиональным образованием в структуре экономически активного населения; объем валового регионального продукта и оборот розничной торговли на душу населения; доля городского населения.

И наконец, наименьшие значения регионы первого кластера, в отличие от регионов второго и третьего кластеров, имели по показателям: уровень бедности (численность граждан с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума) – 15,3 %, в то время как в третьем кластере – 30 %; число зарегистрированных преступлений на 100 тыс. населения и уровень демографической нагрузки (на 1 тыс. населения трудоспособного возраста приходится лиц нетрудоспособных возрастов).

Следовательно, регионы первого кластера имеют больше возможностей осуществлять сберегательно-инвестиционную деятельность.

Второй кластер в 2018 г. (средний уровень СИПН) составляют 5 регионов СФО: Республика Хакасия, Кемеровская, Иркутская и Омская области, Алтайский край. Это самый многочисленный кластер. Обозначенные регионы достаточно близки по большинству показателей, оказывающих влияние на СИПН.

В третий кластер в 2018 г. (низкий уровень СИПН) вошли 2 региона СФО: Республика Тыва и Республика Алтай.

Республика Алтай и Тыва имеют достаточно низкий уровень обеспеченности недвижимым (общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на душу населения) и движимым (число собственных легковых автомобилей на 1 тыс. населения) имуществом.

Регионы третьего кластера имеют наиболее высокое соотношение кредитов к депозитам в рублях и иностранной валюте. Кредиторская задолженность в этих регионах в два раза превышает суммы сбереженных средств. В то время как в регионах первого кластера этот показатель составляет 0,7, а во втором кластере – 0,9. Объяснить это можно тем, что регионы первого кластера с высоким уровнем жизни используют не только кредиты, но и имеют возможность размещать свободные денежные средства во вкладах в банке, на фондовом рынке, в то время как регионы третьего кластера с низким уровнем жизни не имеют такой возможности.

Примечателен и такой показатель, как доля жилья, построенного гражданами за счет собственных и привлеченных средств, в общем вводе жилья. Регионы третьего кластера демонстрирует наибольшие значения (86 %) в отличие от регионов первого (33 %) и второго (51 %) кластеров. Такую ситуацию можно связать с уровнем бюджетной обеспеченности региона: чем выше данный уровень, тем больше доля граждан, состоящих на учете в качестве нуждающихся в жилых помещениях – получает жилье. При этом, доля граждан, состоящих на учете в качестве нуждающихся в жилых помещениях, в третьем кластере имеет наибольшее значение (13 %), в отличие от регионов первого (4 %) и второго (5 %) кластеров.

На **пятом этапе** проведем проверку гипотезы о количестве и составе кластеров с помощью метода k -средних.

Метод k -средних (неиерархические алгоритмы) заключается в том, что вычисления начинаются с k случайно выбранных наблюдений, которые становятся центрами групп, после чего состав кластеров меняется с целью минимизации изменчивости внутри них и максимизации – между ними. Каждое наблюдение относится к той группе, мера сходства с центром тяжести которого (средним по кластеру) минимальна. После изменения состава кластеров вычисляется новый центр тяжести, итерации продолжаются до тех пор, пока состав кластеров не перестанет меняться.

Данный метод подтвердил гипотезу о разбиении регионов СФО в 2008 г. на два кластера и в 2018 г. на три кластера (рисунки 5, 6, таблица 4).

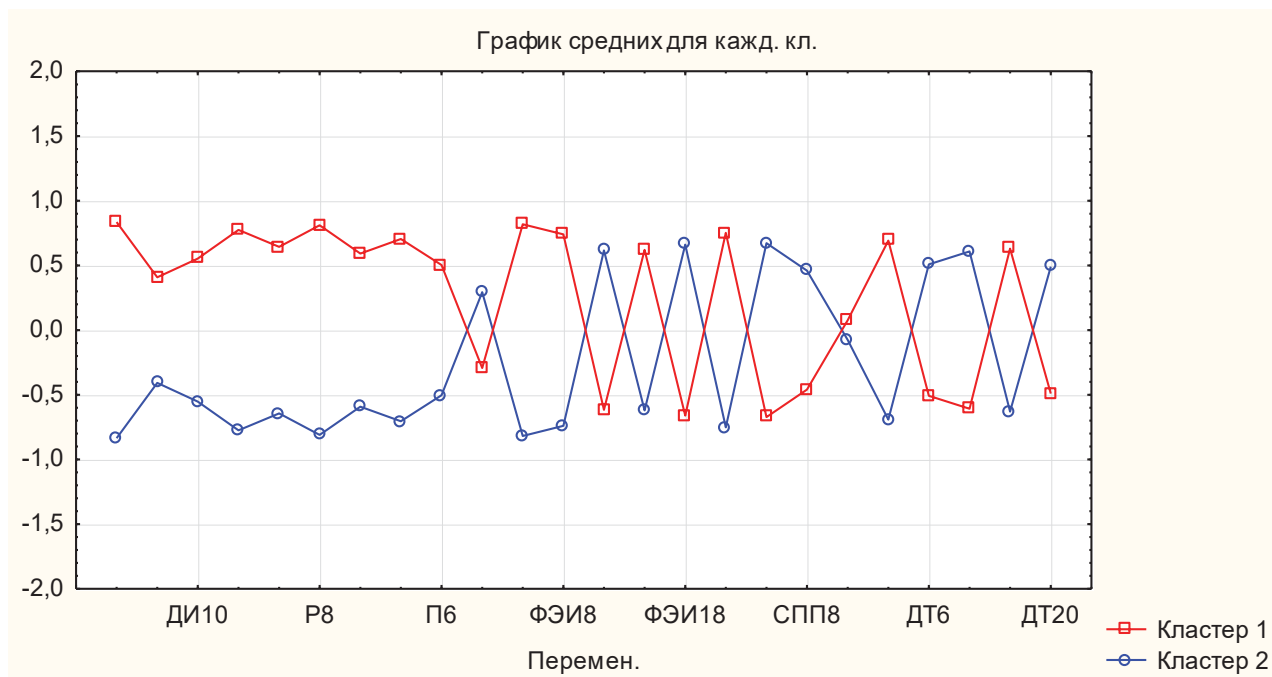


Рисунок 5 – График средних для каждого кластера по регионам СФО в 2008 г.

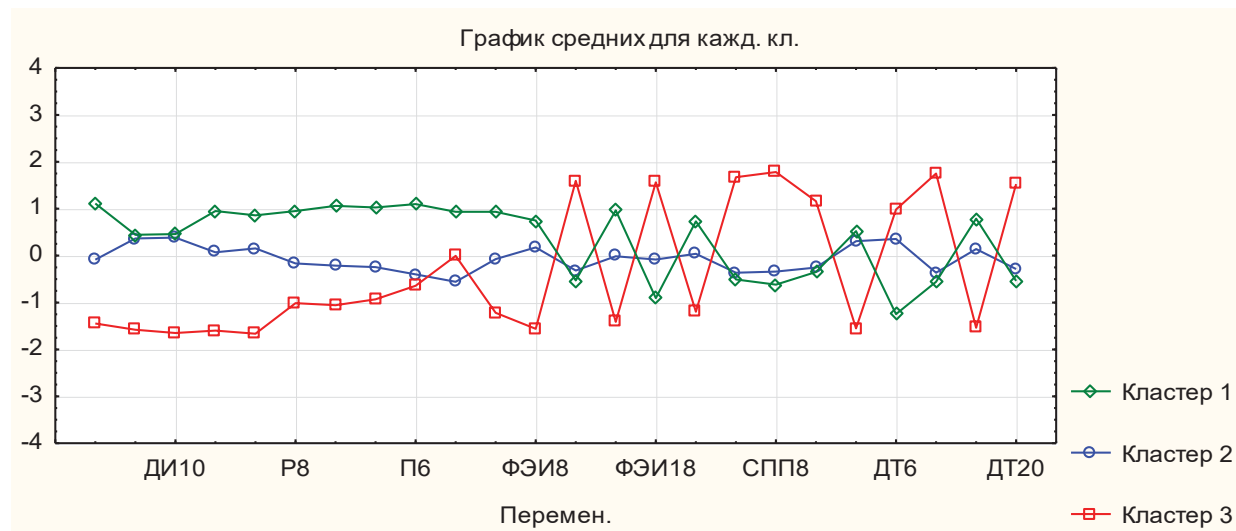


Рисунок 6 – График средних для каждого кластера по регионам СФО в 2018 г.

Элементы кластеров и расстояния до центра кластера представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Элементы кластера и расстояния до центра кластера в СФО за 2008 г. и 2018 г.

2008 г.					
Элемент кластера номер 1	Расстояние до центра кластера		Элемент кластера номер 2	Расстояние до центра кластера	
Красноярский край	0,572177		Республика Алтай	0,777215	
Томская область	0,494115		Республика Бурятия	0,582492	
Новосибирская область	0,630915		Республика Хакасия	0,658457	
Иркутская область	0,678126		Забайкальский край	0,619529	
Кемеровская область	0,541354		Алтайский край	0,804971	
Омская область	0,667752		Республика Тыва	1,308616	
2018 г.					
Элемент кластера номер 1	Расстояние до центра кластера	Элемент кластера номер 2	Расстояние до центра кластера	Элемент кластера номер 3	Расстояние до центра кластера
Красноярский край	0,518187	Республика Хакасия	0,438580	Респуб- лика Алтай	0,688733
Новосибирская область	0,529293	Кемеровская область	0,314380	Респуб- лика Тыва	0,688733
Томская область	0,473221	Иркутская область	0488554		
		Алтайский край	0,502009		
		Омская область	0,422886		

На *шестом этапе* оценим значимость составляющих СИПН при проведении кластеризации регионов СФО на основе дисперсионного анализа (таблица 5).

Таблица 5 – Результаты дисперсионного анализа группировки регионов СФО по составляющим СИПН

Состав-ляю- щие СПДХ	$SS_{\text{между}}$	$cc_{\text{между}}$	$MS_{\text{между}}$	$SS_{\text{внутри}}$	$cc_{\text{внутри}}$	$MS_{\text{внутри}}$	F-крите- рий	Уровень значи- мости P
$ДИ_1$	7,938491	2	3,969246	1,061509	7	0,151644	26,174750	0,000563
$ДИ_9$	6,238636	2	3,119318	2,761364	7	0,394481	7,907410	0,015999
$ДИ_{10}$	6,820197	2	3,410099	2,179803	7	0,311400	10,950850	0,006992
P_1	7,836380	2	3,918190	1,163620	7	0,166231	23,570690	0,000777
P_5	7,872839	2	3,936420	1,127161	7	0,161023	24,446330	0,000695
P_8	4,902562	2	2,451281	4,097438	7	0,585348	4,187730	0,043671
$П_1$	5,841711	2	2,920856	3,158289	7	0,451184	6,473750	0,025600
$П_3$	5,186268	2	2,593134	3,813732	7	0,544819	4,759630	0,049531
$П_6$	5,255879	2	2,627940	3,744121	7	0,534874	4,913190	0,046438
$КО_1$	4,184653	2	2,092327	4,815347	7	0,687907	3,041580	0,012033
$ФЭИ_1$	5,610423	2	2,805212	3,389577	7	0,484225	5,793190	0,032784
$ФЭИ_8$	6,701984	2	3,350992	2,298016	7	0,328288	10,207480	0,008412
$ФЭИ_9$	6,432932	2	3,216466	2,567068	7	0,366724	8,770810	0,012393

$\Phi ЭИ_{10}$	6,787920	2	3,393960	2,212080	7	0,316011	10,739990	0,007361
$\Phi ЭИ_{18}$	7,382725	2	3,691363	1,617275	7	0,231039	15,977200	0,002460
$\Phi ЭИ_{19}$	4,472563	2	2,236282	4,527437	7	0,646777	3,457580	0,090289
$СПП_4$	7,028199	2	3,514100	1,971801	7	0,281686	12,475240	0,004922
$СПП_8$	8,079005	2	4,039503	0,920995	7	0,131571	30,702150	0,000343
$СПП_{10}$	3,371804	2	1,685902	5,628196	7	0,804028	2,096820	0,033394
$ДТ_2$	6,106505	2	3,053253	2,893495	7	0,413356	7,386490	0,018842
$ДТ_6$	7,218710	2	3,609355	1,781290	7	0,254470	14,183810	0,003449
$ДТ_{11}$	7,721199	2	3,860600	1,278801	7	0,182686	21,132450	0,001081
$ДТ_{18}$	6,708496	2	3,354248	2,291504	7	0,327358	10,246430	0,008329
$ДТ_{20}$	5,931173	2	2,965587	3,068827	7	0,438404	6,764510	0,023150

Полученные дисперсии сравнили с помощью F -критерия, проверяющего действительно ли отношение средней межгрупповой дисперсий к средней внутригрупповой значимо (больше 1). В исследовании F -критерий показал, что различие между групповыми средними значений составляющих СПДХ значимо ($p < 0,05$), что свидетельствует о высоком качестве результатов проведенного кластерного анализа.

Выводы

В нашем исследовании мы разбили регионы СФО одновременно на однородные группы по нескольким составляющим СИПН. А также определили позиции кластеров, и тем самым сравнили регионы СФО по уровню исследуемого потенциала. В результате чего пришли к выводу, что, несмотря на близкое расположение на географической карте, регионы СФО не могут быть отнесены к одному кластеру по уровню СИПН.

Авторское исследование позволило выделить в 2018 г. три группы регионов СФО: с высоким, средним и низким уровнями СИПН. Такие регионы как Красноярский край, Новосибирская и Томская области имели наилучшие значения показателей, а, следовательно, их можно назвать полюсами сберегательно-инвестиционного роста. В Республике Хакасия, Кемеровской, Иркутской и Омской областях, Алтайском крае сберегательная активность домохозяйств находится на среднем уровне. А в Республике Тыва и Республике Алтай практически нет возможностей осуществлять сберегательно-инвестиционную деятельность.

Для повышения уровня СИПН органами государственной власти необходимо обратить внимание на:

- уровень доходов (особенно это касается регионов третьего кластера), которые покрывают только жизненно необходимые, «стандартные» потребности. Следовательно, в распоряжении граждан не остается свободных денежных средств или их объем недостаточен для формирования сбережений и их трансформации в инвестиции. Более того, низкие доходы и сбережения не позволяют гражданам открыть или расширить свой бизнес;
- высокую численность граждан с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума;
- опережающие темпы прироста денежных расходов над денежными доходами;
- высокую закредитованность и значительное количество банкротов среди населения;
- высокую долю граждан, состоящих на учете в качестве нуждающихся в жилых помещениях;
- отсутствие последовательной политики государства в отношении пенсионных сбережений, что подрывает доверие к финансово-кредитной системе в целом;
- высокое число зарегистрированных преступлений;

– высокую демографическую нагрузку и напряженность на рынке труда и др.

Все это является тормозом для аккумуляирования сбережений и их трансформации в инвестиционные ресурсы экономики.

Таким образом, кластерный анализ, проведенный в ходе данного исследования, позволил сгруппировать регионы по уровню СИПН, проанализировать современное состояние и тенденции развития уровня СИПН, а также выяснять причины низкого уровня сберегательно-инвестиционного потенциала в регионах СФО.

Литература

1. Говорухин, И. М. Кластерный анализ как модель многоаспектной оценки дифференциации регионов по показателям национального благосостояния / И. М. Говорухин. – Текст : непосредственный // Теория и практика общественного развития. – 2014. – № 12. – С. 135–138.
2. Никулина, И. Е. Кластерная динамическая модель инновационного развития регионов ассоциации инновационных регионов России / И. Е. Никулина, А. А. Михальчук, Ю. С. Бурец. – Текст : непосредственный // Инновационное развитие экономики. – 2016. – № 6, часть 2. – С. 35–43.
3. Теслова, С. А. Применение кластерного анализа в экономике автотранспортных предприятий / С. А. Теслова. – Текст : непосредственный // Экономические науки. – 2016. – № 52. – С. 1–5.
4. Фролов, А. А. Оценка инновационного потенциала предприятий на основе кластерного подхода / А. А. Фролов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 2. – С. 192–196.
5. Афонин, П. Н. Статистический анализ с применением современных программных средств : учебное пособие / П. Н. Афонин, Д. Н. Афонин. – Санкт-Петербург : Интермедия, 2015. – 100 с. – Текст : непосредственный.
6. Матковская, Я. С. Кластеры: анализ происхождения, современные формы институционализации и математические модели / Я. С. Матковская. – Текст : непосредственный // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2014. – № 17. – С. 2–12.
7. Маратканова, И. В. Влияние факторов внутренней и внешней среды на сберегательное поведение домашних хозяйств России / И. В. Маратканова. – Текст : непосредственный // Финансы и кредит. – 2019. – № 1 (781). – С. 159–176.
8. Маратканова, И. В. К вопросу о сущности понятия «сберегательный потенциал домашних хозяйств»: системный подход / И. В. Маратканова. – Текст : непосредственный // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. – 2017. – № 2. – С. 45–51.
9. Денисенко, А. С. О применении метода главных компонент в задачах финансового мониторинга / А. С. Денисенко, Г. О. Крылов, И. А. Корнев. – Текст : непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 2-5. – С. 1131–1140.
10. Регионы России. Социально экономические показатели 2019. – Текст : электронный // Федеральная служба государственной статистики. – URL: https://gks.ru/bgd/regl/B19_14p/Main.htm (дата обращения: 03.04.2021).
11. Малое и среднее предпринимательство в России 2019. – Текст : электронный // Федеральная служба государственной статистики. – URL: https://www.gks.ru/bgd/regl/b19_47/Main.htm (дата обращения: 03.04.2021).
12. Итоги выборочного обследования рабочей силы 2019. – Текст : электронный // Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11110/document/13265> (дата обращения: 05.04.2021).
13. Федеральная служба государственной статистики : официальный сайт. – URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 05.04.2021). – Текст : электронный.

14. Илышев, А. М. Стратегический конкурентный анализ в транзитивной экономике России / А. М. Илышев, Т. С. Селевич. – Москва : Финансы и статистика, 2014. – 480 с. – Текст : непосредственный.
15. Анализ паттернов в статике и динамике, обзор литературы и уточнение понятия / Ф. Т. Алексеров, В. Ю. Белоусова, Л. Г. Егорова [и др.]. – Текст : непосредственный // Бизнес-информатика. – 2013. – № 3. – С. 3–18.
16. Maltitz, M. J. Generalising Ward's Method for Use with Manhattan Distances / M. J. Maltitz, T. Strauss // Plos one. – 2017. – № 13. – P. 3–21.
17. Murtagh, F. Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering Method: Which Algorithms Implement Ward's Criterion / F. Murtagh // Journal of Classification. – 2014. – № 31. – P. 274–295.

И. Н. Муратов, А. Ш. Ибраева, Л. Л. Тимергазина, Ю. М. Полищук

ДИСТАНЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР АРКТИЧЕСКОЙ ТУНДРЫ ТАЙМЫРА

Представлены результаты дистанционного исследования термокарстовых озер в Арктической зоне Таймырской тундры. Исследования проведены на территории площадью 725 тыс. км². В исследованиях использованы спутниковые снимки Sentinel-2, позволившие изучить особенности распределения числа, суммарной площади озер и извилистости их береговых границ. Приведены графики гистограмм распределения численности и суммарных площадей озер в чрезвычайно широком интервале их размеров от 0,2 до 5000 га. Гистограмма распределения озер по размерам демонстрирует значительный рост их численности с уменьшением размеров. Гистограмма распределения суммарных площадей озер по интервалам их размеров показывает, что более 80 % общей площади озер контролируют озера с размерами от 2 до 1000 га. Анализ гистограммы распределения степени извилистости границ озер показал, что большинство озер имеют форму береговых границ, отличающуюся от окружности. Изучена зависимость степени извилистости границ озер от размеров озер и установлен положительный линейный тренд ее изменения с ростом площади озер.

Ключевые слова: термокарстовые озера, Таймыр, Арктическая тундра, Sentinel-2, дистанционные методы, извилистость береговых линий озер.

I. N. Muratov, A. Sh. Ibraeva, L. L. Timergazina, Y. M. Polishchuk

REMOTE STUDY OF THERMOKARST LAKES IN THE ARCTIC TUNDRA OF THE TAIMYR

The results of remote studies of thermokarst lakes in the Arctic zone of the Taimyr tundra are presented. The research was carried out on the territory of 725 thousand km². Sentinel-2 satellite images were used in the studies, which made it possible to study the peculiarities of distribution of the number, total area of the lakes and tortuosity of their coastal borders. Histograms of the distribution of the number and total areas of the lakes in an extra wide range of their sizes from 0.2 to 5000 ha are presented. The histogram of lakes size-distribution demonstrates significant growth of their number with decrease in size. Histogram of the distribution of total areas of lakes by intervals of their sizes shows that more than 80 % of total area of lakes are dominated by lakes with sizes from 2 to 1000 ha. The analysis of the histogram of the degree of tortuosity of lakes borders distribution showed that the majority of lakes have the form of the coastal lines, which differs from a circle. The dependence of the degree of tortuosity of lakes borders on the size of lakes was studied and a positive linear trend of its change with the growth of the area of lakes was established.

Keywords: thermokarst lakes, Taimyr, Arctic tundra, Sentinel-2, remote sensing methods, tortuosity of lakes borders.

Введение

Рост среднегодовой температуры земной поверхности в последние десятилетия приводит к деградации мерзлотных ландшафтов арктических территорий России, перспективных для хозяйственного освоения месторождений углеводородов в ближайшие годы. По оценке экспертов, потепление климата сопровождается ростом экономических и экологических ущербов

предприятий российского нефтегазового комплекса, расположенных в зоне многолетней мерзлоты. Для разработки мероприятий по снижению ущербов необходимо изучение свойств мерзлотных ландшафтов в условиях глобального потепления.

Известно, что наиболее чувствительными к температурным изменениям на территории многолетней мерзлоты оказываются термокарстовые озерные ландшафты. Для дистанционного изучения геокриологических изменений на территориях многолетней мерзлоты по космическим снимкам в качестве индикаторов геокриологических изменений обычно используются термокарстовые озёра, хорошо дешифрируемые на космических изображениях. Согласно [1, 2], таяние мерзлоты в условиях современного потепления климата приводит к ускорению термокарстовых процессов, что сопровождается значительным ростом численности термокарстовых озер малых размеров в зоне мерзлоты.

Доминирующая роль малых термокарстовых озер (площадью менее 0,02–0,05 га) в накоплении озерного метана в зоне вечной мерзлоты была установлена по данным биохимических исследований воды термокарстовых озер Западной Сибири [3]. Традиционно при оценке объемов эмиссии метана и углекислого газа из термокарстовых озер используют данные о свойствах озер, полученные в дистанционных исследованиях по снимкам Landsat (пространственное разрешение 30 м), на которых не видны малые озера. Поэтому вклад миллионов таких озер в глобальный парниковый эффект из-за их небольших размеров обычно не принимается во внимание. Попытки их учета в оценке общего объема мировых запасов метана в [4], основанные на использовании теоретического степенного закона распределения озер по размерам, вызывают сомнения, поскольку степенной закон распределения озер по размерам в широком диапазоне площадей не подтверждается экспериментальными данными [5–9]. В связи с этим важной задачей становится использование снимков более высокого разрешения, например, Sentinel-2, с целью проведения исследований термокарстовых озер в широком диапазоне их размеров, включая и малые озера, что позволило бы учесть вклад большого числа малых термокарстовых озер в общий объем запасов озерного метана на обширных арктических территориях.

