МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи



Степанова Мария Александровна

Голоморфно невырожденные CR-многообразия и их автоморфизмы

Специальность 1.1.1 — Вещественный, комплексный и функциональный анализ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва — 2021

Работа выполнена на кафедре теории функций и функционального анализа механико-математического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова

Научный руководитель – **Белошапка Валерий Константинович** – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры теории функций и функционального анализа механико-математического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Официальные оппоненты: **1. Лобода Александр Васильевич,** доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры прикладной математики и механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Воронежский государственный технический университет" (специальность – 01.01.01)

2. Коссовский Илья Григорьевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математики и статистики факультета наук Масарикова университета в Брно, Чехия. (специальность – 01.01.01)

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет»

Защита диссертации состоится 25 ноября 2021 года в 14 на заседании диссертационного совета 24.1.167.01 при Математическом институте им. В.А. Стеклова Российской академии наук по адресу: г. Москва, ул. Губкина, д. 8, ауд. 110. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИАН и на сайте http://www.mi-ras.ru/dis/ref21/stepanova/ref.pdf

Автореферат разослан «___» октября 2021 года.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.167.01 при МИАН
доктор физико-математических наук В.А. Ватутин

Актуальность темы.

Работа посвящена CR-многообразиям – одним из центральных объектов исследования в многомерном комплексном анализе. Данная тематика лежит на стыке теории функций многих комплексных переменных, теории групп и алгебр Ли, дифференциальной геометрии и уравнений в частных производных.

Главными объектами исследования являются вложенные CR-подмногообразия комплексного пространства, их полиномиальные модельные поверхности и голоморфные автоморфизмы.

Результаты могут быть интересны также и для теории обыкновенных дифференциальных уравнений ввиду наличия естественного соответствия между CR-многообразием и системой дифференциальных уравнений, интегральными многообразиями которой являются поверхности Сегре рассматриваемого CR-многообразия.

Исследования вещественных подмногообразий комплексного пространства восходят к работе А. Пуанкаре 1907-го года [37], в которой изучаются вещественные подмногообразия размерности три в двумерном комплексном пространстве. Данная ситуация является самой маломерной как с точки зрения CR-размерности (т.е. размерности комплексного подпространства касательного пространства), так и с точки зрения коразмерности – обе эти величины равны единице. Однако уже здесь обнаруживаются эффекты, возникающие в произвольной многомерной ситуации. Среди прочего была выявлена особая роль трехмерной сферы $Q = \{\operatorname{Im} w = |z|^2\}$ для всякой Леви-невырожденной гиперповерхности M в $\mathbb{C}^2$. Так, размерность алгебры Ли инфинитезимальных голоморфных автоморфизмов $\operatorname{aut} M_p$ ростка в точке p поверхности M не превосходит размерности алгебры Ли $\operatorname{aut} Q$. Сфера в данном случае является *модельной поверхностью* для M_p и определяет многие алгебра-

ические свойства M_p.

Данный подход был развит в работах С. Черна и Ю. Мозера [30] для случая Леви-невырожденной гиперповерхности произвольной CR-размерности – здесь роль модельных поверхностей играют гиперквадрики (поверхности, которые задаются квадратичными вещественнозначными полиномами специального вида). С ростом CR-размерности ситуация становится более разнообразной: тогда как в $\mathbb{C}^2$ имеется ровно одна невырожденная квадрика, в пространствах большей размерности квадрики различаются сигнатурами их форм Леви. В частности, свойства поверхностей со знакоопределенной формой Леви (строго псевдовыпуклых) существенно отличаются от свойств поверхностей, формы которых не являются знакоопределенными. Например, локальное голоморфное отображение строго псевдовыпуклых вещественно аналитических несферических гиперповерхностей Γ_1 и Γ_2 продолжается по всем путям в Γ_1 (С.И. Пинчук [17]), тогда как при отсутствии строгой псевдовыпуклости такое отображение может оказаться непродолжаемым (В.К. Белошапка [2]).

Работа Черна и Мозера послужила стимулом для появления большого числа работ. Упомянем работы Ч. Феффермана, Д. Бернса, С. Шнайдера, Р. Уэллса, С. Вебстера, С.И. Пинчука, В.К. Белошапки, А.В. Лободы, В.В. Ежова, Н.Г. Кружилина ([1], [9], [12], [13], [16], [26], [33], [42]).

Дальнейшие рассмотрения шли в направлении увеличения коразмерности поверхности (М. Баоуенди, П. Эбенфельд, Л. Ротшильд [19], Н. Стэнтон [39], [40], Д. Зайцев [43], А. Сухов [18]). В работах В.К. Белошапки подход Пуанкаре оформился в метод модельной поверхности для вполне невырожденных многообразий произвольной CR-размерности и коразмерности [5]. Далее указанный подход был обобщен на бесконечномерные

гильбертовы пространства [7], а также на более широкий класс невырожденных поверхностей (голоморфная невырожденность + конечный тип по Блуму-Грэму) [24].

Описанное направление развития использовало аналитическую технику. Однако такой подход к изучению CR-многообразий не является единственным, параллельно с ним сформировалась и другая техника – геометрическая. Она последовательно разрабатывалась в работах Э. Картана [27], Н. Танаки [41], в геометрической части работы Черна и Мозера [30] (редукция G-структур), в работах В.В. Ежова, А. Исаева, Г. Шмальца [31], [32].