Дистанционные исследования параметров термокарстовых озер, проведенные в различных зонах мерзлоты (сплошная, прерывистая и островная) в Западной Сибири и в Европейской части Российской Арктики (на территориях Малоземельской и Большеземельской тундры), показали [8–12], что форма озер проявляет значительную пространственную изменчивость и характеризуется значительной степенью извилистости береговых границ. Извилистость границ озер, как показано в [13,14], приводит к погрешностям дистанционных измерений площадей озер, что оказывает влияние на точность оценки объемов запаса метана в термокарстовых озерах. Поэтому другой важной задачей исследований в настоящей работе является изучение свойств извилистости береговых границ озер.

К настоящему времени обширные дистанционные исследования свойств озер в Арктической зоне проведены на территории Аляски, в Сибири и Скандинавии и в других регионах [15–18], которые показали некоторые особенности пространственной структуры полей термокарстовых озер в различных северных регионах. Так, исследования полей термокарстовых озер, проведенные в Западной и Восточной Сибири [19, 20], выявили существенные различия в их динамике, что делает важным проведение таких исследований на разных территориях российской Арктики с различными географическими и климатическими условиями. Насколько нам известно, аналогичных исследований изменений численности и размеров термокарстовых озер и пространственной изменчивости (извилистости) их береговых границ в Таймырской тундре до сих пор не проводилось. В связи с изложенным выше, целью настоящей работы явилось дистанционное изучение особенностей распределения числа, размеров и степени извилистости береговых границ термокарстовых озер в Арктической зоне Таймырской тундры.

Данные и методы

Исследования термокарстовых озер в настоящей работе проводились в Арктической зоне Таймырской тундры на площади 725 тыс. км². Схема расположения территории исследований в Арктической зоне представлена на рисунке 1. Как видно на рисунке, исследуемая территория Таймырской тундры включает, согласно карте размещения арктических георегионов России [21], две подзоны: Верхняя и Нижняя Арктики. Площадь первой из них составляет 262 тыс. км², площадь второй – 463 тыс. км².

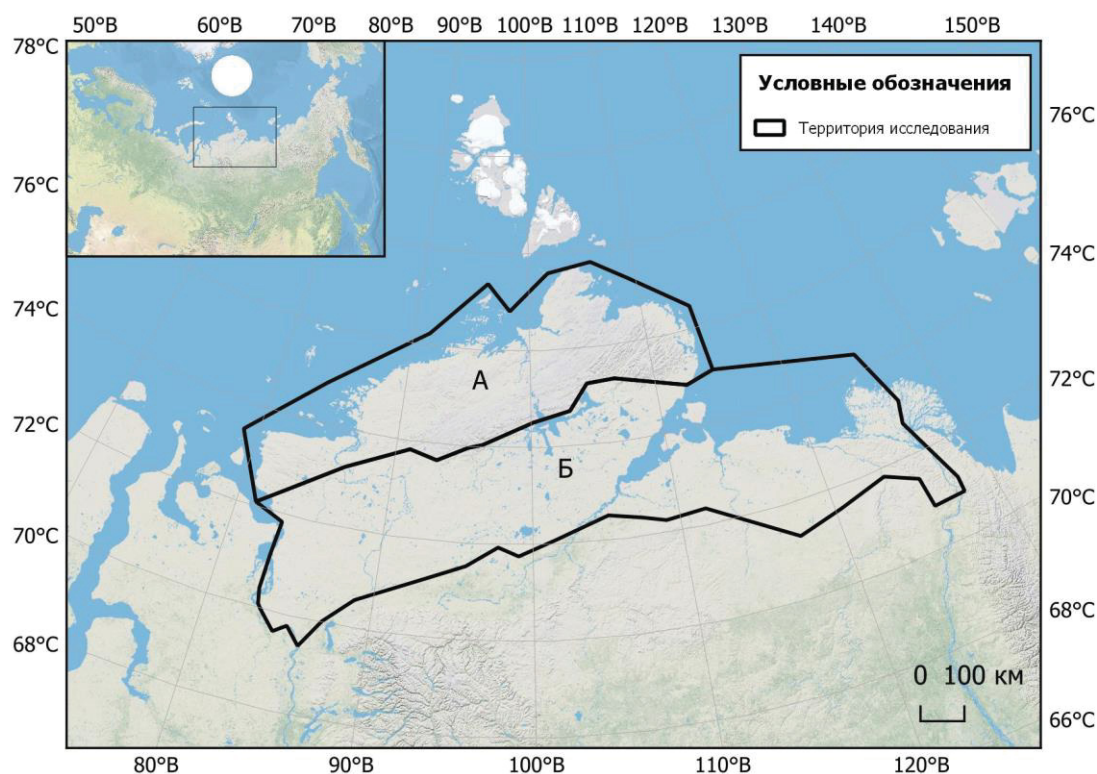


Рисунок 1 – Карта размещения исследуемой территории в Арктической зоне Таймырской тундры. Обозначено: А – подзона Верхней Арктики и Б – подзона Нижней Арктики

Известно, что изображения на снимках Landsat, размер пикселя которых составляет 900 м², позволяют дешифровать озера с минимальными размерами приблизительно 0,5 га. Использование в проведенных исследованиях космических снимков Sentinel-2 с разрешением 20 м (размер пикселей изображения 400 м²), позволило значительно уменьшить минимальные размеры дешифрируемых озер (до 0,2 га) по сравнению со снимками Landsat. Следовательно, применение этих снимков позволяет включать в анализ и озера малых размеров, которые не дешифрируются по снимкам Landsat.

Всего было использовано 81 космических снимков Sentinel-2 (32 и 49 в Верхней и Нижней Арктике, соответственно), полученных в период с 2017 по 2019 г. Обработка космических снимков, проведенная с использованием стандартных средств геоинформационной системы QGIS 3.16 [22], была направлена на получение данных о периметрах и площадях озер на исследуемой территории. Пространственный охват каждого снимка составляет приблизительно 12 тыс. км². Все снимки выбирались в достаточно короткий период летнего сезона (июль – август) для минимизации влияния сезонных колебаний уровня воды в озерах. В этот период на исследуемой территории исчезает ледовый покров на озерах, мешающий их выделению при автоматическом дешифрировании снимков.

В работе использовались снимки со спутника Sentinel-2 уровня обработки L2A с разрешением 20 м и с выполненной атмосферной коррекцией. Определение озер на снимках произво-

дилось с использованием индекса Automated Water Extraction Index (AWEI), который обеспечивает большую эффективность в определении водных объектов, чем широко используемый индекс MNDWI [23]. Индекс AWEI рассчитывается путем комбинирования данных видимого и инфракрасного диапазонов по формуле [23]:

$$AWEI_{sh} = B02 + 2,5 \times B03 - 1,5 \times (B8A + B11) - 0,25 \times B12, \quad (1)$$

где B02, B03 – каналы видимого диапазона; B8A, B11, B12 – каналы инфракрасного диапазона.

Процедура получения данных о пространственных характеристиках озер выполняется в виде последовательности этапов, представленных в виде схемы на рисунке 2. На схеме также показаны информационные ресурсы и программные средства, используемые при выполнении разных этапов. На территорию исследования сформирована коллекция безоблачных космических снимков Sentinel-2, за период с 2017 по 2019 г. Для каждого снимка рассчитывался индекс AWEI, в результате чего получалось новое растровое изображение (растр), каждая ячейка которого содержала значение индекса. Путём визуального анализа определялось пороговое значение индекса, позволяющее разделять водные объекты и объекты суши. С использованием порогового значения проводилась переклассификация растра, в ходе которой все значения, лежащие выше порогового (водные объекты) получали значение 1, а объекты ниже порогового значения получали значение 0. В результате получался растр, ячейки которого содержали информацию только о водных объектах. Полученные растры «сшивались» в мозаику с целью получения единого растрового изображения на всю территорию исследования, на котором исключались области перекрытия соседних растров, сформированных на основе соседних космических снимков.

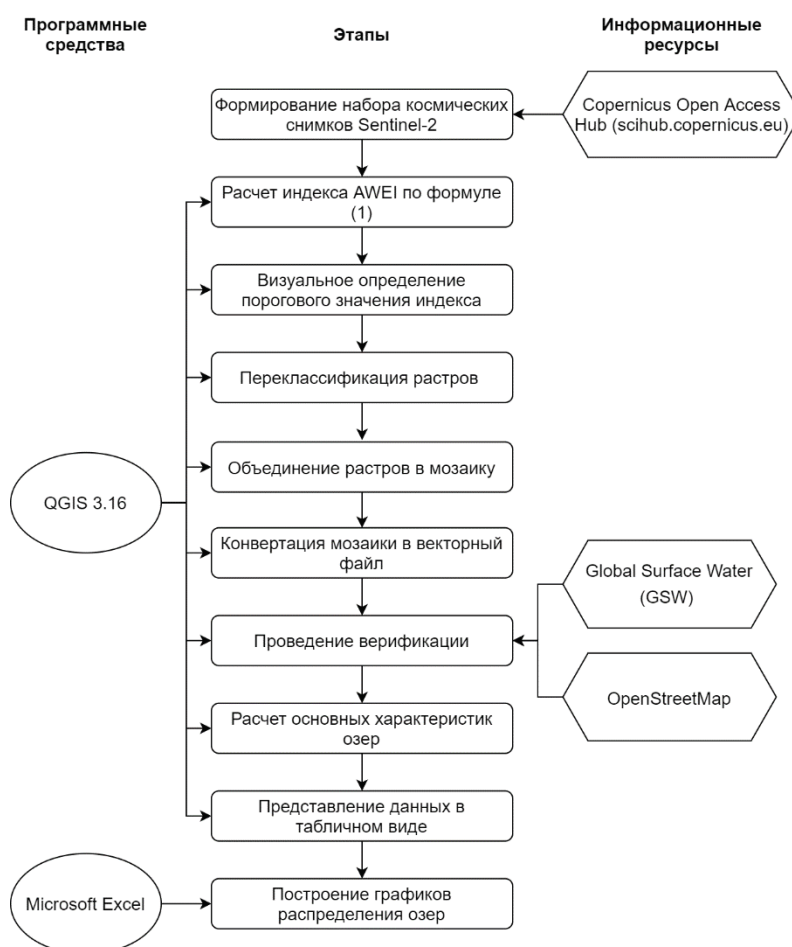


Рисунок 2 – Схема процедуры обработки спутниковых снимков и получения данных о пространственных характеристиках озер

Вследствие автоматического дешифрирования снимков полученная мозаика содержала «ошибки» классификации в виде участков многочисленных рек и ручьев, прибрежных участков моря и др., что потребовало корректировки мозаики. Для удаления ошибочно классифицированных объектов мозаика была конвертирована в векторный файл. Ошибки классификации озер были удалены путем верификации озер с использованием глобальной базы данных о поверхностных водах Global Surface Water (GSW) [24]. База GSW представляет собой результат определения водных объектов на территории всей Земли за 36-летний период с 1984 по 2019 г. на основе снимков Landsat. Для верификации был использован слой Maximum water extent, представляющий водные объекты. В процессе верификации автоматически проводилось сопоставление местоположения озер из мозаики с озерами из GSW. На основании этого сопоставления были удалены ошибочные объекты, местоположение которых не совпадало с данными GSW. Реки и ручьи на мозаике были удалены с использованием маски рек и ручьев, подготовленной на основе данных из OpenStreetMap [25].

Для всех озер были рассчитаны основные характеристики, такие как число озер, периметры и площади и выполнен экспорт в табличные данные. В связи с необходимостью получения распределения площадей озер в достаточно широком диапазоне изменения их размеров (от сотен м² до нескольких га) на основе спутниковых снимков высокого разрешения для построения гистограмм выбраны частичные интервалы с неравномерным шагом (по логарифмическому закону), а именно: 2000–5000 м², 5000–10000 м², 10000–20000 м² и т. д. до нескольких десятков га. Заметим, что такой подход позволил компактно представить графически гистограммы распределения численности озер и их суммарной площади по размерам в достаточно широком диапазоне изменений площадей озер.

Степень извилистости границ озер рассчитывалась по данным спутниковых измерений площади и периметра озер по формуле [8]:

$$z = \frac{p^2}{4\pi s}, \quad (2)$$

где s – площадь; p – периметр озера.

Рассчитанные в соответствии с (2) значения z для каждого озера на всей территории исследования в Арктической тундре Таймыра были применены в дальнейшем для построения гистограмм распределения степени извилистости границ озер и для определения средних значений ($z_{\text{ср}}$), используемых далее для анализа зависимости степени извилистости от размеров и местоположения озер.

Результаты

Для анализа эмпирического распределения численности и суммарных площадей озер по размерам были построены графики гистограмм распределения числа и площадей озер по их размерам, на которых частные интервалы площадей озер даны в логарифмическом масштабе, как описано выше, в связи с необходимостью их компактного графического представления в условиях чрезвычайно широкого диапазона изменения размеров исследованных озер (от тысяч м² до тысяч га). Гистограмма распределения численности озер по их размерам, представленная на рисунке 3, показывает, что с ростом размеров озер наблюдается значительное сокращение их числа.

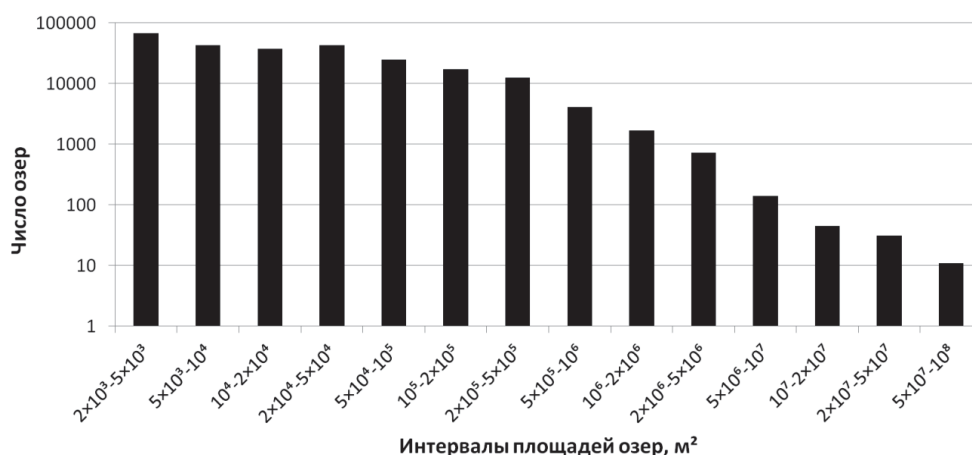


Рисунок 3 – Гистограмма распределения озер по размерам

На рисунке 4 приведен график гистограммы распределения суммарной площади озер по интервалам их размеров, показывающий, что максимальную суммарную площадь водного зеркала имеют озера с размерами 20-50 га. Более 80 % вклада в общую площадь озер в Таймырской Арктике дают озера с размерами от 2 до 1000 га. А вклад всех малых озер с размерами менее 1 га не превышает 3 % от общей площади озер, что показывает незначительность вклада малых озер Таймырской тундры в общую площадь озер, а, следовательно, в эмиссию метана и углекислого газа из арктических озер и в глобальный парниковый эффект.

На рисунке 5 приведена эмпирическая гистограмма распределения степени извилистости границ озер на основе данных о величине z , рассчитанных на основе результатов дистанционных измерений по формуле (2). Гистограмма показывает, что большинство озер Таймырской тундры (90 %) имеют степень извилистости границ, не превышающую 4. Следовательно, форма границ большинства озер значительно отличается от окружности, которой соответствует величина степени извилистости, равная 1.

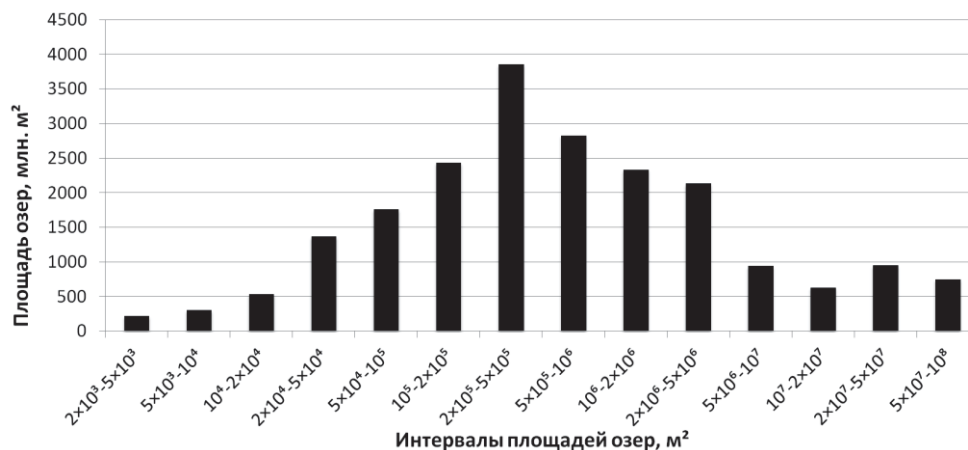


Рисунок 4 – Гистограмма распределения суммарной площади озер по интервалам их размеров

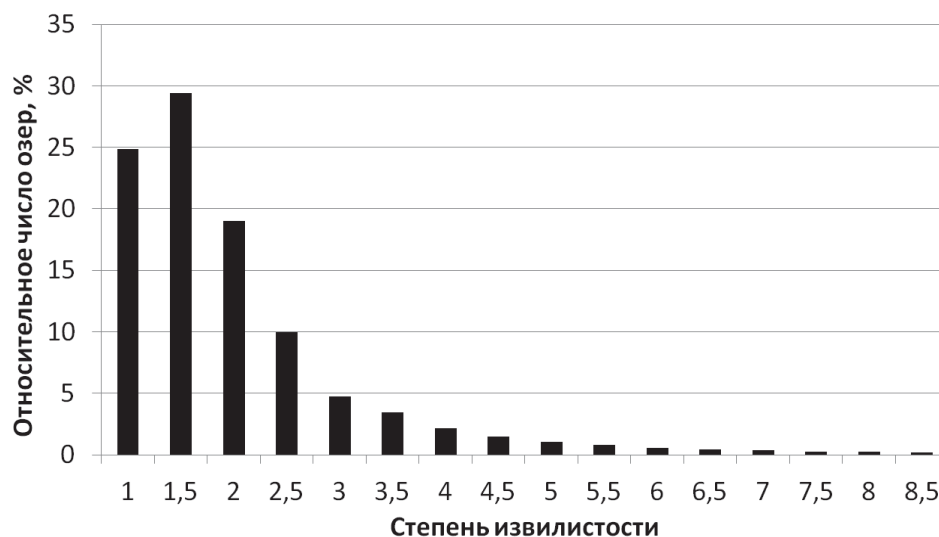


Рисунок 5 – Гистограмма распределения степени извилистости границ озер на исследуемой территории

На рисунке 6 представлен график зависимости средних значений степени извилистости границ озер, рассчитанных для каждого интервала значений степени извилистости, от размеров озер. Заметим, что в связи с необходимостью компактного графического представления этой зависимости в очень широком диапазоне размеров озер по оси абсцисс графика на рисунке 6 использована логарифмическая шкала площадей озер.

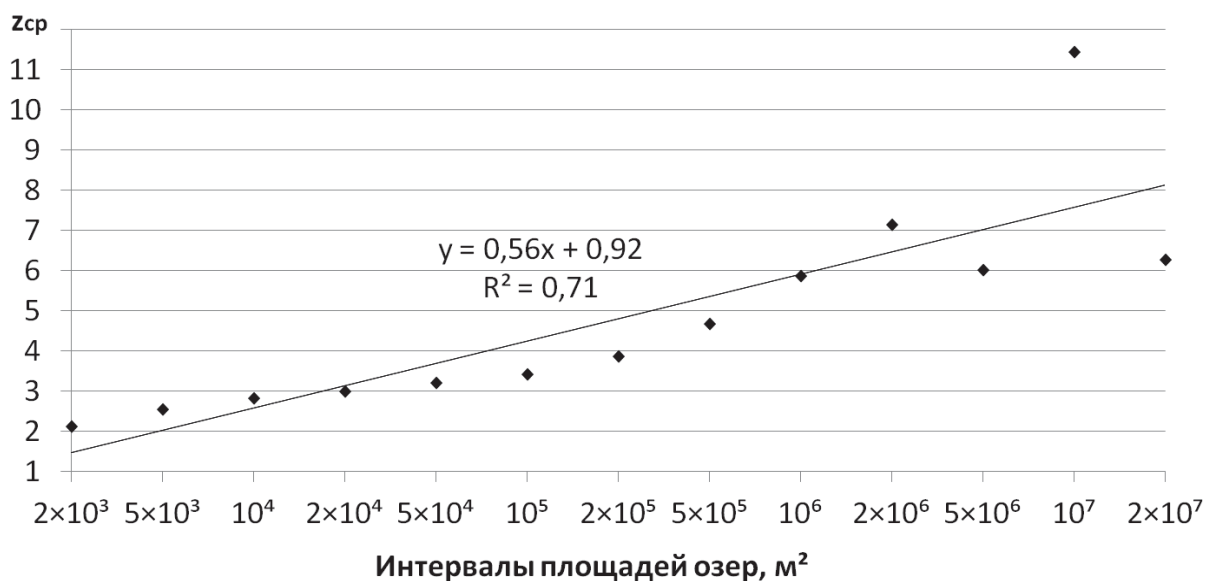


Рисунок 6 – Зависимость среднего значения степени извилистости границ озер от их размеров в Арктической зоне Таймыра

График на рисунке 6 показывает, что зависимость степени извилистости границ озер от площади озер проявляет заметный положительный линейный тренд. Следовательно, степень извилистости береговых линий термокарстовых озер Таймырской тундры существенно зависит от размеров озер и увеличивается с ростом площади озер в интервале от 0,2 до 5000 га в среднем приблизительно в 6 раз, что превышает аналогичную величину, полученную для Западной Сибири [8].

Заключение

Статья посвящена вопросам дистанционного исследования термокарстовых озер, расположенных в Арктической зоне Таймырской тундры. Общая площадь исследуемой территории составила 725 тыс. км². На основе спутниковых снимков Sentinel-2 определена численность озер в интервале их размеров от 0,2 до 5000 га и измерены их площади и периметры, что позволило исследовать особенности распределения числа, суммарной площади озер и степени извилистости их береговых границ.

Проведен анализ гистограмм распределения численности, суммарной площади озер и степени извилистости их береговых границ. Показано, что с уменьшением размеров озер Таймырской арктической тундры наблюдается значительный рост их численности. Гистограмма распределения суммарных площадей озер по интервалам их размеров показывает, что более 80 % вклада в общую площадь водного зеркала дают озера с размерами от 2 до 1000 га, а на долю многочисленных малых озер (с размерами менее 1 га) приходится не более 3 % их суммарной площади.

Исследованы характеристики извилистости береговых границ озер Таймырской Арктики. Анализ гистограммы распределения степени извилистости границ озер показал, что наибольшее число озер имеют форму, отличающуюся от окружности. Изучена зависимость степени извилистости границ озер от размеров озер. Установлено, что с ростом площади озер в среднем степень извилистости береговых линий термокарстовых озер Таймыра увеличивается более чем в 6 раз, что превышает аналогичную величину, полученную для Западной Сибири.

Полученные результаты могут быть использованы в задачах оценки объемов эмиссии метана и углекислого газа из тундровых озер в атмосферу и их вклада в глобальный парниковый эффект, а также в оценке динамики площадей озер и объемов накопления парниковых газов в озерах в условиях современных климатических изменений в Арктике.

Благодарности

Работа проводилась в рамках темы 6.3 по госзаданию Департамента информационных технологий ХМАО на 2021 г. и при поддержке грантов РФФИ № 18-45-860002, № 18-47-700001 и № 19-07-00282.

Литература

1. Polishchuk, Y. M. Remote research of spatiotemporal dynamics of thermokarst lakes fields in Siberian permafrost / Y. M. Polishchuk, I. N. Muratov, V. Y. Polishchuk // *The Arctic: Current Issues and Challenges*. – New York : Nova Science Publishers, 2020. – P. 208–237.
2. Polishchuk, Yu. Remote study of thermokarst lake dynamics in West-Siberian permafrost / Yu. Polishchuk, S. Kirpotin, N. Bryksina // *Permafrost: Distribution, Composition and Impacts on Infrastructure and Ecosystems*. – New York : Nova Science Publishers, 2014. – P. 173–204.
3. Effect of permafrost thawing on the organic carbon and metal speciation in thermokarst lakes of Western Siberia / O. S. Pokrovsky, L. S. Shirokova, S. N. Kirpotin [et al.] // *Biogeosciences*. – 2011. – V. 8. – P. 565–583.
4. Holgerson, M. A. Large contribution to inland water CO₂ and CH₄ emissions from very small ponds / M. A. Holgerson, P. A. Raymond // *Nature Geosciences Letters*. – 2016. – V. 9. – P. 222–226.
5. Cael, B. B. The size-distribution of Earth's lakes / B. B. Cael, D. A. Seekell // *Scientific Reports*. – 2016. – V. 6. – P. 29633.
6. Полищук, Ю. М. Интеграция космических снимков сверхвысокого и среднего разрешения для построения гистограмм распределения площадей термокарстовых озёр в расширенном диапазоне их размеров / Ю. М. Полищук, А. Н. Богданов, Н. А. Брыксина [и др.]. – Текст : непосредственный // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2018. – Т. 15, № 3. – С. 38–46.

7. Minor contribution of small thaw ponds to the pools of carbon and methane in the inland waters of the permafrost – affected part of the Western Siberian lowland / Y. M. Polishchuk, A. N. Bogdanov, I. N. Muratov [et al.] // *Environmental Research Letters*. – 2018. – V. 13. – P. 1–16.
8. Моделирование полей термокарстовых озер в зоне вечной мерзлоты на основе геоимитационного подхода и спутниковых снимков / В. Ю. Полищук, И. Н. Муратов, М. А. Куприянов [и др.]. – Текст : непосредственный // *Математические заметки Северо-Восточного Федерального университета*. – 2020. – Т. 27, № 1. – С. 101–114.
9. Carbon Emission Related to Thermokarst Processes in Wetlands of NE European Tundra / S. Zabelina, L. Shirokova, S. Klimov [et al.] // *Limnology and Oceanography*. – 2020. – V 9999. – P. 1–15.
10. Полищук, Ю. М. Исследование извилистости береговых границ термокарстовых озер Западной Сибири по снимкам высокого разрешения «Канопус-В» / Ю. М. Полищук, И. Н. Муратов, В. Ю. Полищук. – Текст : непосредственный // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2019. – № 5. – С. 130–137.
11. Полищук, Ю. М. Дистанционные исследования извилистости береговых границ термокарстовых озёр Большеземельской тундры по снимкам «Канопус-В» / Ю. М. Полищук, И. Н. Муратов, О. А. Байсалимова. – Текст : непосредственный // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 95–101.
12. Муратов, И. Н. Дистанционное исследование термокарстовых озер Малоземельской тундры / И. Н. Муратов, А. Ю. Садыков, Ю. М. Полищук. – Текст : непосредственный // *Доклады Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А. Попова : материалы Международного симпозиума. Серия: Научные Международные симпозиумы. Проблемы экоинформатики / под редакцией Ф. А. Мкртчяна*. – Москва : Московское НТО радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова, 2020. – Вып. 14. – С. 190–194.
13. Accuracy Analysis of Remote Measurement of Thermokarst Lakes Parameters for Field Dynamics Modeling Problems / M. A. Kupriyanov, G. A. Kochergin, I. N. Muratov [et al.] // *Atlantis Press: Advances of Social Science, Education and Humanities Research*. – 2020. – V. 483. – P. 237–241.
14. Куприянов, М. А. Анализ погрешностей дистанционного измерения площади термокарстовых озер Арктики / М. А. Куприянов, Г. А. Кочергин, Ю. М. Полищук // *Доклады Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А. Попова : материалы Международного симпозиума. Серия: Научные Международные симпозиумы. Проблемы экоинформатики / под редакцией Ф. А. Мкртчяна*. – Москва : Московское НТО радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова, 2020. – Вып. 14. – С. 60–64.
15. Kirpotin, S. Abrupt changes of thermokarst lakes in Western Siberia: impacts of climatic warming on permafrost melting / S. Kirpotin, Y. Polishchuk, N. Bryksina // *International Journal of Environmental Studies*. – 2009. – V. 66, № 4. – P. 423–431.
16. Luoto, M. Thermokarst ponds as indicator of the former distribution of palsas in Finnish Lapland / M. Luoto, M. Seppala // *Permafrost and Periglacial Processes*. – 2003. – V. 14. – P. 19–27.
17. Riordan, B. Shrinking ponds in subarctic Alaska based on 1950-2002 remotely sensed images / B. Riordan, D. Verbyla, A. D. McGuire // *Journal of Geophysical Research*. – 2006. – V. 111. – P. 04002.
18. Zuidhoff, F. S. Changes in palsa distribution in relation to climate change in Laivadalén, Northern Sweden, especially 1960-1997 / F. S. Zuidhoff, E. Kolstrup // *Permafrost and Periglacial Processes*. – 2000. – V. 11. – P. 55–69.
19. Брыксина, Н. А. Сравнительный анализ изменений размеров озер в зоне мерзлоты Западной и Восточной Сибири по космическим снимкам / Н. А. Брыксина, Ю. М. Полищук, М. А. Куприянов. – Текст : непосредственный // *Геоинформатика*. – 2016. – № 1. – С. 64–67.
20. Полищук, Ю. М. Дистанционное изучение ландшафтных и широтных особенностей динамики озер криолитозоны Восточной Сибири по космическим снимкам / Ю. М. Полищук, М. А. Куприянов, Н. А. Брыксина. – Текст : непосредственный // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2014. – Т. 11, № 3. – С. 171–179.

21. Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity / D. M. Olson, E. Dinerstein, E. D. Wikramanayake [et al.] // *BioScience*. – 2001. – V. 51. – P. 933–938.
22. Руководство пользователя QGIS. – Текст : электронный // QGIS Documentation. – URL: https://docs.qgis.org/3.16/ru/docs/user_manual/ (дата обращения: 18.02.2021).
23. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery / G. L. Feyisa, H. Meilby, R. Fensholt [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. – 2014. – V. 140. – P. 23–35.
24. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes / J. F. Pekel, A. Cottam, N. Gorelick [et al.] // *Nature*. – 2016. – V. 540. – P. 418–422.
25. О проекте OpenStreetMap. – Текст : электронный // OpenStreetMap. – URL: <https://www.openstreetmap.org/about> (дата обращения: 18.02.2021).

О. В. Самарина, В. А. Самарин, В. В. Славский, М. В. Куркина

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ МАТЛАБ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ И АНАЛИЗА ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В работе представлено описание практических результатов, полученных при вычислении в системе Matlab таких топографических характеристик цифрового изображения, как длина и кривизна контурных линий, плотности длин и кривизн, а также нерегулярности контурных линий первого и второго порядка. Топологические характеристики содержат полную информацию о форме и контурах цифрового изображения, что позволяет эффективно использовать их при решении задач обработки данных дистанционного зондирования, анализа биомедицинских изображений, задач классификации и распознавания образов.

Ключевые слова: топологические характеристики, цифровое изображение, инварианты.

O. V. Samarina, V. A. Samarin, V. V. Slavsky, M. V. Kurkina

APPLICATION OF MATLAB FOR DIGITAL IMAGES TOPOLOGICAL CHARACTERISTICS CALCULATION AND ANALYSIS

The paper describes the practical results received from digital images topographic characteristics calculating in Matlab, such as length and curvature of contour lines, density of lengths and curvature, as well as irregularities of contour lines of the first and second order. Topological characteristics contain complete information about the shape and contours of a digital image, which allows them to be effectively used in solving the problems of remote sensing data processing, analysis of biomedical images, classification and pattern recognition problems.

Key words: topological characteristics, digital image, invariants.

Введение

Автоматический анализ и обработка графических баз данных является одним из важнейших направлений в области обработки информации. Повышение интереса к проблемам компьютерной цифровой обработки изображений определяется расширением возможностей, как самих компьютерных систем, так и разработкой новых технологий обработки, анализа и идентификации различных видов изображений.

Одной из фундаментальных инструментальных задач обработки цифровых изображений является поиск инвариантных характеристик цифрового изображения [1]. Эффективно используемыми в данном направлении являются методы, основанные на выделении контуров изображения. Контурный анализ в большей степени, чем пространственные методы, дает возможность получить модели, инвариантные к топологическим преобразованиям изображения, а также добиться высокого быстродействия в получении первичной информации [2, 3].

В основе этой работы лежит описание результатов, полученных в ходе вычисления в системе Matlab таких топологических характеристик, как длина и кривизна, плотности длин и кривизн контурных линий изображений, нерегулярности контурной линии первого и второго порядков.

Топологические характеристики цифрового изображения

С математической точки зрения основной трудностью при работе с цифровыми изображениями является их дискретность, поэтому вычисление таких характеристик как длина или кривизна на цифровом изображении требует дополнительных усилий связанных с интерполяцией функций и линий. Использование интегрально-геометрических соотношений, представленных в данной работе, позволяет обойти эти трудности вычислений.

Представим одноканальное цифровое изображение в виде функции $u(x, y) \in [0, 255]$, определяющей полутоновую яркость изображения. Рассмотрим верхние и нижние Лебеговы множества:

$$I^+_c[u] = \{(x, y) : u(x, y) \geq c\}, \quad I^-_c[u] = \{(x, y) : u(x, y) \leq c\}, \quad c \in [0, 255]. \quad (1)$$

Обозначим через $F_1(c)$ и $F_2(c)$ следующие интегралы:

$$F_1^\pm(c, u) = \iint_{I^\pm_c[u]} |\nabla u| dx dy, \quad F_2^\pm(c, u) = \iint_{I^\pm_c[u]} |\nabla u| k(x, y) dx dy \quad (2)$$

где $|\nabla u|$ – градиент функции цифрового изображения, а $\kappa(x, y)$ – кривизна топографических линий изображения, вычисляемая по формуле:

$$\kappa(x, y) = \frac{\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 - 2 \frac{\partial u}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2}{\left(\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 \right)^{3/2}}. \quad (3)$$

В нашем случае, для изображения $u(x, y)$, в некоторой области на плоскости с учетом выражения верхних (нижних) Лебеговых множеств $I^\pm_c[u]$ для длины границы $L^\pm(c)$ и кривизны границы $\kappa^\pm(c)$ множества $I^\pm_c[u]$ будут справедливы следующие интегрально-геометрические соотношения:

$$L^\pm(c) = \frac{dF_1^\pm(c, u)}{dc}, \quad \kappa^\pm(c) = \frac{dF_2^\pm(c, u)}{dc}. \quad (4)$$

Замечание. В приведённых выше формулах функция принимает целые значения, поэтому для производных и градиента используются разностные формулы. Данные равенства используются в численном алгоритме для вычисления $L^\pm(c)$ и $\kappa^\pm(c)$.

Подынтегральные величины

$$\lambda_1(x, y) = |\nabla u|, \quad \lambda_2(x, y) = |\nabla u| k(x, y), \quad (5)$$

будем называть плотностями длин и кривизн контурных линий изображения.

В общем случае, когда функция $u(x, y)$ нерегулярная или сеточная, полные вариации $F_1(c, u), F_2(c, u)$ как функций одной переменной $c \in [0, 255]$ в смысле теории функций вещественной переменной назовем величиной нерегулярности первого, второго порядка контурной сетки линий:

$$\delta^1(c) = L^+(c) + L^-(c), \quad \delta^2(c) = \kappa^+(c) + \kappa^-(c). \quad (6)$$

Представленные выше характеристики являются топологическими характеристиками цифрового изображения. Они содержат полную информацию о форме и контурах цифровых изображений.

Программный комплекс анализа изображений в среде Matlab

В целях вычисления таких топологических характеристик цифрового изображения как длина и кривизна контурных линий изображения, а также удельные плотности длин и кривизн, нерегулярности контурной линии первого и второго порядков, в среде Matlab был разработан программный комплекс.

Рассмотрим этапы анализа и обработки изображений в нем подробнее.

На практике цифровое изображение представляет собой дискретную неотрицательную функцию, заданную в узлах сетки. Так как при передаче изображения по каналам связи оно подвергается различным искажениям, перед вычислением характеристик, на этапе предварительной обработки, проведем очистку цифрового изображения от шума с помощью метода медианного сглаживания. Данный алгоритм широко используется в обработке сигналов, статистике. Фильтрация функции яркости позволит снять влияние случайных выбросов и поможет выявить закономерные признаки изучаемой функции. После предварительной обработки приступаем к вычислению топологических характеристик.

Для проведения испытаний была подготовлена база изображений (более 100 цифровых изображений), включающая в себя данные дистанционного зондирования земли и медицинские изображения (рисунок 1). В целях проведения попарных сравнений изображения сгруппированы по типу и месту съемки. Внутри групп изображения, отличаются друг от друга горизонтальным и вертикальным сдвигом центра, поворотом, масштабом.

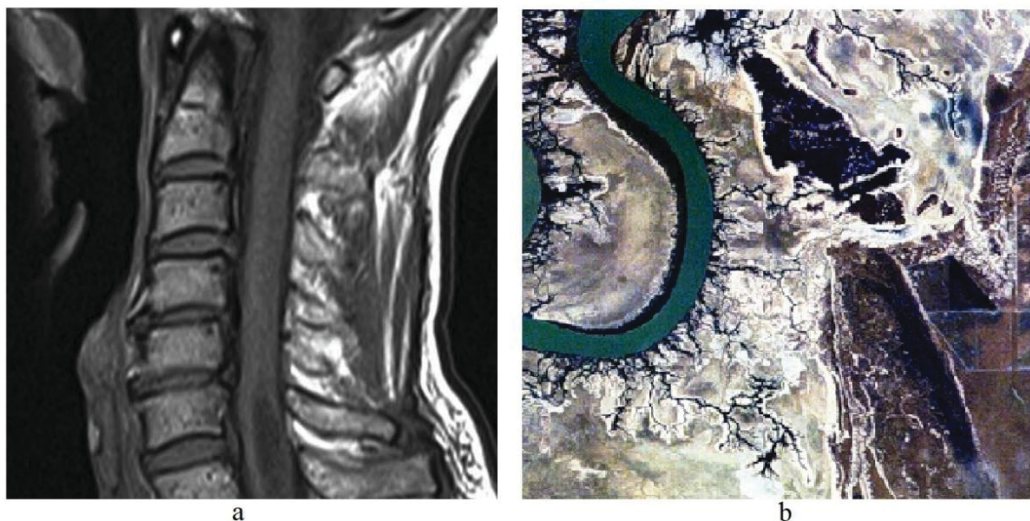


Рисунок 1 – Примеры изображений:

а – медицинские изображения, б – данные дистанционного зондирования земли

Интерфейс программного модуля представлен на рисунке 2. При запуске модуля пользователю предоставляется возможность выбора изображений для обработки и анализа и группы вычисляемых топографических характеристик.

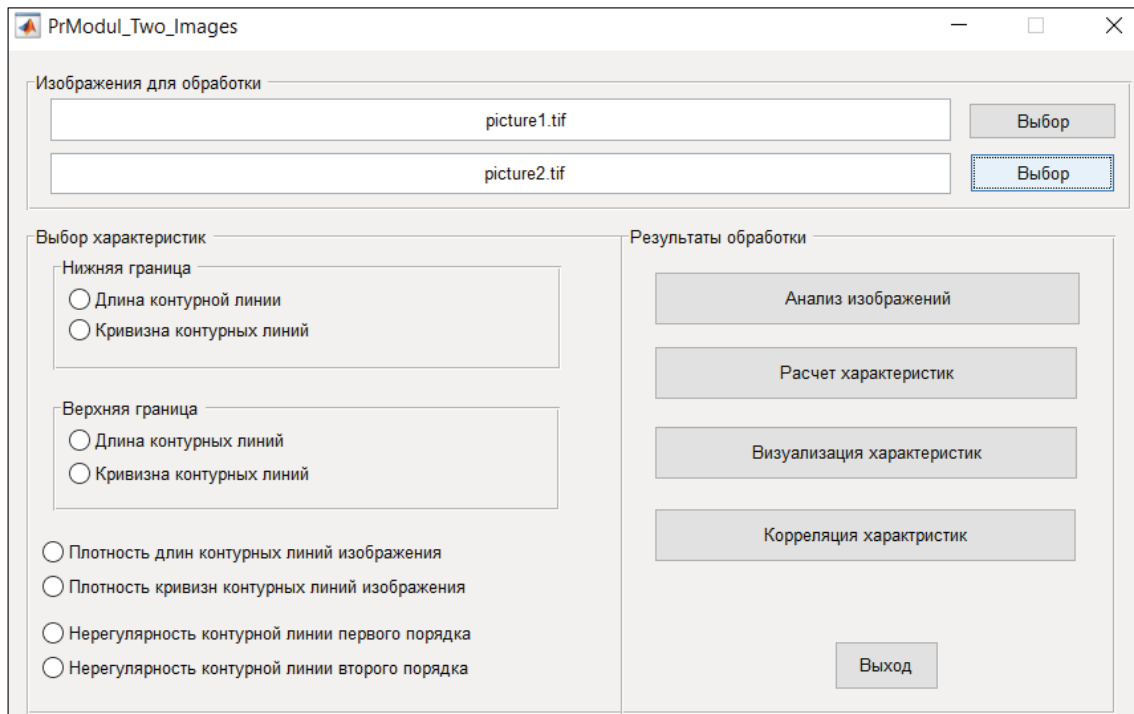


Рисунок 2 –Интерфейс программного модуля обработки изображений

В качестве иллюстрации (см. рис. 3), в данной работе было выбрано два изображения одной местности, отличающиеся между собой углом разворота и сдвигом по горизонтали.

С помощью специальной функции производится первичный анализ выбранного изображения (рисунок 3). Получаем данные о размерах изображений, количестве цветовых каналов. Для чистоты эксперимента характеристики вычислялись для изображений одинакового размера по первому цветовому каналу.

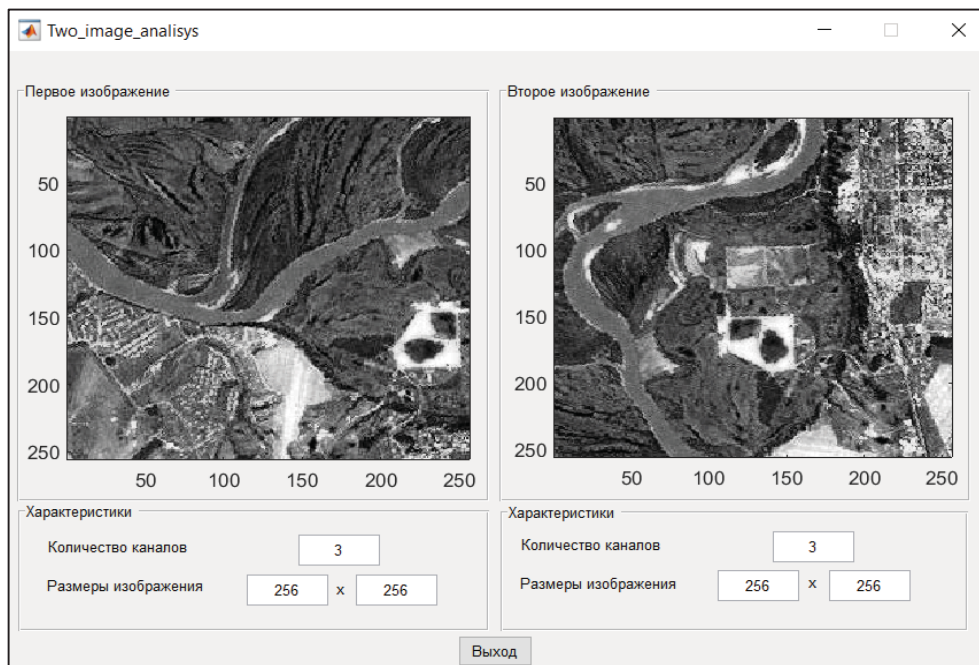


Рисунок 3 – Окно предварительного просмотра и анализа изображений

Для выбранного изображения программный модуль позволяет вычислить следующие характеристики:

$\lambda_1(x, y)$ – удельную плотность длин контурных линий изображения.

$\lambda_2(x, y)$ – удельную плотность кривизн контурных линий изображения.

$L^+(c)$ – длину контурных линий верхней границы множества

$\kappa^+(c)$ – кривизну контурных линий верхней границы множества.

$L^-(c)$ – длину контурных линий нижней границы множества.

$\kappa^-(c)$ – кривизну контурных линий нижней границы множества.

$\delta^1(c)$ – нерегулярность контурной линии первого порядка.

$\delta^2(c)$ – нерегулярность контурной линии второго порядка.

Программный модуль позволяет отметить необходимые характеристики и провести их расчет (рисунок 2). Дополнительно, в модуле «Визуализация характеристик», возможно отображение гистограмм распределения значений вычисленной характеристики или графика значений характеристики (рисунок 4). Визуализация возможна только для вычисленных характеристик (они помечаются знаком «+» возле наименования).

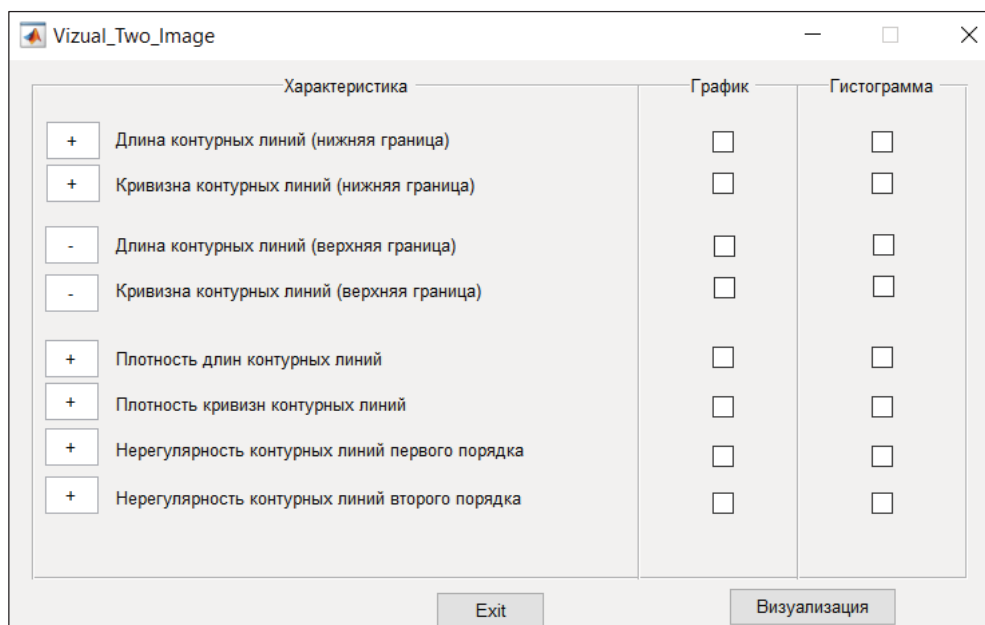


Рисунок 4 – Выбор способа визуализации полученных результатов

В качестве примера, на рисунке 5 представлены результаты построения графиков длины контурных линий и гистограмм кривизны контурных линий, вычисленных по нижним границам для двух рассматриваемых изображений.

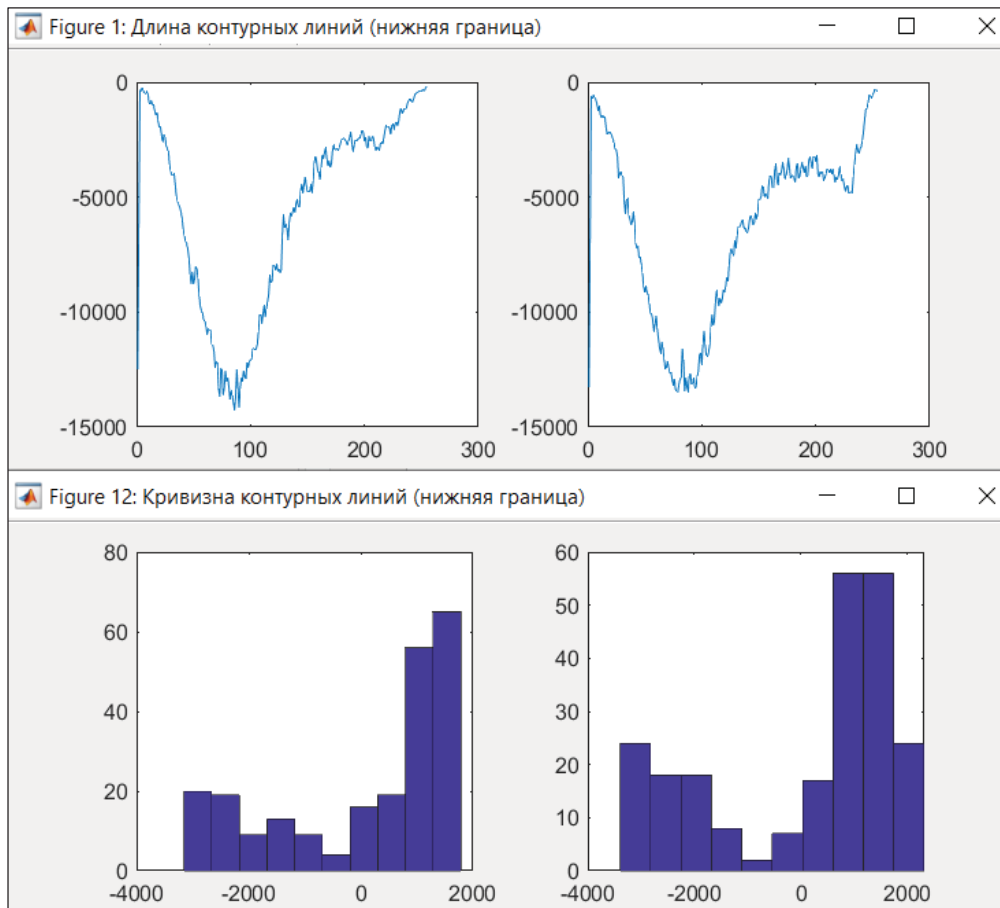


Рисунок 5 – Визуализация характеристик $L^-(c), \kappa^-(c)$.

Программный модуль позволяет оценить корреляцию между вычисленными характеристиками (рисунок 6). В нашем случае получившиеся результаты явно отображают инвариантность длины и кривизны контурных линий изображения относительно преобразований изображения.

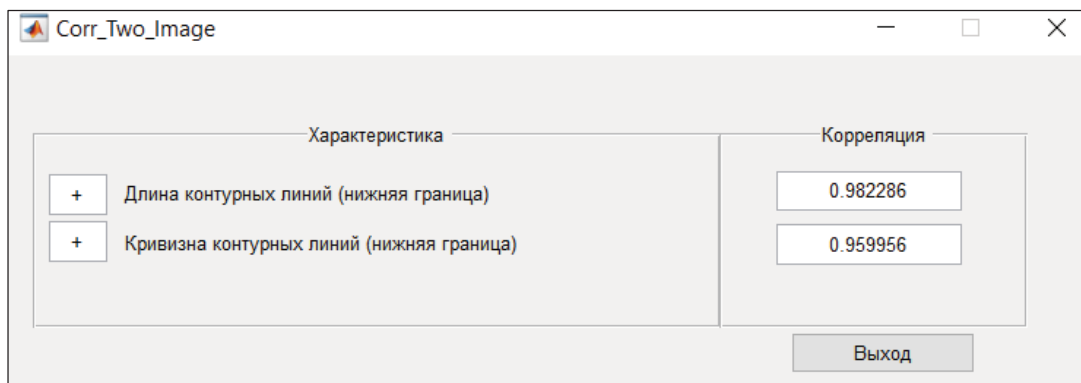


Рисунок 6 – Попарная корреляция между вычисленными характеристиками изображений

Проведенные эксперименты показали, что корреляция между значениями длин контурных линий верхней и нижней границ множества $L^+(c)$ и $L^-(c)$, а также между значениями кривизн контурных линий верхней и нижней границ множества $\kappa^+(c)$ и $\kappa^-(c)$, вычисленными для одного и того же изображения близка к единице. Следовательно, в целях оптимизации вычислений, пользователю достаточно использовать лишь один из наборов характеристик, вычисленный либо для верхней, либо для нижней границы множества.

Исследование длин и кривизн контурных линий снимков земной поверхности одной и той же местности, а также медицинских снимков одной области показало прямую сильную корреляцию (значения принадлежат диапазону 0,65 – 0,95). Таким образом, данные характеристики показали практическую значимость и их можно использовать при решении таких задач как классификация изображений, поиск соответствия по образцу, специализированная тематическая обработка и прочих. Удельные плотности длин и кривизн, а также нерегулярности контурных линий первого и второго порядка, также могут найти свое применение при решении различных задач обработки и анализа изображений.

Заключение

Предложенный в работе подход к анализу изображений различных типов, основанный на использовании таких топографических характеристик как длина и кривизна контурных линий, плотности длин и кривизн, а также нерегулярности контурных линий первого и второго порядка, является актуальным и перспективным направлением в области анализа и обработки цифровых изображений.

Результаты выполненных работ по вычислению характеристик в среде Matlab показали, что рассмотренные топологические характеристики (атрибуты) являются эффективными характеристиками цифрового изображения, а реализованные методики и алгоритмы могут найти применение при решении задач сравнения и классификации цифровых изображений.

Разработанный программный комплекс в системе Matlab может быть использован как в учебных целях, так и в дальнейших исследованиях по обработке цифровых изображений.

Литература

1. Нгуен, З. Т. Инварианты в задачах распознавания графических образов. – Текст : непосредственный // Вестник РУДН. Серия Математика. Информатика. Физика. – 2016. – № 1. – С. 76–85.
2. Самарина, О. В. Анализ трехканальных изображений, основанный на теории три-тканей / О. В. Самарина, В. В. Славский, С. П. Семенов. – Текст : непосредственный // Труды международной конференции «Классическая и современная геометрия», посвященной 100-летию со дня рождения профессора Вячеслава Тимофеевича Базылева (Москва, 22–25 апреля 2019 г.) : Часть 4 Итоги науки и техники. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры. – Москва, 2020. – С. 119–124.
3. Самарина, О.В. Применение интегральных топографических характеристик в решении задач обработки данных дистанционного зондирования / О. В. Самарина, В. В. Славский, С. П. Семенов. – Текст : непосредственный // Математические заметки СВФУ. – 2020. – Т. 27, № 1. – С. 41–50.

*Работа выполнена при поддержке гранта
РФФИ, проект № 18-47-860016*

С. П. Семенов, **В. В. Славский**, М. В. Куркина,
А. О. Ташкин, О. В. Самарина, А. А. Финогенов

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

В статье описаны результаты пяти лет исследований в области разработки и создания компьютерных математических моделей социально-экономических систем с использованием ГИС-технологий в рамках двух грантов РФФИ, которыми руководил В. В. Славский. Первая часть описывает результаты по разработке и созданию интерактивной социально-ориентированной геоинформационной системы, предназначенной для получения информации об объектах социальной инфраструктуры, направленной на удовлетворение потребностей маломобильных групп граждан и людей с ограниченными возможностями. Вторая часть описывает результаты по разработке и созданию интерактивной агентно-ориентированной динамической модели социально-экономических процессов (транспортных, производственных, демографических, и пр.), с использованием ГИС-технологий на примере г. Ханты-Мансийска.

Ключевые слова: город, динамика, социальный, инфраструктура, ОСИ, карта, доступность, модели, ГИС, ХМАО, Ханты-Мансийск.

S. P. Semenov, V. V. Slavsky, M. V. Kurkina, A. O. Tashkin, O. V. Samarina, A. A. Finogenov

COMPUTER MATHEMATICAL MODELS OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS USING GIS TECHNOLOGIES

The article describes the results of five years of research in the development and creation of computer mathematical models of socio-economic systems using GIS technologies within the framework of two RFBR grants, which were directed by V. V. Slavsky. The first part describes the results of the development and creation of an interactive socially-oriented geographic information system designed to obtain information about social infrastructure facilities aimed at meeting the needs of people with limited mobility and people with disabilities. The second part describes the results of the development and creation of an interactive agent-based dynamic model of socio-economic processes (transport, production, demographic, etc.), using GIS technologies on the example of Khanty-Mansiysk.

Key words: city, dynamics, social, infrastructure, OSI, map, accessibility, models, GIS, Khanty-Mansiysk.

Данная статья посвящена памяти нашего коллеги и товарища, известного ученого профессора В. В. Славского, который почти 20 лет проработал на кафедре высшей математики Югорского Государственного Университета.

Виктор Владимир Славский, обладая высоким уровнем знаний и невероятной энциклопедичностью, смог обеспечить руководство в решении научных задач из предметных областей широкого круга. Благодаря своему профессионализму и лидерским качествам Виктор Влади-

мирович выступал в коллективе в роли учителя и наставника. Ему сопутствовали такие личные качества, как отзывчивость, деликатность, надежность, ответственность и тонкое чувство юмора, что делало его настоящим и верным другом, незаменимым в любом научном и жизненном вопросе.

Под руководством профессора В. В. Славского в последнее десятилетие выполнялись научные гранты РФФИ, а именно: № 15-41-00092 «Фолксономический подход в разработке социально-ориентированных геоинформационных систем» и № 18-47-860016 «Компьютерное моделирование динамики социально-экономической системы ресурсодобывающего региона севера России с использованием теории роста, агентного подхода и ГИС-технологий», в работе над которыми принимали участие и авторы данной статьи.

Работа над грантами сопровождалась серией публикаций в различных международных изданиях, 12 из которых входят в реестр базы данных SCOPUS, 17 публикаций изданы в сборниках, включенных в перечень ВАК, 36 публикаций в изданиях, входящих в РИНЦ [1–8]. Помимо этого, были изданы 3 методических пособия, принималось участие в 43 международных и российских конференциях.

В рамках исследовательской работы над грантом РФФИ № 15-41-00092 «Фолксономический подход в разработке социально-ориентированных геоинформационных систем» был получен ряд результатов, наиболее значимые из которых следующие:

- Произведен анализ социально-ориентированных Российских и зарубежных разработок, направленных на удовлетворение информационных потребностей, а также и социально-ориентированных ГИС-продуктов. Установлены возможности и задачи, реализуемые данными продуктами, определен их функционал и средства разработки. Выявлены наиболее удачные решения, применительно к задаче удовлетворения информационных потребностей маломобильных групп граждан [1].
- Произведен анализ информационной потребности маломобильных граждан и людей с ограниченными возможностями. Выработаны решения по наиболее выгодной организации информационных ресурсов, направленных на удовлетворение информационной потребности определенной категории граждан.
- Произведен анализ средств разработки и выявление наиболее оптимальных подходов к созданию проблемно-ориентированных социальных информационных ресурсов [2].
- Спроектировано и реализовано программно-техническое решение для обеспечения возможности сотрудничества группы людей с целью накопления, хранения, анализа и обмена социально-ориентированными данными.
- Спроектирована и реализована интерактивная социально-ориентированная геоинформационная система, предназначенная для получения информации об объектах социальной инфраструктуры, направленная на удовлетворение потребностей маломобильных групп граждан и людей с ограниченными возможностями. На рисунке 1 представлен скриншот созданной геоинформационной системы для МГН, опубликованный в сети Интернет по адресу geowheel.ru [3].
- Изучены подходы классификации данных. Выявлены недостатки и преимущества методов классификации применительно к задачам сортировки и упорядочивания социально-ориентированных данных. Экспериментальным способом выявлены наиболее адекватные методы классификации данных с целью проведения анализа формальных признаков метода классификации. Онтология представлена как знаковая система, следующим образом: $ON = \langle C, R, L, P_C, P_{LC}, P_{LR} \rangle$, где $C = \{c_1, \dots, c_m\}$ – множество понятий в онтологии; $R = \{r_1, \dots, r_m\}$ – множество бинарных отношений $r_i(c_x, c_y)$ между понятиями; $L = \{l_1, \dots, l_m\}$ – множество лексических меток (словарь онтологии).
- Исследованы возможности комбинирования фолксономического и таксономического подходов классификации данных с целью выявления и объединения наилучших качеств

- каждого из подходов. Выработаны алгоритмические решения по объединению различных методов классификацию с целью более точного описания свойств и характеристик объектов предметной области. Фолксономическую структуру данных можно трактовать в виде множеств, обладающих свойствами: $O = \{o_i\}_{i=1}^I$ – множество объектов; $P = \{p_j\}_{j=1}^J$; множество признаков объектов $U = \{u_n\}_{n=1}^N$ – множество пользователей; первые два множества O, P генерируются третьим множеством U ; $O, P, U = \{o_i, p_j, u_n\}_{i=1, j=1, n=1}^{IJN}$
- Проанализированы особенности классификации слабосвязанных социально-ориентированных данных. Выявлены наиболее оптимальные подходы упорядочивания и сортировки контекстной и семантической информации применительно к социально-ориентированным данным.
 - Исследованы возможности динамического обновления свойств объектов предметной области. Выявлены методы и алгоритмы динамического обновления свойств и характеристик объектов для увеличения релевантности объекта классификации.
 - Проанализированы методы публичного использования информационных социально-ориентированных ресурсов. Исследованы возможности классификации одного объекта предметной области сразу несколькими аутентичными логически несвязными свойствами.
 - Исследованы возможности формально-контекстного анализа с целью организации классификации социально-ориентированных и пространственных данных и выявления наиболее оптимальных семантических решений. Для обозначения отношения между множествами объектов и признаков (O, P) введено множество $Y = \{< o_i, p_j >\}_{i=1, j=1}^{IJ}$, которое содержит информацию о том, каким набором из множества признаков наделен каждый объект из множества ОСИ, $Y \subseteq O \times P$, отношение $< o_i, p_j >$ означает, что объект o_i обладает признаком p_j . Формальный контекст выражен как $\mathbb{K} = (O, P, Y)$ и представлен в виде бинарной матрицы.
 - Изучены возможности установления связей между объектами предметной области, исследованы инструменты и алгоритмы поиска связей между данными. Реализован оригинальный подход поиска связности и близости социально-ориентированных данных с целью организации классификации данных.
 - Произведен анализ методов и возможностей построения математических моделей организации классификации социально-ориентированных данных с помощью инструментов формально-контекстного анализа. На основе двух множеств (объекты и их признаки) и известного бинарного отношения между ними, используя операторы Галуа, можно получить формальные понятия. Для произвольных $A \subseteq P$ и $B \subseteq O$ определены операторы Галуа: $A' = \{p \in P \mid \forall o \in A: (o Y p)\}$; $B' = \{o \in O \mid \forall p \in B: (o Y p)\}$. A' – это множество признаков, которыми наделены все объекты, представленные в множестве A . B' – это множество признаков, которыми наделены все объекты, представленные в множестве B . Формальное понятие (A, B) включает в себя множество объектов $A \subseteq O$ и множество признаков $B \subseteq P$, удовлетворяющих условию $B' = A$ и $A' = B$.
 - Построены новые алгоритмы, направленные на выявление наиболее оптимальных информационно-аналитических решений посредством анализа единиц естественного языка и речи в многообразии семантической информации социально-ориентированных данных.
 - Спроектирован и реализован программный модуль, осуществляющий классификацию данных на основании разработанных подходов и алгоритмов классификации данных. Произведена интеграция модуля в разработанную ГИС-систему. На рисунке 2 представлена структурно-функциональная схема геоинформационной системы для МГН в которой отражены элементы и модули ГИС.

- Произведен анализ эффективности исследования применительно к задаче удовлетворения информационной потребности маломобильных групп граждан и людей с ограниченными возможностями [4, 5].

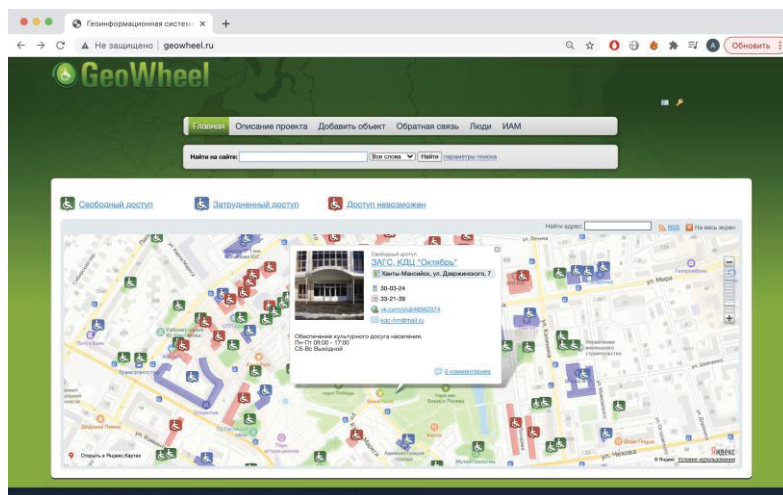


Рисунок 1 – Скриншот геоинформационной системы geowheel.ru

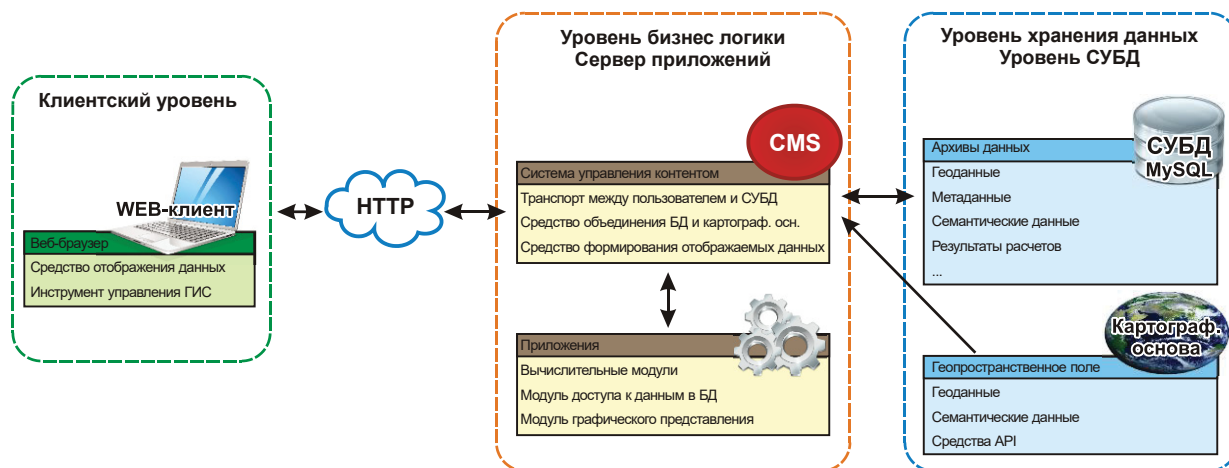


Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема системы

В рамках исследовательской работы над грантом РФФИ № 18-47-860016 «Компьютерное моделирование динамики социально-экономической системы ресурсодобывающего региона севера России с использованием теории роста, агентного подхода и ГИС-технологий» был получен ряд результатов, наиболее значимые из них следующие:

- Изучены современные подходы и возможности многоагентного моделирования социально-экономических систем и средств распределенного программирования с использованием ГИС-технологий.
- Исследованы технологии мобильных программных агентов для решения задач имитационного моделирования динамических процессов в сложных социально-экономических системах.
- Разработаны концептуальные агентно-ориентированные модели социально-экономических процессов (транспортных, производственных, демографических, и пр.), направленных на изучение влияния экономических параметров на качество жизни ресурсодобывающего региона севера России на примере одного города. Описаны алгоритмы, концептуальные и логические схемы модели, входные и выходные параметры [6].
- Разработана интерактивная агентно-ориентированная динамическая модель с использованием ГИС-технологий города северного региона России. На примере г. Ханты-Мансийска выполнено создание модели с помощью компьютерных средств имитационного

моделирования [6]. С созданной моделью проведен ряд экспериментов, выявлены различные сценарии работы модели, определены критические показатели, построены графики и диаграммы на основе полученных в ходе экспериментов данных. На рисунке 3 представлена структурно-функциональная схема разработанной модели.

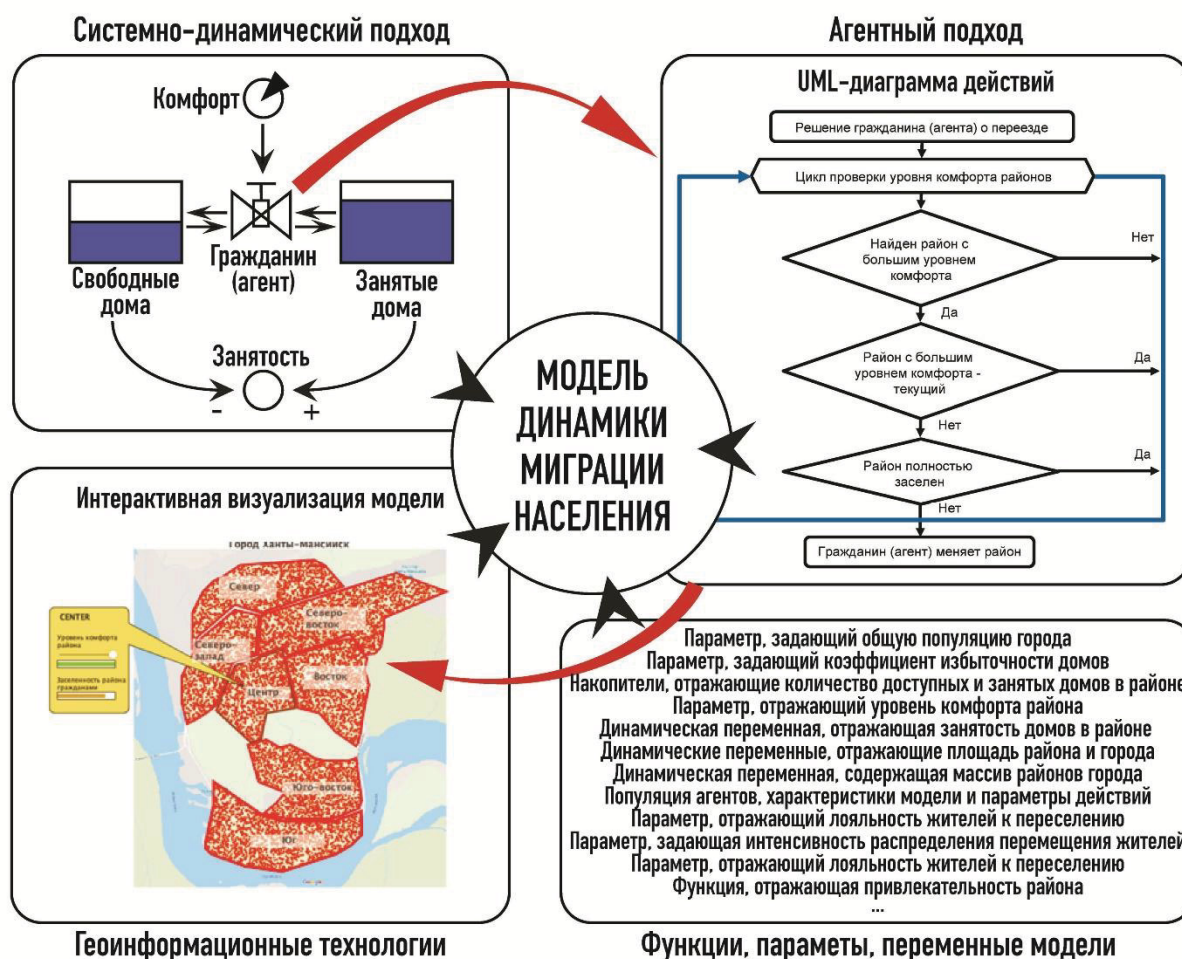


Рисунок 3 – Концептуальная схема модели

Уход из жизни В. В. Славского – руководителя проекта, произошел во время работы по гранту. Научное исследование и работа в рамках поставленных грантом задач продолжены членами коллектива и авторами данной статьи.

Литература

1. Mathematical model of social infrastructure based on the theory of formal concept analysis (FCA) / S. P. Semenov, V. V. Slavskii, A. O. Tashkin, A. S. Tyakunov // International journal of engineering & technical research. – 2017. – Vol. 7, Issue 8. – P. 2291.
2. Математическая модель объектов социальной инфраструктуры на основе теории анализа формальных понятий (АФП) / С. П. Семенов, В. В. Славский, А. О. Ташкин, А. С. Тякунов. – Текст : непосредственный // Инновации в жизнь : международный научный журнал. – 2017. – № 2 (21). – С. 175–186.
3. Семенов, С. П. Анализ информационных ресурсов, направленных на удовлетворение информационных потребностей людей с ограниченными возможностями / С. П. Семенов, В. В. Славский, А. О. Ташкин. – Текст : непосредственный // Вестник НГУ Серия: Информационные технологии. – 2015. – Т. 13, Вып. № 2. – С. 84–102.

4. Семенов, С. П. Разработка имитационной модели геоинформационной системы для маломобильных групп населения / С. П. Семенов, В. В. Славский, А. О. Ташкин. – Текст : непосредственный // Вестник Югорского Государственного университета. – 2017. – № 4. – С. 78–85.

5. Семенов, С. П. Оценка эффективности ГИС для маломобильных групп населения / С. П. Семенов, А. О. Ташкин. – Текст : непосредственный // Труды конференции МАК: «Математики – Алтайскому краю»: сборник трудов всероссийской конференции по математике с международным участием. – Барнаул : Издательство Алтайского университета, 2018. – С. 121–125.

6. Агентно-ориентированные имитационные модели для реальных городских процессов / С. М. Пронь, С. П. Семенов, А. О. Ташкин, Е. В. Токарева. – Текст : непосредственный // Труды конференции МАК: «Математики – Алтайскому краю»: сборник трудов всероссийской конференции по математике с международным участием. – Барнаул : Издательство Алтайского университета, 2019. – С. 169–173.

7. Самарина, О. В. Применение интегральных топографических характеристик в решении задач обработки данных дистанционного зондирования / О. В. Самарина, С. П. Семенов, В. В. Славский. – Текст : непосредственный // Математические заметки СВФУ. – 2020. – Т. 27, № 1. – С. 41–50.

8. Ташкин, А. О. Социально-ориентированные геоинформационные системы, модели и методы реализации / С. П. Семенов, В. В. Славский, А. О. Ташкин. – Текст : непосредственный // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции АУ «Югорский НИИ информационных технологий». – Ханты-Мансийск : ТехноКом, 2017. – С. 25–32.

УГОЛОВНО-ПРАВОВАЯ ПОЛИТИКА
В СФЕРЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ
ПРЕСТУПНОСТИ

В. А. Авдеев, О. А. Авдеева

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
КАК ВИД ОБЩЕСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ:
ДОКТРИНАЛЬНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ
И УГОЛОВНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ***

Предмет исследования составляют стратегические направления обеспечения общественной безопасности в Российской Федерации на современном этапе. Одним из направлений обеспечения общественной безопасности признается безопасность топливно-энергетического комплекса. В этой связи проводится анализ состояния, структуры и динамики преступности в сфере топливно-энергетического комплекса. Внимание концентрируется на вопросах реализации российской уголовно-правовой политики в сфере противодействия преступности в области топливно-энергетического комплекса с учетом норм международного права. Цель исследования заключается в раскрытии составов преступлений в сфере топливно-энергетического комплекса, составляющих преступность указанной направленности. Особое внимание уделяется рассмотрению комплекса мер по профилактике и предупреждению данного вида преступности с учетом взаимодействия мер уголовно-правового, криминологического и административно-правового характера. Методологическую основу исследования мер противодействия преступности в сфере топливно-энергетического комплекса образует совокупность общенаучных и частно-научных методов, предопределивших комплексный подход к изучению правовой политики в сфере противодействия указанному виду преступности с учетом происходящего реформирования в РФ социально-экономической системы. В ходе достижения цели исследования использовались специально-юридические методы познания, содействующие проведению анализа нормативно-правового регулирования юридической ответственности за топливно-энергетические преступления.

Основные результаты исследования содержат выводы и предложения, направленные на совершенствование мер по противодействию преступности в области топливно-энергетического комплекса, в том числе по повышению эффективности реализации механизма уголовно-правового регулирования общественных отношений, связанных с противодействием посягательствам топливно-энергетической направленности. Сформулированы выводы относительно методологических и организационно-практических аспектов правового воздействия на лиц, совершивших преступления в сфере топливно-энергетического комплекса.

Новизна темы исследования состоит в постановке проблемы, связанной с установлением причин и условий преступлений топливно-энергетической направленности как социально-негативного явления в современных условиях; определением ключевых направлений правовой политики в сфере противодействия преступности в сфере топливно-энергетического комплекса. Проведенное исследование раскрывает правовую природу преступности в топливно-энергетическом комплексе; особенности мер противодействия преступлениям топливно-энергетической направленности; тенденции нормативно-правового регулирования составов преступлений топливно-энергетического характера; специфику механизма правового регулирования юридической ответственности за топливно-энергетические преступления. Высказано мнение об отсутствии в отечественном законодательстве категориально-правовой

*Статья подготовлена в ходе проведения научного исследования «Стратегические направления совершенствования мер противодействия преступности в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре с учетом особенностей северного региона» за счет средств гранта на развитие научных школ с участием молодых ученых федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет» (№13-01-20/14).

оценки понятия преступлений топливно-энергетической направленности, предопределившем признание мер уголовно-правового воздействия в качестве стратегического ресурса противодействия топливно-энергетической преступности. Сформулированы выводы о факторах, обуславливающих законодательную регламентацию составов преступлений топливно-энергетической направленности, и специфике реализации наказания и иных мер уголовно-правового характера.

Ключевые слова: правовая политика, уголовный закон, общественная безопасность, топливно-энергетическая преступность, энергетическая безопасность, преступления в сфере топливно-энергетического комплекса, уголовно-правовые меры противодействия.

V. A. Avdeev, O. A. Avdeeva

ENERGY SECURITY AS A KIND OF PUBLIC SECURITY: DOCTRINAL-METHODOLOGICAL AND CRIMINAL-LEGAL ASPECTS OF IMPLEMENTATION**

The subject of the study is the strategic directions of ensuring public security in the Russian Federation at the present stage. One of the directions of ensuring public safety is recognized as the safety of the fuel and energy complex. In this regard, the analysis of the state, structure and dynamics of crime in the fuel and energy complex is carried out. Attention is focused on the implementation of the Russian criminal law policy in the field of combating crime in the fuel and energy complex, taking into account the norms of international law. The purpose of the study is to uncover the elements of crimes in the fuel and energy complex that constitute the crime of this orientation. Particular attention is paid to the consideration of a set of measures for the prevention and prevention of this type of crime, taking into account the interaction of measures of a criminal, criminological and administrative nature. The methodological basis for the study of measures to combat crime in the fuel and energy complex is a combination of general scientific and private scientific methods that have predetermined a comprehensive approach to the study of legal policy in the field of countering this type of crime, taking into account the ongoing reform of the socio-economic system in the Russian Federation. In the course of achieving the goal of the study, special legal methods of cognition were used to facilitate the analysis of the legal regulation of legal liability for fuel and energy crimes.

The main results of the study contain conclusions and proposals aimed at improving measures to counteract crime in the field of the fuel and energy complex, including improving the effectiveness of the implementation of the mechanism of criminal law regulation of public relations related to countering encroachments of the fuel and energy sector. Conclusions are formulated regarding the methodological and organizational-practical aspects of the legal impact on persons who have committed crimes in the field of fuel and energy complex.

The novelty of the research topic consists in the formulation of the problem associated with the establishment of the causes and conditions of crimes of fuel and energy orientation as a socially negative phenomenon in modern conditions; the definition of key areas of legal policy in the field of combating crime in the field of fuel and energy complex. The conducted research reveals the legal nature of crime in the fuel and energy complex; features of measures to counteract crimes of fuel and energy orientation; trends in the legal regulation of fuel and energy crimes; the specifics of the mechanism of legal regulation of legal liability for fuel and energy crimes. The opinion is expressed that there is no categorical and legal assessment of the concept of fuel and energy crimes in the domestic legislation, which predetermined the recognition of measures of criminal and legal influence as a

** The article was prepared in the course of the research "Strategic directions for improving measures to combat crime in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra, taking into account the peculiarities of the northern region" at the expense of a grant for the development of scientific schools with the participation of young scientists of the federal state budgetary educational institution of higher education "Yugra State university "(No. 13-01-20/14).

strategic resource for countering fuel and energy crime. Conclusions are formulated about the factors that determine the legislative regulation of fuel and energy crimes, and the specifics of the implementation of punishment and other measures of a criminal nature.

Key words: legal policy, criminal law, public safety, fuel and energy crime, energy security, crimes in the field of the fuel and energy complex, criminal and legal measures of counteraction.

Введение

Современное государственно-правовое строительство в Российской Федерации сопряжено с решением задачи, связанной с обеспечением ключевых направлений национальной безопасности. Одним из компонентов состояния защищенности человека, общества и государства от внешних и внутренних угроз признается общественная безопасность, неприкосновенность которой гарантируется Конституцией РФ, федеральными законами и нормативно-правовыми актами Президента РФ.

Особого внимания в условиях глобализации международной жизни заслуживают вопросы уголовно-правового обеспечения энергетической безопасности. Энергетическая безопасность рассматривается как состояние защищенности населения и экономики страны от угроз в области энергетики. Основу энергетики РФ образует топливно-энергетический комплекс, включающий угольную, газовую, нефтяную, торфяную отрасли, теплоснабжение и электроэнергетику. Основу энергетической инфраструктуры составляют Единая система газоснабжения, Единая энергетическая система и наиболее протяженная в мире (от арктической до субтропической зоны) система магистральных трубопроводов для транспортировки нефтепродуктов и нефти.

Стратегические направления правового обеспечения энергетической безопасности получили закрепление в Федеральном законе № 256-ФЗ от 21.07.2011 г. (ред. 24.04.2020 г.) «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса», устанавливающим правовые и организационные основы обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса [7]. Претворяются положения, предусмотренные Доктриной энергетической безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента РФ № 216 13.05.2019 г. и определяющей основные направления обеспечения в рамках национальной безопасности энергетической безопасности государства.

Стоит отметить, что Российская Федерация занимает одну из ведущих позиций в области энергообеспечения с учетом совокупного производства первичных энергоресурсов. Показательными в этой связи являются обладание более третью мировых запасов газа (36 %) и почти третьей частью его добычи (свыше 30 %); почти восьмой частью мировых запасов нефти (12 %) и почти шестой частью ее добычи (15 %). Весомыми на мировом уровне выглядят разведанные запасы угля (12 %), позволяющие России занимать по данному показателю третье место в мире после США и КНР. По мнению экспертов, потенциал нетрадиционных источников энергии в РФ оценивается порядка 270 млн тонн у. т.

В этой связи закономерно актуализируется проблема гармонизации законодательства и создания надлежащих правовых гарантий обеспечения незыблемости энергетической безопасности в контексте общепризнанных международно-правовых принципов [2; 9; 10]. Назрела необходимость изучения процесса влияния международных, национальных и региональных особенностей на уголовно-правовое обеспечение безопасности в топливно-энергетическом комплексе. Правового урегулирования требуют вопросы обеспечения энергетической безопасности в контексте взаимодействия норм международного права с национальными правовыми системами. Активному исследованию подлежат проблемы реализации положений, обозначенных в Европейской энергетической хартии. Актуализируется решение задачи по координации деятельности в ходе реализации энергетической политики стран-участниц. Значение приобретает наделение обязательствами суверенных государств в области экономического и

политического сотрудничества, содействующих дальнейшему развитию европейского и глобального энергетических рынков, в основу функционирования которых должны быть положены принципы ценообразования и недискриминации.

Вместе с тем исследование проблемы энергетической безопасности на национальном уровне указывает на необходимость обновления нормативно-правовой основы уголовно-правовых мер противодействия преступности в топливно-энергетическом комплексе. Принципиальное значение имеет определение концептуальных направлений в сфере профилактики, предупреждения и противодействия преступлениям в рамках топливно-энергетического комплекса.

Результаты и обсуждение

Анализ стратегических направлений российской уголовно-правовой политики показывает особое значение, придаваемое созданию эффективного механизма правовой защиты энергетической безопасности РФ. Реформирование национального уголовного законодательства сопровождается внесением многочисленных редакционных изменений и дополнений. Между тем обновление Уголовного кодекса РФ в части регламентации преступлений топливно-энергетической направленности не отражается на улучшении криминальной обстановки.

Государственно-правовое развитие Российской Федерации в современных условиях отличается в 2019–2020 гг. ростом преступности в целом и отдельных ее показателей [1]. Общий рост зарегистрированной преступности в России за 2020 г. составил 1,0 % [4]. Анализ данных официальной статистики показывает, что в 2020 году наметилась тенденция роста зарегистрированных абсолютных показателей отдельных видов преступлений топливно-энергетического характера. В современный период одной из угроз национальной безопасности признается хищение энергетических ресурсов, преступные посягательства на которые, причиняя многомиллионный ущерб, наносят вред охраняемым уголовным законом общественным отношениям в сфере экономики, общественной безопасности и т. д.

Несмотря на повышенную общественную опасность посягательств на общественные отношения в сфере топливно-энергетического комплекса, уголовный закон ограничивается минимальным числом норм, регламентирующих ответственность за преступления, посягающие на исследуемый объект уголовно-правовой охраны. Проблема уголовно-правового обеспечения энергетической безопасности в России осложняется спецификой регламентации составов преступлений, предметом которых признаются энергетические ресурсы, в разных разделах и главах Уголовного кодекса.

Различные родовые и видовые объекты посягательств, предусмотренные разделами VIII, IX и главами 21, 24 УК РФ, изначально ставят под сомнение точную юридическую оценку деяний, посягающих на собственность и общественную безопасность. Вследствие этого возникает необходимость научного осмысления глубины проблемы уголовно-правового регулирования общественных отношений, связанных с совершением предусмотренных п. «б» ч. 3 ст. 158, ст. 215–2153, 2171–2172 УК РФ преступлений.

Реализация современной уголовно-правовой политики сопровождается внесением редакционных изменений и дополнений в содержание отдельных составов преступлений топливно-энергетической направленности. В этой связи необходимо заметить, что преступным и наказуемым до принятия Федерального закона № ФЗ-114 от 23.04.2018 г. признавался еще один состав в топливно-энергетической сфере, регламентированный ст. 269 УК РФ. Уголовной ответственности подлежало лицо, совершившее нарушение правил безопасности при строительстве, эксплуатации или ремонте магистральных трубопроводов. Однако декриминализация указанного деяния привела к исключению из главы 27 УК РФ единственного состава преступления топливно-энергетической направленности. Федеральным законом № ФЗ-229 от 29.07.2018 г. изменению подлежала редакция норм, предусмотренных ст. 2153 УК.

Судебный департамент при Верховном Суде РФ позволяет раскрыть стадию осуждения и назначения наказания за преступления, предусмотренные п. «б» ч. 3 ст. 158, ст. 215–2153, 2171–2172 УК РФ. В первом полугодии 2020 года осуждению подлежало за преступления в сфере

топливно-энергетического комплекса: п. «б» ч. 3 ст. 158 УК РФ – 206 осужденных; ст. 215 УК РФ – отсутствуют осужденные; ст. 2151 УК РФ – отсутствуют осужденные; ст. 2152 УК РФ – 18 осужденных; ст. 2153 УК РФ – 257 осужденных; 2171-2172 УК РФ – трое осужденных. Абсолютный показатель составляет 484 осужденных за преступления топливно-энергетической направленности. В этой связи необходимо отметить, что полугодовой абсолютный показатель осужденных свидетельствует о значительном росте относительного показателя привлеченных к уголовной ответственности за посягательства в сфере топливно-энергетического комплекса.

Подтверждением служит сравнительно-правовой анализ данных официальной статистики за прежние годы, указывающих на относительно низкое количество привлеченных к уголовной ответственности за данные преступления. В 2019 году отмечаются следующие особенности зарегистрированных абсолютных показателей осужденных за преступления, посягающие на топливно-энергетический комплекс: п. «б» ч. 3 ст. 158 УК РФ – 380 осужденных; ст. 215 УК РФ – четверо осужденных; ст. 2151 УК РФ – один осужденный; ст. 2152 УК РФ – 33 осужденных; ст. 2153 УК РФ – 408 осужденных; 2171-2172 УК РФ – отсутствуют осужденные. Таким образом, имеющиеся официальные данные позволяют констатировать наличие 826 осужденных, привлеченных к уголовной ответственности за деяния, реализованные в топливно-энергетическом комплексе.

В 2018 году фиксируются следующие показатели осужденных: п. «б» ч. 3 ст. 158 УК РФ – 343 осужденных; ст. 215, 2151 УК РФ – отсутствуют осужденные; ст. 2152 УК РФ – 37 осужденных; ст. 2153 УК РФ – 38 осужденных; 2171-2172 УК РФ – отсутствуют осужденные; 269 УК РФ – отсутствуют осужденные. В результате осуждению подлежало за преступления в сфере топливно-энергетического комплекса 418 человек.

В 2017 году данные показатели осужденных были представлены следующим образом: п. «б» ч. 3 ст. 158 УК РФ – 477 осужденных; ст. 215, 2151 УК РФ – отсутствуют осужденные; ст. 2152 УК РФ – 37 осужденных; ст. 2153 УК РФ – 25 осужденных; ст. 2171-2172 УК РФ – отсутствуют осужденные; 269 УК РФ – один осужденный. Привлечению к уголовной ответственности было подвергнуто 540 человек.

В 2016 году имели место следующие относительные показатели осужденных за преступления в указанной сфере: ст. 215, 2151 УК РФ – отсутствуют осужденные; ст. 2152 УК РФ – 66 осужденных; ст. 2153 УК РФ – 16 осужденных; ст. 2171-2172 УК РФ – отсутствуют осужденные; 269 УК РФ – один осужденный. Соответственно, осуждено было 83 человека.

В 2012 году удельный вес осужденных за преступления в топливно-энергетическом комплексе характеризовался следующими особенностями: ст. 215, 2151 УК РФ – отсутствуют осужденные; ст. 2152 УК РФ – 56 осужденных; ст. 2153 УК РФ – 7 осужденных; 2171-2172 УК РФ – статистические данные отсутствуют; 269 УК РФ – один осужденный. Привлечению к уголовной ответственности подлежало 64 осужденных.

Анализ данных официальной статистики показывает различную динамику абсолютных показателей осужденных за преступления топливно-энергетической направленности: 2012 г. – 64 чел.; 2016 г. – 83 чел.; 2017 г. – 540 чел.; 2018 г. – 418 чел.; 2019 г. – 826 чел.; первое полугодие 2020 г. – 484 чел. В рамках абсолютных показателей имеет тенденция роста в течение 2016-2017 гг., снижения – в 2018 году, увеличения – в 2019 году. Полугодовая статистика осужденных 2020 года обуславливает необходимость обращения к относительным показателям привлеченных к уголовной ответственности, наглядно демонстрирующих современную динамику.

Таблица 1 – Динамика показателей осужденных за преступления топливно-энергетической направленности в Российской Федерации в 2016 – первом полугодии 2020 гг.

Виды преступлений топливно-энергетической направленности	Показатели осужденных в 2016 году	Показатели осужденных в 2017 году	Показатели осужденных в 2018 году	Показатели осужденных в 2019 году	Показатели осужденных в 2020 году (первое полугодие)
Кража из газопровода, нефтепродуктопровода, нефтепровода (п. «б» ч. 3 ст. 158 УК РФ)	-	0,0684 %	0,0521 %	0,0635 %	0,0879 %
Нарушение правил безопасности на объектах атомной энергетики (ст. 215 УК РФ)	-	-	-	0,00066 %	-
Прекращение или ограничение подачи электрической энергии либо отключение от других источников жизнеобеспечения (ст. 215 ¹ УК РФ)	-	-	-	0,000167 %	-
Приведение в негодность объектов жизнеобеспечения (ст. 215 ² УК РФ)	0,0089 %	0,0053 %	0,0056 %	0,0055 %	0,0076 %
Самовольное подключение к нефтепроводам, нефтепродуктопроводам и газопроводам либо приведение их в негодность (ст. 215 ³ УК РФ)	0,0021 %	0,0048 %	0,0057 %	0,0682 %	0,109 %
Нарушение требований обеспечения безопасности и антитеррористической защищенности объектов топливно-энергетического комплекса (ст. 217 ¹ УК РФ)	-	-	-	-	0,0012 %
Заведомо ложное заключение экспертизы промышленной безопасности (ст. 217 ² УК РФ)	-	-	-	-	-
Нарушение правил безопасности при строительстве, эксплуатации или ремонте магистральных трубопроводов (ст. 269 УК РФ)	0,00013 %	0,00014 %	-	-	-
Итого	0,011 %	0,0773 %	0,0634 %	0,138 %	0,206 %

Относительные показатели осужденных характеризуются тенденцией роста в 2019 – первой половине 2020 гг., что указывает на целесообразность осмысления детерминант развития преступлений топливно-энергетической направленности. Современная ситуация складывается таким образом, что увеличение абсолютных и относительных показателей в первом полугодии 2020 года фиксируется преимущественно за самовольное подключение к нефтепроводам, нефтепродуктопроводам и газопроводам или приведение их в негодность (52,2 %). В этой связи особого внимания заслуживает контингент привлеченных к уголовной ответственности по ч. 1 ст. 215³ УК РФ.

Анализ данной категории лиц позволяет отметить характерные их особенности, в том числе учитываемые судами при назначении наказания. Итак, за самовольное подключение к указанным энергоресурсам осуждению было подвергнуто 253 человека, ранее подлежавших

административному наказанию за идентичное деяние (0,108 %). Характеризуя данное преступление, стоит заметить, что более половины его совершили в сельской местности – 128 чел. (0,0546 %), незначительная часть в административных центрах субъектов РФ – 59 чел. (0,025 %). Каждый седьмой имел непогашенную и неснятую судимость на момент рассмотрения дела судом – 37 чел. (0,015 %).

Привлеченным к уголовной ответственности по ч. 1 ст. 215³ УК преимущественно назначались наказания, не связанные с изоляцией от общества (0,107 %). Назначение наказания сопровождалось учетом судом категории преступления небольшой тяжести, обусловившим предпочтение штрафа, который был назначен 152 осужденным (0,064 %). Общая сумма штрафа составила 1503000 руб. При этом штраф до 5 тыс. руб. назначен 49 осужденным (0,02 %), от 5 до 25 тыс. руб. – 99 осужденным (0,042 %), от 25 до 100 тыс. руб. – четверым осужденным (0,0017 %). Следующими по степени распространения видами наказаний признаются: обязательные работы, назначенные 62 осужденным (0,026 %); ограничение свободы – 19 чел. (0,008 %); условное осуждение к лишению свободы – 8 чел. (0,0034 %); условное осуждение к иным мерам – 7 чел. (0,0029 %). Лишение свободы на срок до одного года включительно было назначено двум осужденным (0,00085 %). Примечательным является тот факт, что за примирением с потерпевшим по ст. 25 УПК РФ прекращению подлежало 57 уголовных дел и 38 дел было прекращено в связи с назначением судебного штрафа как иной меры уголовно-правового характера (ст. 25¹ УПК РФ).

Рассмотрение демографических признаков осужденных позволяет отметить, что привлечению к уголовной ответственности подлежали лица мужского и женского полов в соотношении 203 осужденных мужчин (0,086 %) и 50 осужденных женщин (0,0213 %). Большую часть осужденных составила группа в возрасте 30–49 лет (0,0614 %), менее значительная была категория в возрасте 50 лет и старше (0,0375 %). Указанное преступление преимущественно совершается постоянными жителями данной местности (249 чел. – 0,106 %). Большинство осужденных имеет среднее общее образование (174 чел. – 0,074 %). Более четырех пятых осужденных за указанное преступление являются трудоспособными лицами без постоянного источника дохода (220 чел. – 0,093 %).

Минимальным является показатель осужденных по ч. 3 ст. 215³ УК РФ – два человека (0,00085 %). Принимая во внимание категорию преступления средней тяжести, назначению подлежало наказание в виде исправительных и обязательных работ. Казалось бы, иной подход правоприменительных органов должен быть использован при вынесении приговоров в отношении осужденных – 2 человека (0,00085 %) по ч. 4 ст. 215³ УК РФ, характеризующееся как тяжкое преступление. Однако одному осужденному было назначено условное осуждение к лишению свободы (0,00042 %).

Несколько другой подход используется судами при привлечении к уголовной ответственности за приведение в негодность объектов жизнеобеспечения. Осуждению по ч. 1 ст. 215² УК РФ подлежало четырнадцать человек. Несмотря на категорию преступления небольшой тяжести, большинство подлежало ответственности в виде обязательных работ (0,0025 %). Следующую группу составили осужденные к лишению свободы на определенный срок (0,0017 %). Стоит отметить, что остальные доли равным образом распределились между условно осужденными к лишению свободы (0,00042 %), осужденными к обязательным работам (0,00042 %), исправительным работам (0,00042 %), штрафу (0,00042 %), условному осуждению к иным мерам (0,00042 %).

Квалифицированные виды приведения в негодность объектов жизнеобеспечения меняют юридическую оценку деяния и формы реализации уголовной ответственности. Осуждению по ч. 2 ст. 215² УК РФ подлежало четыре человека. Категория преступления средней тяжести отразилась на подходе судов к избранию меры государственного принуждения. Доминирующее положение отводится категории осужденных к лишению свободы на определенный срок (0,0012 %). Менее значительным является показатель условно осужденных к лишению свободы (0,00042 %).

Внимания заслуживает подход судебных органов к определению вида наказания осужденным по частям второй и третьей ст. 217¹ УК. К уголовной ответственности по ч. 2 ст. 217¹ УК было привлечено два человека. Оба подлежали условному осуждению к лишению свободы (0,00085 %). Осуждению по ч. 3 ст. 217¹ УК РФ был подвергнут один человек, которому назначено лишение свободы на определенный срок (0,00042 %).

Проведенный анализ абсолютных и относительных показателей осужденных за преступления топливно-энергетической направленности позволяют отметить современные тенденции данных показателей. Вследствие этого актуализируется решение задачи эффективного противодействия преступности в топливно-энергетическом комплексе уголовно-правовыми средствами. Наиболее действенным инструментом уголовно-правового воздействия признается уголовное наказание. Определенное содействие достижению целей уголовной ответственности обеспечивают иные меры уголовно-правового характера. Вследствие этого именно адекватизация наказания и иных мер уголовно-правового характера способна обеспечить решение задачи специального предупреждения преступлений и компенсации причиненного ущерба. Проблема состоит в общем предупреждении преступности в топливно-энергетическом комплексе и исправлении осужденных за совершение указанных общественно опасных деяний.

Представляется необходимым обратить внимание на предлагаемые меры противодействия указанному виду преступности. В рамках общественной безопасности пристального внимания в современный период заслуживают укрепление режима безопасного функционирования, повышение уровня антитеррористической защищенности организаций оборонно-промышленного, топливно-энергетического химического, ядерного государственных комплексов, транспортной инфраструктуры, объектов жизнеобеспечения населения, повышения социальной ответственности органов обеспечения общественной безопасности [2].

Достижение энергетической безопасности предусматривает: 1) обеспечение надежности и гарантированности энергообеспечения государства в полном объеме; 2) классификацию полномочий и дифференциацию ответственности государственных органов, органов исполнительной власти, снабжающих энергетических компаний, хозяйствующих субъектов; 3) последовательного и надежного развития энергетической инфраструктуры; 4) своевременность и эффективность геолого-разведывательных мероприятий в области освоения новых месторождений; 5) исключение, представляющего угрозу энергетической безопасности, уровня износа основных производственных фондов; 6) стимулирование развития российского производства энергоносителей, повышения качества нефтепродуктов; 7) повышение уровня энергетической безопасности государства на основе развития международного сотрудничества.

Энергетическая политика должна быть ориентирована на создание способной к саморегулированию устойчивой системы региональной безопасности на основе модернизации территориальной структуры производства и потребления энергетических ресурсов. Реализация энергетической политики предполагает учет особенностей регионального развития в контексте с решением задач развития энергетики и экономики на общефедеральном уровне.

Заключение и выводы

В результате проведенного исследования можно заключить, что составной частью национальной безопасности признается разработанная и реализуемая система уголовно-правовых мер обеспечения энергетической безопасности. Энергетическая стратегия России направлена на эффективное использование энергетических ресурсов для повышения качества жизни, устойчивого роста и развития экономики, укрепления внешнеэкономических позиций. Ключевыми стратегическими целями государственной энергетической политики признаются: энергетическая безопасность; эффективность энергетической экономики; экологическая безопасность энергетики. Энергетическая безопасность рассматривается как состояние защищенности человека, общества и государства от угроз надежному энергетическому и топливному обеспечению.

К числу современных проблем обеспечения энергетической безопасности относятся: повышенная степень износа топливно-энергетического комплекса; низкий уровень инвестирования; зависимость отечественной энергетики и экономики от природного газа; несоответствие российского производственного потенциала топливно-энергетического комплекса мировому уровню и экологическим стандартам; недостаточное развитие энергетической инфраструктуры на Дальнем Востоке и в Восточной Сибири.

Основными стратегическими направлениями обеспечения общественной безопасности являются усиление роли государства как гаранта безопасности человека и прав собственности, совершенствование мер предупреждения преступности, развитие взаимодействия органов государственной власти и правопорядка с гражданским обществом.

В целях адекватного и своевременного реагирования на угрозы и вызовы энергетической безопасности должна быть создана эффективная система управления рисками, задачами которой являются: оценка, мониторинг, прогнозирование состояния энергетической безопасности; определение необходимых и достаточных ресурсов для уменьшения вероятности реализации угроз и минимизации возможных негативных последствий; установление задач и планирование мер по обеспечению энергетической безопасности.

На национальном уровне внимания заслуживает создание сбалансированного экономического пространства, обеспечивающих экономическую и энергетическую безопасность на федеральном и региональном уровнях. Координации требуют производственные и инвестиционные программы хозяйствующих субъектов топливно-энергетического комплекса для выявления вероятных ограничений и диспропорций в реализуемых программах.

Совершенствованию и развитию подлежат структура и деятельность федеральных органов исполнительной власти, система пресечения, предупреждения и выявления организованной преступности и иных преступных посягательств на общественную безопасность, права, свободы человека и собственность [5].

Корректирование необходимо в отношении стратегических программ развития субъектов РФ, исходя из условий развития федеральных округов, с целью согласования межтерриториальных предпочтений и интересов. Своевременное выявление проблемных вопросов действия рынков в области топливно-энергетического комплекса для принятия и осуществления мер законодательного и административного характера на соответствующих уровнях управления.

На региональном уровне предусматривается: участие органов власти с учетом региональных особенностей в обеспечении энергобезопасности; поддержание надлежащего уровня экологической и энергетической безопасности; обеспечение проведения мониторинга относительно состояния энергетической безопасности в рамках определенных административно-территориальных делений [8].

Таким образом, общественная безопасность обеспечивается посредством повышения эффективности деятельности правоохранительных органов и специальных служб, органов государственного контроля, совершенствования единой государственной системы профилактики преступности, разработки и использования специальных мер, направленных на уменьшение уровня криминализации общественных отношений.

Литература

1. Авдеев, В. А. Стратегические направления уголовно-правового обеспечения общественной безопасности в Российской Федерации / В. А. Авдеев. – Текст : непосредственный // Криминалист. – 2020. – № 2 (31). – С. 3–9.
2. Авдеев, В. А. Преступность террористического характера и экстремистской направленности в РФ: состояние и тенденции правового регулирования / В. А. Авдеев, О. А. Авдеева. – Текст : непосредственный // Российский судья. – 2018. – № 8. – С. 18–23.
3. Energy Charter = Энергетическая Хартия : сайт. – URL: <https://www.energycharter.org/> (дата обращения: 20.04.2021). – Текст : электронный.

4. Российская Федерация. Законы. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации : Указ Президента РФ № 683 : от 31.12.2015. – Текст : непосредственный // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2016. – № 1 (ч. II). – Ст. 212.
5. Российская Федерация. Законы. О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса : Федеральный закон № 256-ФЗ : от 21 июля 2011 г. редакция от 24.04.2020 : [принят Государственной Думой 6 июля 2011 года]. – Текст : непосредственный // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2011. – № 30 (Ч. 1). – Ст. 4604.
6. Российская Федерация. Законы. Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации : Указ Президента РФ № 216 : от 13 мая 2019 года. – Текст : непосредственный // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2019. – № 20. – Ст. 2421.
7. Международные акты о правах человека : сборник документов / составитель В. А. Карташкин, Е. А. Лукашева. – 2-е издание, дополненное. – Москва : НОРМА, 2002. – 944 с. – Текст : непосредственный.
8. Российская Федерация. Законы. О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года : Указ Президента РФ № 208 : от 13 мая 2017 года. – Текст : непосредственный // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2017. – № 20. – Ст. 2902.
9. Сергеев, Н. Н. Формирование системы энергетической безопасности Российской Федерации / Н. Н. Сергеев. – Текст : непосредственный // Вестник АГТУ. – 2016. – № 1. – С. 14–19.
10. Спицына, Т. А. Безопасность объектов топливно-энергетического комплекса в системе национальной безопасности Российской Федерации / Т. А. Спицына. – Текст : непосредственный // Вестник Саратовской государственной юридической академии. – 2017. – № 6 (119). – С. 150–156.

В. В. Забродина, А. Г. Меньшикова

**«ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЛУЖЕБНОГО ПОЛОЖЕНИЯ»
ПРИ СОВЕРШЕНИИ МОШЕННИЧЕСТВА: ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

Авторами в статье рассматриваются проблемы установления квалифицирующего признака «использование служебного положения» при совершении мошенничества. На основании анализа доктрины уголовного права, разъяснений высшей судебной инстанции, материалов конкретной судебной практики, определяется круг субъектов, относящихся к лицам, использующим служебное положение, а также порядок и механизм использования служебного положения при мошенничестве. По результатам исследования предлагается включить в действующее постановление Пленума Верховного Суда РФ «О судебной практике по делам о мошенничестве, присвоении и растрате» дополнительные разъяснения, раскрывающие понимание содержания признака «использование служебного положения». Авторами предлагается расширить понимание субъекта служебного мошенничества. Подобные положения будут способствовать единообразию в правоприменительной деятельности и помогут избежать ошибок в квалификации мошенничества с использованием служебного положения.

Ключевые слова: мошенничество, служебное положение, служебные полномочия, постановление Пленума Верховного Суда РФ.

V. V. Zabrodina, A. G. Menshikova

**«USE OF OFFICE POSITION» WHEN COMMITTING FRAUD:
PROBLEMS OF APPLICATION**

The authors in the article consider the problems of establishing the qualifying feature «use of official position» when committing fraud. Based on the analysis of the doctrine of criminal law, clarifications of the highest court, materials of specific judicial practice, a circle of subjects related to persons using their official position is determined, as well as the procedure and mechanism for using official position in fraud. According to the results of the study, it is proposed to include in the current resolution of the Plenum of the Supreme Court of the Russian Federation «On judicial practice in cases of fraud, misappropriation and embezzlement» additional clarifications that reveal the understanding of the content of the sign «use of official position». The authors propose to expand the understanding of the subject of official fraud. Such provisions will promote uniformity in law enforcement and help avoid qualifying fraud using official position errors.

Key words: fraud, official position, official powers, resolution of the Plenum of the Supreme Court of the Russian Federation.

В настоящее время в России мошенничество является одним из самых распространенных преступлений. Так, из всех зарегистрированных в 2020 г. преступлений против собственности, около 27,5 % приходится на мошенничество, а прирост данного преступления по сравнению с 2019 г. составил 30,5 % [1]. Наряду с высокими показателями статистических данных, в теории уголовного права и в правоприменительной практике существует немало проблем, относительно установления признаков мошенничества.

Одной из таких проблем является толкование и применение норм о «служебных мошенничествах». Мошенничество, совершенное лицом с использованием своего служебного положения (ч. 3 ст. 159 УК РФ), является особо квалифицированным составом преступления, что

свидетельствует о повышенной степени общественной опасности. Неправильное установление всех необходимых признаков рассматриваемого преступления влияет на квалификацию содеянного, а соответственно, и на назначение справедливого наказания.

Основной уголовно-правовой характеристикой «служебного мошенничества» является определение содержания понятия «использование служебного положения». В действующем уголовном законодательстве во многих составах преступления законодатель использует данный квалифицирующий признак, но ни в одной статье не раскрывает его содержание. Верховный Суд РФ при толковании норм о мошенничестве, раскрывая данный признак, указывает только лишь на характеристики субъекта, использующего такое положение, но не определяет механизм и порядок такого использования.

В постановлении Пленума Верховного Суда РФ от 30 ноября 2017 года № 48 «О судебной практике по делам о мошенничестве, присвоении и растрате» исчерпывающим образом определён круг лиц, относящихся к субъектам преступления, предусмотренного ч. 3 ст. 159 УК РФ. К таковым лицам высшая судебная инстанция относит:

- 1) должностных лиц, обладающих признаками, указанными в п. 1 примечания к ст. 285 УК РФ;
- 2) государственных и муниципальных служащих;
- 3) лиц, обладающих признаками, указанными в п. 1 примечания к ст. 201 УК РФ [2, п. 29].

Но, несмотря на исчерпывающий перечень субъектов, указанных в разъяснении Верховного суда РФ, в доктрине уголовного права до сих пор ведутся дискуссии относительно того, кого следует признавать лицом, использующим свое служебное положение. Единство мнений по данному вопросу отсутствует. С определенной долей условности можно выделить несколько позиций, сложившихся в доктрине уголовного права, по данному вопросу.

Так некоторые авторы, в частности, Н. А. Лопашенко и А. И. Рарог, полагают, что помимо названных в постановлении Пленума Верховного Суда РФ лиц, к субъектам, использующим свое служебное положение необходимо дополнительно относить лиц, не наделенных управленческими функциями [3, с. 387]. Н. А. Егорова придерживается аналогичной позиции и предлагает расширить понятие субъекта, использующего своего служебное положение, до «иных служащих организации, независимо от формы собственности» [4, с. 21]. Однако судебная практика не поддерживает такой расширительный подход и квалифицирует действия, руководствуясь действующим разъяснением Пленума Верховного Суда РФ.

Так, Президиум Кемеровского областного суда рассмотрел уголовное дело по кассационному определению прокурора о пересмотре приговора Прокопьевского районного суда Кемеровской области в отношении Л., которым он осужден по ч. 3 ст. 159 УК РФ.

Л., являясь механиком вспомогательной горноспасательной команды шахтоуправления, путем обмана совершил хищение имущества, принадлежащего АО, с использованием служебного положения. Прокурор просил переквалифицировать действия Л., так как он не обладал признаками специального субъекта. Л. не являлся должностным лицом, государственным или муниципальным служащим, не был наделен управленческими функциями. Президиум с доводами прокурора согласился и изменил приговор в отношении Л., переквалифицировав его действия на ч. 1 ст. 159 УК РФ [5].

Проанализировав приговор Прокопьевского районного суда Кемеровской области, можно прийти к выводу о том, что суд первой инстанции должным образом не установил признаки специального субъекта мошенничества. В приговоре конкретизированы только действия, которые совершал Л. для совершения хищения чужого имущества, но не указано, что Л. являлся должностным лицом, государственным или муниципальным служащим либо лицом, выполняющим управленческие функции в организации [6].

На наш взгляд, органы предварительного расследования и суд первой инстанции допустили ошибку и не учли действующие разъяснения высшей судебной инстанции, признав Л. лицом, использующим свое служебное положение. Следует согласиться с переквалификацией Президиумом действий Л. Судом первой инстанции необоснованно установлено наличие в действиях Л. квалифицирующего признака, предусмотренного ч.3 ст.159 УК РФ. Указанное

нарушение существенно повлияло на квалификацию содеянного, в связи с чем, повлекло назначение чрезмерно строгого наказания.

Аналогичную ошибку допустили органы предварительного следствия по уголовному делу в отношении А., которая обвинялась в совершении мошенничества с использованием служебного положения. А., работая в должности почтальона, взяла из картотеки квитанцию почтового перевода, в которой собственноручно вписала вымышленные данные, тем самым оформив документ на получение денежных средств. Затем А. подошла к начальнику почтового отделения и попросила выдать ей денежные средства, якобы для ее хорошего знакомого. Начальник почтового отделения, введенная в заблуждение, по оформленному документу из кассы передала денежные средства обвиняемой.

Суд, рассмотрев материалы уголовного дела, пришел к выводу, что органы предварительного следствия допустили ошибку в квалификации содеянного. Подсудимая выполняла функции почтальона по заключенному трудовому договору, в силу которого она не обладала управленческими, организационно-распорядительными или административными функциями. Следовательно, вменение признака «с использованием своего служебного положения» является излишним [7].

Б. В. Волженкин соглашался с общепринятой точкой зрения, сложившейся в правоприменительной практике, считая, что лицами, использующими свое служебное положение, являются должностные лица, государственные и муниципальные служащие, а также лица, выполняющие управленческие функции в организации. С позиции автора, лица, не наделенные управленческими функциями, должны нести ответственность, как общие субъекты уголовного права [8, с. 285].

Также в литературе встречается точка зрения, согласно которой необходимо ограничивать круг лиц, которые используют свое служебное положение для совершения мошенничества, относя к ним лишь должностных лиц и лиц, выполняющих свои управленческие функции в коммерческой или иной организации. А. В. Шнитенков считает, что совершение преступления государственным или муниципальным служащим не свидетельствует о повышенной опасности преступления, соответственно, таким субъектам не нужно вменять данный квалифицирующий признак [9].

С данной точкой зрения, на наш взгляд, согласиться нельзя, так как служебные полномочия государственного или муниципального служащего значительно повышают степень общественной опасности содеянного. А это, в свою очередь, должно учитываться при квалификации и назначении виновному справедливого наказания. Даже оставаясь рядовым служащим, у субъекта есть возможность оказать содействие, повлиять, принять решение, действуя в рамках своих полномочий.

Странной выглядит позиция Верховного Суда РФ в той части, что специальным субъектом признают служащих, которые не являются должностными лицами, но не признают лиц, которые не являются управленцами. Поэтому нам представляется интересной позиция тех авторов, которые придерживаются расширительного подхода в определении субъекта служебного мошенничества. Использование не только властных и управленческих, но и других служебных и трудовых функций, значительно упрощает введение потерпевших в заблуждение по сравнению с «классическим» мошенничеством. Например, любому рядовому сотруднику организации намного проще похитить имущество, чем любому постороннему лицу.

Необходимо обратиться к определению содержания признака использования служебного положения при совершении мошенничества. Данный вопрос в настоящее время является предметом острой дискуссии среди юристов и правоведов. При такой форме хищения, как мошенничество, способом совершения деяния выступает обман или злоупотребление доверием, использование служебного положения является дополнительным способом совершения преступления, который значительно облегчает преступнику ввести в заблуждение потерпевшего и заслужить его доверие.

В научной литературе применительно к определению содержания служебного положения существуют в основном два подхода. Некоторые трактуют данный признак состава преступления в узком смысле, некоторые в широком, но сколько бы точек зрения не было предложено, понятие «использование служебного положения» так и не нашло закрепления в уголовном законодательстве.

Сторонники узкого толкования отождествляют использование служебного положения исключительно со служебными полномочиями. Так, А. Н. Игнатов применительно к мошенничеству под использованием лицом своего служебного положения понимает «действия лица в пределах своих служебных полномочий» [10, с. 411]. Е. Н. Карабанова придерживается аналогичной точки зрения и под использованием служебного положения понимает действия или бездействия лица, которое совершается только в рамках служебной компетенции [11, с. 52]. С. В. Архипов считает, что мошенничество с использованием служебного положения будет иметь место только в том случае, если лицо выполняет организационно-распорядительные или административно-хозяйственные функции, не включая в этот круг профессиональные обязанности [12, с. 10].

Теоретики, которые придерживаются широкого подхода, не ограничивают служебное положение только служебными полномочиями. Так, Б. В. Волженкин предлагает учитывать иные возможности субъекта, которые исходят из занимаемого служебного положения и могут использоваться при совершении преступления [13, с. 290]. В. В. Сверчков также считает, что лицо может использовать не только своё служебное положение, но и профессиональный статус [14, с. 461]. А. В. Рясов под использованием служебного положения понимает совершение действий, которые не связаны с обязанностями лица по его службе, а основываются только на его авторитете и связях [15, с. 20]. В. В. Романова придерживается похожей позиции и считает, что одна из распространенных форм использования лицом служебного положения – это оказание влияния на других лиц в силу значимости и авторитета занимаемой должности [16, с. 28]. Но не все авторы согласны с указанной точкой зрения, в частности, по мнению Н.В. Мирошниченко использование авторитета не может являться формой использования служебного положения [17, с. 125].

В постановлении Пленума Верховного Суда РФ № 48 «О судебной практике по делам о мошенничестве, присвоении и растрате» не раскрывается содержание и порядок использования служебного положения. На наш взгляд, это является существенным недостатком, так как правоприменительные органы на свое усмотрение определяют данный признак, зачастую, ограничиваясь лишь установлением круга служебных полномочий виновного, не конкретизируя, в чем конкретно выразилось использование таких полномочий.

Суд апелляционной инстанции Липецкого областного суда рассмотрел уголовное дело по апелляционному представлению государственного обвинителя на постановление суда первой инстанции, которым уголовное дело в отношении Т., обвиняемого в совершении преступления, предусмотренном ч. 3 ст. 159 УК РФ, было возвращено прокурору для устранения препятствий.

В частности, одним из таких препятствий, суд признал то, что в обвинительном заключении не было конкретизировано, в чем выражалось использование служебных полномочий Т. В апелляционном представлении прокурор просит отменить постановление суда, поскольку считает вывод суда необоснованным. Аргументируя свою позицию, прокурор утверждает, что действующее постановление Пленума Верховного Суда РФ не содержит указания на то, что при мошенничестве с использованием служебного положения, необходимо конкретизировать, в чем конкретно выражалось использование служебного положения, и какие именно служебные полномочия использовал обвиняемый для совершения мошенничества.

Суд апелляционной инстанции, соглашаясь с позицией прокурора и отменяя постановление суда первой инстанции, приходит к выводу, что действительно в п. 29 постановления Пленума Верховного Суда РФ № 48 «О судебной практике по делам о мошенничестве, присвоении и растрате» указано лишь то, кого следует понимать под лицами, использующими свое

служебное положение. Таким образом, суд считает, что необходимо устанавливать только признаки специального субъекта, которые указаны в разъяснении суда высшей инстанции, конкретизации какие именно служебные полномочия использовал подсудимый, и как они повлияли на достижение преступного результата, не требуется [18].

Мы не согласны с позицией суда апелляционной инстанции и считаем, что при мошенничестве для вменения квалифицирующего признака «с использованием служебного» положения необходимо в совокупности устанавливать и признаки специального субъекта, и те полномочия, которые использовал виновный для совершения хищения.

Но, по нашему мнению, уголовно-правовая характеристика понятия «служебное положение» не должна ограничиваться использованием лицом только служебных полномочий для совершения мошенничества. Служебное положение означает наличие определенного авторитета в силу службы и профессионального статуса лица. Конечно, не стоит расширять круг субъектов до бесконечности, не следует относить к кругу субъектов служебного мошенничества лиц, исполнение профессиональных обязанностей которых не подразумевает ни наличия авторитета, ни принятия решений, позволяющих использовать свое положение для осуществления обмана или злоупотребления доверием.

Необходимо отметить, что и в правоприменительной практике наблюдаются случаи отступления от стандарта, заложенного в п. 29 постановления Пленума Верховного Суда РФ № 48. В частности, встречаются случаи вменения квалифицирующего признака, предусмотренного ч. 3 ст. 159 УК РФ, лицам, не обладающим соответствующими признаками, указанными в разъяснении высшей судебной инстанции.

Вызывает интерес приговор Клинского городского суда Московской области в отношении Ш., обвиняемой в совершении преступления, предусмотренного ч. 3 ст. 159 УК РФ. Ш. на основании трудового договора выполняла трудовые функции кредитного специалиста в финансовой организации. Ш., имея умысел на мошенничество, находясь на рабочем месте, заключила от имени клиента без его ведома договор потребительского кредита. Клиент, не намереваясь заключать договор, будучи обманутым Ш., путем умалчивания о совершаемых ею действиях, подписал указанный кредитный договор. Затем Ш. незаконно завладела картой, получив тем самым доступ к банковскому счету, с которого в дальнейшем сняла денежные средства.

Органами предварительного следствия действия Ш. были квалифицированы по ч. 3 ст. 159 УК РФ с вменением признака «с использованием служебного положения». Суд первой инстанции согласился с квалификацией содеянного и признал Ш. виновной в совершении преступления, предусмотренного ч. 3 ст. 159 УК РФ [19].

В приговоре суда не указано о том, что Ш. обладала признаками специального субъекта мошенничества, Ш. не являлась должностным лицом и не была наделена управленческими функциями. В приговоре указано, лишь то, что Ш. выполняла свои трудовые функции, воспользовалась своим служебным положением и совершила мошенничество. Таким образом, в суде не были установлены признаки, которые указаны в п. 29 постановления Пленума Верховного Суда РФ «О судебной практике по делам о мошенничестве, присвоении и растрате». Но, на наш взгляд, с квалификацией суда следует согласиться. Так как Ш., оставаясь рядовым кредитным специалистом, имела, как правило возможность оказать содействие, повлиять на клиента и принять решение о заключении договора потребительского кредита. Справедливо А. И. Бойцов отмечает, что «одно дело, когда физическое лицо, полагаясь только на свои особенности, вводит потерпевшего в заблуждение, и совсем другое, когда это делает служащий, опираясь на свое положение и профессиональный статус [20, с. 638].

Действительно, Ш., выполняя свои трудовые функции, существенно облегчила процесс совершения хищения путем обмана, значительно увеличилась шансы доведение преступления до конца. Если бы Ш. не выполняла свои трудовые функции кредитного специалиста, вряд ли бы ей удалось совершить мошенничество таким способом.

Таким образом, «использование служебного положения» должно включать в себя несколько составляющих:

1. использование лицом своих служебных полномочий, профессионального статуса и трудовых функций, которые значительно облегчают совершение мошенничества;
2. использование лицом авторитета занимаемой должности, служебных связей в целях оказания влияния на других лиц для облегчения совершения мошенничества.

Так, в Екатеринбурге директор Института геофизики был осужден за совершение мошенничества с использованием служебного положения. Согласно фактическим обстоятельствам, указанным в приговоре суда, М., используя занимаемую должность, убедил подчиненного сотрудника, желающего уволиться, написать заявление о переводе на $\frac{1}{2}$ ставки. После чего М. дал распоряжение главному специалисту отдела кадров подготовить приказ о переводе работника на половину ставки. Специалист, исходя из того, что находилась в подчинении М., и не была осведомлена о его преступных действиях подготовила приказы. Также М. давал распоряжения лаборанту о внесении в таблицы учета рабочего времени фамилию работника, который числился на $\frac{1}{2}$ ставки, но фактически не исполнял свои обязанности. Впоследствии этому сотруднику на карту перечислялась заработная плата, которой незаконно завладевал директор [21].

Таким образом, в данном примере, М. для совершения мошенничества использовал свой авторитет, вытекающий из занимаемой должности. У сотрудников, которым М. давал распоряжения об издании приказов и внесении сведений, не соответствующих действительности, не возникало сомнений относительно правомерности выполнения распоряжений директора.

Мы считаем, что степень общественной опасности «служебного» мошенничества существенно повышается, не только за счет того, что лица используют свои служебные полномочия, но и оказывают влияние, исходя из значимости и авторитета занимаемой должности, на других лиц, в целях совершения мошенничества.

Проанализировав уголовно-правовую литературу, действующее законодательство и судебную практику, можно прийти к выводу, что в настоящее время существует несколько проблем, касающихся квалификации состава преступления, предусмотренного ч. 3 ст. 159 УК РФ. В частности, среди теоретиков до сих пор продолжаются дискуссии относительно того, каких лиц признавать субъектами «служебного» мошенничества, судебная практика также допускает ошибки в установлении признаков данного специального субъекта мошенничества. Вторая проблема заключается в том, что в законодательстве и разъяснениях Пленума Верховного Суда РФ относительно мошенничества, отсутствует конкретное и точное определение понятия «использование служебного положения».

Для решения указанных проблем, по нашему мнению, следует внести изменения в действующее постановление Пленума Верховного Суда РФ № 48 «О судебной практике по делам о мошенничестве, присвоении и растрате».

В частности, необходимо расширить круг субъектов, использующих свое служебное положение. Для этого следует дополнить перечень субъектов, закрепленных в п. 29 постановления Пленума Верховного Суда РФ № 48: «иными служащими организации, независимо от формы собственности, не наделенными управленческими функциями, но использующими свои трудовые функции для облегчения совершения мошенничества или присвоения и растраты».

Представляется целесообразным в постановлении Пленума Верховного Суда РФ № 48 закрепить разъяснение «использования служебного положения». К которому предлагается отнести – «использование лицом в целях совершения мошенничества или присвоения и растраты своих властных и иных служебных полномочий, профессионального статуса и трудовых функций, а равно наличие возможности оказать влияние, исходя из значимости и авторитета занимаемой должности, на потерпевших, а также на действия и решения иных лиц, находящихся в служебной зависимости».

А также необходимо в постановление Пленума Верховного Суда РФ № 48 добавить пункт следующего содержания: «при установлении признака «использование служебного положе-

ния» необходимо конкретизировать, какие служебные полномочия и трудовые функции использовало виновное лицо для совершения преступления, и как они повлияли на достижение преступного результата».

Данные предложения позволят исключить произвольное толкование квалифицирующего признака мошенничества «использование служебного положения» со стороны правоприменительных органов и будут способствовать единообразию в следственной и судебной практике при квалификации «служебного» мошенничества.

Литература

1. Краткая характеристика состояния преступности в Российской Федерации за январь–декабрь 2020 года. – Текст : электронный // Министерство внутренних дел Российской Федерации. – URL: <https://мвд.рф/reports/item/22678184/> (дата обращения: 11.05.2021).
2. О судебной практике по делам о мошенничестве, присвоении и растрате : Постановление Пленума Верховного Суда РФ № 48 : от 30.11.2017. – Текст : непосредственный // Российская газета. – 2017. – 11 декабря. – № 280.
3. Уголовное право России: части Общая и Особенная : учебник / под редакцией А. И. Рарога. – 6-е издание. – Москва : Проспект, 2016. – 442 с. – Текст : непосредственный.
4. Егорова, Н. А Ответственность за «служебные» мошенничества: необходимость новых правовых подходов / Н. А. Егорова. – Текст : непосредственный // Российская юстиция. – 2014. – № 8. – С. 19–22.
5. Постановление Президиума Кемеровского областного суда по делу № 44У-146/2017 : от 16.10.2017. – Текст : электронный // КонсультантПлюс. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=SOSB&n=216713#014917283525114167> (дата обращения: 10.04.2021).
6. Приговор № 1-73/2017 по делу № 1-73/2017 : от 29 мая 2017 года. – Текст : электронный // СудАкт: судебные и нормативные акты РФ. – URL: https://sudact.ru/regular/doc/xrXiNH9CUp6r/?regular-txt=®ular-case_doc=®ular- (дата обращения: 03.03.2021).
7. Приговор № 1-41/2015 1-584/2014 по делу № 1-41/2015 : от 19 января 2015 года // СудАкт: судебные и нормативные акты РФ. – URL: https://sudact.ru/regular/doc/oXl3yvx6uRQv/?page=4®ular-court=®ular-date_from=®ular-case_doc=®ular- (дата обращения: 03.03.2021).
8. Волженкин, Б. В. Служебные преступления / Б. В. Волженкин. – Москва : Юрист, 2000. – 368 с. – Текст : непосредственный.
9. Шнитенков, А. В. Использование служебного положения как квалифицирующий признак преступлений / А. В. Шнитенков. – Текст : непосредственный // Противодействие преступности: уголовно-правовые, криминологические и уголовно-исполнительные аспекты : материалы III Российского конгресса уголовного права, 29–30 мая 2008 года / ответственный редактор В. С. Комиссаров. – Москва : Проспект, 2008. – С. 333.
10. Игнатов, А. Н. Комментарий к Уголовному кодексу РФ / А. Н. Игнатов. – 5-е издание, переработанное и дополненное ; под общей редакцией В. М. Лебедева. – Москва : Норма, 2007. – 412 с. – Текст : непосредственный.
11. Карабанова, Е. Н Проблемы квалификации сложных служебных преступлений / Е. Н. Карабанова. – Текст : непосредственный // Уголовное право. – 2016. – № 3. – С. 50–56.
12. Архипов, А. В. Хищение, совершенное с использованием своего служебного положения / А. В. Архипов. – Текст : непосредственный // Уголовное право. – 2016. – № 6. – С. 9–17.
13. Волженкин, Б. В. Служебные преступления / Б. В. Волженкин. – Москва : Юрист, 2000. – 368 с. – Текст : непосредственный.

14. Сверчков, В. В. Уголовное право. Общая и Особенная части : учебник / В. В. Сверчков. – 3-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Юрайт, 2013. – 589 с. – Текст : непосредственный.

15. Рясков, А. В. Признак «использование служебного положения» и его уголовноправовая оценка по уголовному законодательству России : специальность 12.00.08 «Уголовное право и криминология; уголовно-исполнительное право» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата юридических наук / А. В. Рясков. – Ростов-на-Дону, 2010. – 25 с. – Текст : непосредственный.

16. Романова, В. В. К вопросу о соотношении понятий «служебные полномочия» и «служебное положение» / В. В. Романова. – Текст : непосредственный // Криминалист. – 2016. – № 2. – С. 27–30.

17. Мирошниченко, Н. В. Совершение преступлений лицом с использованием служебного положения: проблемы квалификации и перспективы законодательной регламентации / Н. В. Мирошниченко. – Текст : непосредственный // Общество и право. – 2013. – № 3(45). – С. 122–126.

18. Апелляционное постановление № 22-13/2018 22-1783/2017 по делу № 22-13/2018 : от 11 января 2018 года. – Текст : электронный // СудАкт: судебные и нормативные акты РФ. – URL: https://sudact.ru/regular/doc/4No5Z2nDIpbV/?page=2®ular-court=®ular-date_from=®ular-case_doc=®ular- (дата обращения: 19.05.2021).

19. Приговор № 1-192/2020 по делу № 1-192/2020 : от 2 июля 2020 года. – Текст : электронный // СудАкт: судебные и нормативные акты РФ. – URL: https://sudact.ru/regular/doc/RpaBМao2tvd1/?page=2®ular-court=®ular-date_from=®ular-case_doc=®ular (дата обращения: 15.05.2021).

20. Бойцов, А. И. Преступления против собственности / А. И. Бойцов. – Санкт-Петербург : Юридический центр Пресс, 2002. – 775 с. – Текст : непосредственный.

21. Приговор № 1-83/2015 по делу № 1-83/2015 : от 1 декабря 2015 года. – Текст : электронный // Общество научных работников (ОНР). – URL: <http://onr-russia.ru/sites/default/files/prigovor.pdf> (дата обращения: 12.05.2021).

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 18-29-16001*

Е. В. Щелконогова

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УГОЛОВНОЕ ПРАВО: ВОПРОСЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Развитие цифровых технологий и их взаимодействие с уголовным правом имеют крайне важное значение для законодательства, правоприменения, изучения уголовного права. В связи с чем автором в статье поставлена цель исследовать влияние цифровизации на уголовное право как отрасль права и как учебную дисциплину. Методологическую основу данного исследования составляет совокупность методов научного познания, среди которых основное место занимают методы системности, анализа и сравнительно-правовой. Обоснованная в работе авторская позиция опирается на законодательство и мнения компетентной научной среды по вопросу о том, каким образом искусственный интеллект может быть полезен при оценке деяния в качестве преступления, какие новые составы преступлений появились в связи с развитием цифровых технологий. При помощи правового анализа положений теории права исследуется вопрос о том, может ли искусственный интеллект быть субъектом права и нести ответственность в случае причинения им вреда объекту уголовно-правовой охраны.

Ключевые слова: цифровые технологии, искусственный интеллект, квалификация преступлений, компьютерные преступления, образование.

E. V. Schelkonogova

DIGITAL NECHNOLOGY AND CRIMINAL LAW: INTERACTION ISSUES

The development of digital technologies and their interaction with criminal law are extremely important for lawmaking, law enforcement, and the study of criminal law. In this connection, the author in the article aims to investigate the impact of digitalization on criminal law as a branch of law and as an academic discipline. The methodological basis of this research is a set of methods of scientific knowledge, among which the main place is occupied by the methods of consistency, analysis and comparative legal. The author's position grounded in the work is based on the legislation and the opinions of the competent scientific community on the question of how artificial intelligence can be useful in assessing an act as a crime, what new offenses have appeared in connection with the development of digital technologies. With the help of legal analysis of the provisions of the theory of law, the question of whether artificial intelligence can be a subject of law and be liable in the event of harm to the object of criminal law protection is investigated.

Key words: digital technologies, artificial intelligence, qualification of crimes, computer crimes, education.

Информация ценилась в обществе во все времена, ведь, как известно, кто владеет информацией, то владеет миром. В современном обществе тема информации, нарушения информационных границ приобрела особо актуальное значение с развитием Интернета, социальных сетей, безопасности в банковской сфере, безопасности государства. С одной стороны, развитие информационных технологий, безусловно, является благоприятной тенденцией развития общества, которую можно назвать одним из главных направлений прогрессивного развития

человечества. С другой стороны, – возникает проблематика регулирования появляющихся в связи с цифровизацией новых общественных отношений, вопросы охраны и безопасности субъекта этих отношений выходят на первый план.

Так, статистика говорит о том, что за 2020 год было зарегистрировано 165 преступлений, предусмотренных главой 28 УК РФ «Преступления в сфере компьютерной информации». В 2019 году этот показатель составил 129 преступлений, а в 2018 году – 202 [7]. Хотя можно выявить несколько аспектов взаимодействия уголовного права и цифровых технологий, и не ограничиваться лишь компьютерными преступлениями. В частности:

- Уголовное право как охранительная отрасль защищает общественные отношения в сфере информационной безопасности.
 - В частности, охраняет права граждан на конфиденциальность личной информации (например, в рамках статьи 137 о нарушении неприкосновенности частной жизни).
 - В некоторых случаях согласно уголовному кодексу лицо обязано сообщить в компетентные органы определенную информацию, в противном случае его бездействие будет расцениваться как преступление (например, ст. 316 – укрывательство преступлений) либо сообщить правдивую информацию (ст. 306 – заведомо ложный донос, ст. 307 – заведомо ложное показание, заключение эксперта, специалиста или неправильный перевод).
- Цифровые технологии могут расцениваться как способ или средство совершения преступления (например, при мошенничестве с использованием компьютерных технологий ст. 159.3, ст. 159.6 УК РФ).
- Возможно создание алгоритмов квалификации преступлений как вспомогательный механизм для правоприменителя.
- Также актуальным является вопрос о том, может ли искусственный интеллект нести уголовную ответственность при причинении вреда в качестве субъекта права.
- Если рассматривать уголовное право не только как отрасль права, но и как учебную дисциплину, то цифровые технологии могут помочь при дистанционном обучении уголовному праву в вузах или при создании презентаций лекций.

С 2006 года в РФ действует федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»[2]. В пункте 7 ст. 2 которого закреплено, что конфиденциальность информации – это обязательное для выполнения лицом, получившим доступ к определенной информации, требование не передавать такую информацию третьим лицам без согласия ее обладателя.

В УК РФ можно выделить несколько статей корреспондирующих данной норме, охраняющих ее соблюдение участниками правоотношений. К таким статьям в первую очередь можно отнести составы, в которых информация является предметом или средством совершения преступления. Так, ч. 1 ст. 137 «Нарушение неприкосновенности частной жизни» закрепляет в качестве преступного деяния незаконное собирание или распространение сведений о частной жизни лица, составляющих его личную или семейную тайну, без его согласия либо распространение этих сведений в публичном выступлении, публично демонстрирующемся произведении или средствах массовой информации. Статья 138 предусматривает ответственность за нарушение тайны переписки, телефонных переговоров, почтовых, телеграфных или иных сообщений, а статья 155 «Разглашение тайны усыновления (удочерения)» предусматривает ответственность за разглашение тайны усыновления (удочерения) вопреки воле усыновителя, совершенное лицом, обязанным хранить факт усыновления (удочерения) как служебную или профессиональную тайну, либо иным лицом из корыстных или иных низменных побуждений [1]. В этих составах информация также является предметом преступления и ее незаконное разглашение охраняется нормами УК РФ.

Статистические данные показывают, что данные составы совершаются гражданами в не-малом количестве. В частности, в 2020 году по ч. 1 ст. 137 было осуждено 169 человек, к 70 из

которых применены принудительные меры медицинского характера в связи с невменяемостью, а 63 осужденным назначен штраф в качестве наказания. По ст. 138 и ст. 155 статистика более скромная, в 2020 году по ст. 138 было осуждено 29 человек, а по ст. 155 – 3 человека [7]. В данных составах общественная опасность преступления видится законодателем именно в связи с незаконным распространением определенной информации третьим лицам.

Помимо указанных составов можно выделить клевету (ст. 128.1, ст. 298.1), а также составы, включающие в себя угрозу. Ведь угрозу тоже можно рассматривать как передаваемую информацию, только в данном случае она выступает как средство достижения преступного результата. В частности, в изнасиловании (ст. 131), вымогательстве (ст. 163), разбое (ст. 162), принуждении к совершению сделки (ст. 179) и иных составах, угроза является обязательным признаком состава преступления. Безусловно, нельзя не отметить ст. 119 и ст. 296, в которых, как в усеченных составах, угроза рассматривается как деяние, составляющее обязательный признак объективной стороны преступления.

Цифровые технологии коснулись и такого состава преступления, как мошенничество. В 2012 году статья 159 была дополнена, в том числе ст. 159.3 «Мошенничество с использованием электронных средств платежа» и ст. 159.6 «Мошенничество в сфере компьютерной информации». В ст. 159.6 информация выступает как средство совершения преступления, т.к. в диспозиции указано, что в данном случае мошенничество совершается путем ввода, удаления, блокирования, модификации компьютерной информации.

Цифровые технологии также могут помочь в правоприменительной деятельности при квалификации деяния в качестве преступления. Еще в 90-х годах учеными юридического факультета МГУ разрабатывался алгоритм квалификации преступлений с использованием оружия. Вопрос о построении алгоритмов квалификации тех или иных преступлений, на наш взгляд, тесно связан с рассмотрением УК РФ в качестве системы, установлении общих и индивидуальных признаков различных составов преступления. Актуальность создания таких алгоритмов видится еще и в том, что в них полностью будут учитываться и положения постановлений пленума ВС РФ, что также будет способствовать правильному и справедливому выбору уголовно-правовой нормы. Для наглядности рассмотрения того, о чем идет речь, попробуем построить алгоритм квалификации неоконченного преступления. Хотя такие алгоритмы можно создавать и по каждой главе Особенной части УК РФ. Алгоритм строится по принципу вопросов, которые по содержанию располагаются по принципу «от общего к частному».

1 вопрос: Выполнило ли лицо все действия, входящие в объективную сторону соответствующего состава преступления?

Если да – значит преступление окончено – квалифицируем по статье Особенной части УК РФ.

Если нет – задаем **2 вопрос:** лицо не завершило преступление по своей воле?

Если да – то имеет место *добровольный отказ* от преступления.

Здесь будет следующий **2 а) вопрос:** имеется ли в действиях лица иной состав преступления?

Если да – то привлекаем к уголовной ответственности по иному составу.

Если нет – то не привлекаем к уголовной ответственности.

Если лицо не завершило преступление не по своей воле, то задаем

3 вопрос: начало ли лицо выполнять объективную сторону состава преступления?

Если да – следовательно, деяние является покушением на преступление. Привлекаем к уголовной ответственности по статье Особенной части со ссылкой на ч. 3 ст. 30 УК РФ.

Если нет – деяние является приготовлением к преступлению.

4 вопрос: к какой категории относится преступление, к которому осуществлялось приготовление? Если к категории небольшой или средней тяжести – то не привлекаем к уголовной ответственности. Если к тяжкому или особо тяжкому – привлекаем к уголовной ответственности по статье Особенной части со ссылкой на ч. 1 ст. 30 УК РФ. Таким образом, следуя алгоритму, построенному из вопросов можно прийти к конкретному ответу на вопрос о правильной квалификации деяния.

В связи с возрастанием роли цифровизации в жизни общества, представители общей теории права подняли для обсуждения актуальный вопрос о возможности искусственного интеллекта быть участником правоотношений, то есть иметь права и нести обязанности. В частности, ученый П. М. Морхат в качестве основных предпосылок наделения тех или иных лиц правосубъектностью называет наличие морального права, социальный потенциал и юридическое удобство [3]. Одним из способов решения проблемы правосубъектности «разумных роботов» исследователь выдвигает концепцию так называемого «электронного лица».

Вопрос о том, может ли искусственный интеллект сравниться с мозгом человека, активно исследует профессор Санкт-Петербургского университета Т. М. Черниговская. Выступая в различных телевизионных передачах, она акцентирует внимание на том, что влияние искусственного интеллекта на жизнь человека недооценено и имеет большое значение. Она опасается, что развитие искусственного интеллекта приобретает неконтролируемые масштабы и будет сложно прогнозировать ситуацию, которая может сложиться в будущем. «Цифровая реальность рождает новый вид человека – Номо confuses или «человек растерянный». Этот человек пока не осознал, насколько сложный и динамичный мир его окружает, и не понимает, как в нём жить. Как бы мы ни рассуждали о том, хорошо это или плохо, но то, что с нами происходит, – уже необратимый процесс. Поэтому нужно понять, как в этом мире жить и вообще есть ли у нас собственные планы или мы готовы уступить реальность цифровым разработкам.

В сообществе экспертов цифрового мира бытует мнение, что мозг – это компьютер, который обрабатывает информацию с помощью набора определенных алгоритмов. Некоторые ученые-технологи убеждены, что рано или поздно смогут воссоздать его устройство. Татьяна Черниговская не разделяет эту позицию. По ее мнению, даже если сравнивать мозг с компьютером, то как минимум не с одним, а с несколькими разнотипными машинами. Какая-то часть мозга действительно может отвечать за точные расчеты и алгоритмы, но не менее важную роль играет интуиция, метафорическое мышление. Нейролингвист напала на высказывание Альберта Эйнштейна: ученый утверждал, что научный вывод является лишь финалом логической работы, основная часть которой шла отнюдь не путем вычислений. Главное, что сегодня важно понять, считает профессор Татьяна Черниговская, – что информация без людей не имеет никакой ценности. Всегда необходим человек, который смог бы ее интерпретировать [4].

Исследователь Кашаргин Р. отмечает, что участник общественных отношений, только тогда станет полноценным субъектом права (участником правоотношений), когда будет наделен такой способностью законом (когда закон возведет его в ранг участника правоотношений, даст возможность быть субъектом права). Регулирование вопросов робототехники должно иметь начало на международном уровне. Чтобы признать равное значение, а тем более приоритет команды технического устройства в сравнении с решением человека, необходимо переосмыслить не только теоретические концепции, но и понимание роли техники в жизни человечества вообще. При этом ключевой принцип законодательства о робототехнике – безопасность [5].

Помимо рассмотрения вопроса о том, может ли искусственный интеллект быть субъектом права, не менее важным представляется проблема, когда по вине или причине, порождаемой искусственным интеллектом возникает правонарушение, причиняется вред. В 2018 году в результате испытаний компанией «Uber» беспилотного автомобиля впервые была сбита насмерть велосипедистка, выскочившая в темноте на дорогу. Что касается водителя беспилотного Volvo XC90, который нужен в качестве подстраховки для тестов беспилотных технологий, то он не заметил погибшую женщину до момента столкновения, не успев предпринять манёвр по предотвращению столкновения. В результате инцидента к ответственности были привлечены разработчики программного обеспечения машины. В связи с происшествием был проведен опрос о возможности бойкотирования беспилотных автомобилей. Большинство участников опроса (105 человек) высказались, что данная ситуация не приведет к таким последствиям [6].

В рамках развития цифровизации жизни общества студентами Уральского федерального университета разрабатывается концепция так называемого «умного города». В качестве одного из важнейших объектов управленческой деятельности по созданию «умного города» можно выделить развитие гражданского общества и местного самоуправления, создание «умного общества». Основными задачами данного направления будут являться: создание новых механизмов взаимодействия институтов власти и местного сообщества, формирование (по аналогии с электронным правительством) платформы для взаимодействия с горожанами посредством информационно-телекоммуникационных технологий, включение информационных ресурсов органов местного самоуправления в единое городское цифровое пространство [8]. Возможно, данная концепция может повлиять и на снижение уровня преступности в таких городах, так как пресечение и выявление правонарушений возможно будет с помощью усовершенствованной системы камер наружного наблюдения, а также более оперативного взаимодействия граждан и правоохранительных органов.

В период пандемии остро встал вопрос и о возможностях дистанционного обучения. Так, цифровые технологии используются и при изучении уголовного права как юридической дисциплины при подготовке юристов. Во многом система дистанционного обучения, внедренная повсеместно по вынужденным причинам, обладает немалыми преимуществами. В частности, система подразумевает самостоятельную работу студента, активизирует его потенциальные возможности по поиску, получению и освоению нужных знаний на просторах сети «Интернет». Также стоит отметить экономию, как времени, так и финансовых средств, которые тратились на приобретение различных учебных материалов. Оптимизировалась и работа преподавателя, так как, например, видеолекции, записанные он-лайн, можно прослушивать в любое удобное для ученика время и желаемое количество раз. Исследователи практической пользы цифрового обучения отмечают, что переход к цифровому образованию — это значимый этап к созданию Интернет-технологий. Сейчас наука развивается с большой скоростью, каждый день появляются новые структуры. Цифровизация обучения поможет студентам-юристам лучше ориентироваться в информационном мире в будущем.

Вместе с тем, к недостаткам онлайн-образования можно отнести так называемый **«риск отрицательного результата»**, то есть возможна ситуация, когда эти изменения будут кардинальными. Нет возможности точно сказать: будет ли такое новшество положительным. Данная система применится впервые, поэтому сравнить с чем-то подобным не получится. К недостаткам цифровизации можно также отнести **снижение умственной активности студентов**. Человеку перестал самостоятельно добывать информацию, нет необходимости размышлять, анализировать информацию. Достаточно иметь доступ в сеть «Интернет», чтобы узнать необходимые сведения, которые уже интерпретированы автором текста, что приводит к ослаблению мыслительных способностей обучающегося. Пострадает такая сфера жизнедеятельности учащегося, как социализация, т.к. в учебном заведении студент получает не только знания, но и взаимодействует с обществом. Информационная система значительно снижает уровень социализации человека. После цифровизации понятие «преподаватель» будет полностью изменено. Профессионалов заменят роботы и виртуальные системы, функции педагогов существенно изменятся, и, к сожалению, не каждый педагог сумеет принять такой вызов развития системы образования [9].

Таким образом, цифровизация жизни общества — это необратимый процесс, происходящий в современной действительности. Как отмечает Т.М. Черниговская: «Как бы мы ни рассуждали о том, хорошо это или плохо, но то, что с нами происходит, — уже необратимый процесс» [4]. Уголовное право, и как сфера деятельности правоприменителя и законодателя, и как учебная дисциплина, так же видоизменяется под влиянием указанных тенденций. В частности, появляются новые составы преступлений, и даже отдельные главы УК РФ, призванные регулировать и охранять вновь возникающие правоотношения. Возникает проблематика, связанная с правовыми последствиями причинения вреда искусственным интеллектом, и вопросов, связанных с возмещением этого вреда. Появляются компьютерные алгоритмы квалификации преступлений,

которые с одной стороны- могут облегчить процесс правоприменения, сделать его менее зависимым от мнения конкретного человека. С другой стороны возникает опасность: будет ли решение, выданное компьютером правильным, справедливым, сможет ли машина учесть все жизненные обстоятельства совершения преступления.

Литература

1. Боронина, Л. Н. Цифровизация городской среды в рамках реализации концепции «умный город»: территориальный анализ и механизмы внедрения / Л. Н. Боронина. – Текст : электронный // Уральский федеральный университет. – URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/94206/1/m_th_d.v.kovalev_2020.pdf (дата обращения: 04.04.2021)
2. Жевияк, Ю. Беспилотный Volvo XC90 из сервиса Uber впервые насмерть сбил человека / Ю. Жевияк. – Текст : электронный // КОЛЕСА.ру : автомобильный журнал. – URL: <https://www.kolesa.ru/news/bspilotnyj-avtomobil-uber-vpervye-popal-v-avtokatastrofu> (дата обращения: 04.04.2021)
3. Кашаргин, Р. В. Робот как субъект права / Р. В. Кашаргин. – Текст : электронный // Zakon.ru. – 2018. – URL: https://zakon.ru/blog/2018/11/22/robot_kak_subekt_prava (дата обращения: 04.04.2021).
4. Морхат, П. М. К вопросу о правосубъектности «электронного лица» / П. М. Морхат. – DOI: 10.25136/2409-7136.2018.4.25647. – Текст : непосредственный // Юридические исследования. – 2018. – № 4. – С. 1–8.
5. Об информации, информационных технологиях и о защите информации : Федеральный закон № 149-ФЗ : от 27.07.2006 г. – Текст : непосредственный // Российская газета – 2006. – 29 июля (№ 165).
6. Уголовное судопроизводство. – Текст : электронный // Судебная статистика РФ. – URL: <http://stat.апи-пресс.рф/stats/ug/t/14/s/17> (дата обращения: 04.04.2021)
7. Уголовный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон № 63-ФЗ : от 13.06.1996 : (редакция от 30.12.2020). – Текст : непосредственный // Собрание законодательства РФ. – 1996. – № 25. – Ст. 2954.
8. Цифровизация образования – основные плюсы и минусы. – Текст : электронный // Плюсы и минусы. – URL: <https://plusminus.ru/cifrovizaciya-obrazovaniya-osnovnye-plyusy-i-minusy/> (дата обращения: 04.04.2021)
9. Черниговская, Т. М. Цифровизация и человечность / Т. М. Черниговская. – Текст : электронный // Global Woman Media. – 2020. – URL: <http://eawfpress.ru/press-tsentr/news/glav/nauka/tatyana-chernigovskaya-tsifrovizatsiya-i-chelovechnost/> (дата обращения: 04.04.2021).

НАШИ АВТОРЫ

Авдеев Вадим Авдеевич	Vadim A. Avdeev
Доктор юридических наук	Doctor of Law Sciences
Профессор кафедры уголовного права и уголовного процесса Юридического института Югорского государственного университета	Professor of the Department of Criminal Law and Criminal Procedure, Law Institute, Yugra State University
Тел.: +7 (3467) 377-000 (доб. 401)	Phone +7 (3467) 377-000 (ext. 401)
E-mail: vadim.avdeevich@mail.ru	E-mail: vadim.avdeevich@mail.ru
Авдеева Ольга Анатольевна	Olga A. Avdeeva
Доктор юридических наук	Doctor of Law Sciences
Профессор кафедры государственно-правовых дисциплин Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России	Professor of the Department of State and Legal Disciplines East-Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia
Тел.: +7 (3467) 377-000 (доб. 401)	Phone +7 (3467) 377-000 (ext. 401)
E-mail: Avdeeva_O_A@mail.ru	E-mail: Avdeeva_O_A@mail.ru
Андреева Татьяна Андреевна	Tatiana A. Andreeva
Магистр кафедры математического анализа Алтайского государственного университета	Master of the Department of Mathematical Analysis, Altai State University
Тел.: +7 (3852) 298-155	Phone +7 (3852) 298-155
E-mail: andreeva08t@mail.ru	E-mail: andreeva08t@mail.ru
Забродина Валерия Витальевна	Valeria V. Zabrodina
Студент Института юстиции Уральского государственного юридического университета	Student of the Institute of Justice, Ural State Law University
E-mail: leran.00@mail.ru	E-mail: leran.00@mail.ru
Ибраева Асемгуль Шугайевна	Asemgul Sh. Ibrayeva
Студент Института нефти и газа Югорского государственного университета	Student of the Oil and Gas Institute, Yugra Staty University
E-mail: asemibr2000@gmail.com	E-mail: asemibr2000@gmail.com
Клепиков Павел Николаевич	Pavel N. Klepikov
Преподаватель кафедры математического анализа ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»	Lecturer of the Department of Mathematical Analysis, Altai State University
Тел.: +7 (913) 265-94-39	Phone +7 (913) 265-94-39
E-mail: klepikov.math@gmail.com	E-mail: klepikov.math@gmail.com

Кочергин Глеб Александрович	Gleb A. Kochergin
Кандидат технических наук	Candidate of Technical Sciences
Руководитель Центра космических услуг Югорского научно-исследовательского института информационных технологий	Head of the Space Service Center, Ugra Research Institute of Information Technologies
Тел.: +7 (3467) 360-100 (доб. 6061)	Phone +7 (3467) 360-100 (ext. 6061)
E-mail: KocherginGA@uriit.ru	E-mail: KocherginGA@uriit.ru
Куркина Мария Викторовна	Maria V. Kurkina
Кандидат физико-математических наук	Candidate of Physics and Mathematics Sciences
Доцент Института цифровой экономики Югорского государственного университета	Associate Professor of the Institute of Digital Economy, Yugra State University
Тел.: ++7 (912) 514-77-01	Phone: +7 (912) 514-77-01
E-mail: M_Kurkina@ugrasu.ru	E-mail: M_Kurkina@ugrasu.ru
Маратканова Ирина Владимировна	Irina V. Maratkanova
Кандидат экономических наук	Candidate of Economic Sciences
Доцент кафедры цифровых финансов Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова	Associate Professor of the Department of Digital Finance, Polzunov Altai State Technical University
Тел.: +7 (385) 229-08-71	Phone +7 (385) 229-08-71
E-mail: maratkanova@inbox.ru	E-mail: maratkanova@inbox.ru
Меньшикова Анна Геннадьевна	Anna G. Menshikova
Кандидат юридических наук	Candidate of Law Sciences
Доцент кафедры уголовного права Уральского государственного юридического университета	Associate Professor of Criminal Law Sub-faculty, Ural State Law University
Тел.: +7 (343) 375-08-46	Phone +7 (343) 375-08-46
E-mail: menshikova_anna@mail.ru	E-mail: menshikova_anna@mail.ru
Муратов Ильдар Наильевич	Ildar N. Muratov
Главный специалист Центра космических услуг Югорского научно-исследовательского института информационных технологий	Chief Specialist of the Space Service Center, Ugra Research Institute of Information Technologies
Тел.: +7 (3467) 360-100 (доб. 6074)	Phone +7 (3467) 360-100 (доб. 6074)
E-mail: ildarmur@gmail.com	E-mail: ildarmur@gmail.com

Оскорбин Дмитрий Николаевич	Dmitry N. Oskorbin
Кандидат физико-математических наук	Candidate in Physics and Mathematics Sciences
Доцент кафедры математического анализа Алтайского государственного университета	Assistant professor of the Department of Mathematical Analysis, Altai State University
Тел.: +7 (3852) 298-155	Phone +7 (3852) 298-155
E-mail: oskorbin@yandex.ru	E-mail: oskorbin@yandex.ru
Полищук Юрий Михайлович	Yuri M. Polishchuk
Главный научный сотрудник Центра космических услуг Югорского научно-исследовательского института информационных технологий	Chief Researcher of the Space Service Center, Ugra Research Institute of Information Technologies
Тел.: +7 (3467) 360-100 (доб. 6089)	Phone +7 (3467) 360-100 (ext. 6089)
E-mail: yupolishchuk@gmail.com	E-mail: yupolishchuk@gmail.com
Пономарев Игорь Викторович	Igor V. Ponomarev
Кандидат физико-математических наук	Candidate of Physical and Mathematical Sciences
Доцент кафедры математического анализа ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»	Assistant Professor of the Department of Mathematical Analysis, Altai State University
Тел.: +7 (3852) 367-067	Phone +7 (3852) 367-067
E-mail: igorpon@mail.ru	E-mail: igorpon@mail.ru
Родионов Евгений Дмитриевич	Evgeny D. Rodionov
Доктор физико-математических наук	Doctor in Physics and Mathematics Sciences
Профессор кафедры математического анализа Алтайского государственного университета	Professor of the Department of Mathematical Analysis, Altai State University
Тел.: +7 (3852) 298-155	Phone +7 (3852) 298-155
E-mail: edr2002@mail.ru	E-mail: edr2002@mail.ru
Самарин Валерий Анатольевич	Valeriy A. Samarin
Кандидат технических наук	Candidate of Technical Sciences
Доцент Института цифровой экономики Югорского государственного университета	Associate Professor of the Institute of Digital Economy, Yuga State University
Тел.: +7 (912) 514-77-01	Phone: +7 (912) 514-77-01
E-mail: V_Samarin@ugrasu.ru	E-mail: V_Samarin@ugrasu.ru

Самарина Ольга Владимировна	Olga V. Samarina
Кандидат физико-математических наук	Candidate of Physics and Mathematics Sciences
Доцент Института цифровой экономики Югорского государственного университета	Associate Professor of the Institute of Digital Economy, Yugra State University
Тел.: +7 (912) 514-77 01	Phone: +7 (912) 514-77 01
E-mail: samarina_ov@mail.ru	E-mail: samarina_ov@mail.ru
Семёнов Сергей Петрович	Sergey P. Semenov
Кандидат физико-математических наук	Candidate of Physics and Mathematics Sciences
Доцент Института цифровой экономики Югорского государственного университета	Associate Professor at the Institute of Digital Economy, Yugra State University
Тел.: +7 (3467) 377-000 (доб. 373)	Phone +7 (3467) 377-000 (ext. 373)
E-mail: ssp@ugrasu.ru	E-mail: ssp@ugrasu.ru
Славский Виктор Владимирович	Viktor V. Slavsky
Доктор физико-математических наук	Doctor of Physical and Mathematical Sciences
Профессор Института цифровой экономики Югорского государственного университета	Professor of the Institute of Digital Economy, Yugra State University
Ташкин Артём Олегович	Artyom O. Tashkin
Аспирант Института цифровой экономики Югорского государственного университета	PhD-student at the Institute of Digital Economy, Yugra State University
E-mail: anozer_sky@mail.ru	E-mail: anozer_sky@mail.ru
Тимергазина Лилия Ринатовна	Liliya R. Timergazina
Студент Института нефти и газа Югорского государственного университета	Student of the Oil and Gas Institute, Yugra State University
E-mail: timergazinalilia@yandex.ru	E-mail: timergazinalilia@yandex.ru
Финогенов Антон Анатольевич	Anton A. Finogenov
Кандидат физико-математических наук	Candidate of Physics and Mathematics Sciences
Доцент Института цифровой экономики Югорского государственного университета	Associate Professor at the Institute of Digital Economy, Yugra State University
Тел.: +7 (3467) 377-000 (доб. 368)	Phone +7 (3467) 377-000 (ext. 368)
E-mail: aafin@ya.ru	E-mail: aafin@ya.ru

Хромова Олеся Павловна	Olesya P. Khromova
Кандидат физико-математических наук	Candidate of Physical and Mathematical Sciences
Доцент кафедры математического анализа ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»	Assistant Professor of the Department of Mathematical Analysis, Altai State University
Тел.: +7 (913) 234-59-83	Phone +7 (913) 234-59-83
E-mail: khromova.olesya@gmail.com	E-mail: khromova.olesya@gmail.com
Щелконогова Елена Владимировна	Elena V. Shchelkonogova
Кандидат юридических наук	Candidate of Law Sciences
Доцент кафедры уголовного права ФГБОУ ВО «Уральский государственный юридический университет»	Associate Professor of the Department of Criminal Law, Ural State Law University
Тел.: +7 (343) 375-08-46	Phone +7 (343) 375-08-46
E-mail: shelkonogova-ele@mail.ru	E-mail: shelkonogova-ele@mail.ru

Научное издание

ВЕСТНИК ЮГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 1 (60)/2021

Цена свободная

16+

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-73606 от 31 августа 2018 г.

Дата выхода в свет 20.07.2021

Формат 60x84 1/8. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 13,5. Тираж 1000 экз. Заказ № 262.

Адрес учредителя, издателя и редакции:
628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

Отпечатано в секторе редакционно-издательской работы
Научной библиотеки ФГБОУ ВО ЮГУ:
628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

Главный редактор – Исламутдинов Вадим Фаруарович,
тел. +7 (3467) 377-000 (доб. 105)