С точки зрения групп голоморфных автоморфизмов наиболее интересны CR-многообразия с богатыми группами. В частности, отдельного внимания заслуживают голоморфно однородные многообразия (т.е. такие, на которых группа автоморфизмов действует локально транзитивно). Они естественным образом возникают при изучении вполне невырожденных CR-многообразий: все модельные поверхности таких многообразий голоморфно однородны, причем на них группа автоморфизмов действует глобально транзитивно.

В малых размерностях голоморфно однородные многообразия изучены очень подробно. Так, в работе Э. Картана [27] дана полная классификация голоморфно однородных гиперповерхностей в $\mathbb{C}^2$, в $\mathbb{C}^3$ также имеется полная классификация однородных гиперповерхностей: Леви-вырожденные гиперповерхности классифицированы в работе Г. Фелса и В. Каупа [34], а все Леви-невырожденные поверхности недавно (2020 г.) были полностью классифицированы А.В. Лободой и его коллегами [15]; в работе [22] В.К. Белошапкой и И.Г. Коссовским получен полный список (с точностью до локальной CR-эквивалентности) локально однородных CR-многообразий размерности четыре; в

[6] и [21] изучены и классифицированы все орбиты действия группы автоморфизмов кубической модельной поверхности в пространстве $\mathbb{C}^3$ на всем объемлющем пространстве $\mathbb{C}^3$.

Работу можно разделить на четыре основные части, которые соответствуют главам.

В первой главе обсуждаются многообразия бесконечного типа по Блуму-Грэму. При изучении геометрии CR-многообразий в той или иной форме появляются условия невырожденности. Как было сказано выше, в работе [24] был введен достаточно широкий класс невырожденных многообразий, на которые был распространен метод модельной поверхности. При этом одним из оснований теории послужила теорема Блума-Грэма [25], в которой доказывается эквивалентность аналитического и геометрического определения конечного типа. Геометрическое определение дается на языке коммутаторов векторных полей, принадлежащих распределению комплексных касательных пространств многообразия, а в аналитическом определении описывается вид локальных определяющих уравнений многообразия. Дальнейшее развитие теории приводит к рассмотрению многообразий бесконечного типа – а значит, возникает потребность в соответствующем аналоге теоремы Блума-Грэма. Мы описываем приведенную форму определяющих уравнений ростка многообразия бесконечного типа, вполне аналогичную приведенной форме Блума-Грэма для ростка конечного типа. Мы также рассматриваем вопрос о поведении приведенной формы ростка бесконечного типа под действием биголоморфных преобразований и описываем сохраняющие ее преобразования. При этом возникает набор голоморфных инвариантов (веса и разряды). Оказывается также, что младшие компоненты определяющих уравнений (квазимодельная поверхность) биголоморфно эквивалентных ростков квазилинейно эквивалентны (т.е. эквивалентность

осуществляется линейным по переменной z преобразованием). Квазилинейное действие на квазимодельной поверхности снабжает поверхность богатым набором CR-инвариантов.

В некоторых ситуациях особый интерес представляют многообразия равномерно бесконечного типа (т.е. имеющие бесконечный тип всюду). В частности, такие многообразия естественным образом возникают при рассмотрении вопроса о конечномерности алгебры Ли инфинитезимальных голоморфных автоморфизмов: известно ([19], теорема 12.5.3), что если тип голоморфно невырожденного многообразия конечен хотя бы в одной точке, то конечномерность указанной алгебры имеет место. Поэтому полученный здесь критерий конечномерности в случае равномерно бесконечного типа вместе с указанной теоремой работы [19] дает критерий конечномерности в полной общности.

Критерий конечномерности для многообразий равномерно бесконечного типа получается за счет следующего интересного эффекта: размерность алгебры голоморфных автоморфизмов таких многообразий может принимать лишь два значения – ноль и бесконечность, поэтому критерий конечномерности сводится к критерию нульмерности.

Также мы обсуждаем вопрос о типе по Блуму-Грэму в точке общего положения на многообразии и показываем, что в дополнении к собственному аналитическому подмножеству тип (как конечный, так и бесконечный) постоянен и в определенном смысле минимален.

Во второй главе рассматриваются голоморфно однородные многообразия. Возникшие здесь вопросы мотивированы введением нового класса невырожденных многообразий (голоморфная невырожденность + конечный тип по Блуму-Грэму) [24] и распространением на этот класс метода модельной поверхности.

Первый из вопросов таков: рассмотрим росток голоморфно

однородного многообразия. Верно ли, что его модельная поверхность также голоморфно однородна? Мы показываем, что ответ утвердителен вне зависимости от того, является ли тип конечным или бесконечным.

Другой естественный вопрос о голоморфно однородных многообразиях касается их типа: какие типы по Блуму-Грэму для таких многообразий могут быть реализованы? В типе фигурируют два вида данных: веса и кратности. В [24] было доказано, что веса не могут быть произвольными. Мы доказываем, что кратности также не могут быть произвольными, и приводим оценки, которые являются в некотором смысле точными.

В третьей главе речь идет о бесконечномерных CR-многообразиях. CR-подмногообразия комплексного гильбертова пространства и конечномерных комплексных пространств достаточно сильно отличаются друг от друга. Для демонстрации отличий мы посмотрим на многообразия с двух точек зрения: с позиции их голоморфных симметрий и с позиции их модельных поверхностей.

С каждым ростком вещественного вещественно аналитического порождающего CR-многообразия, заданным в некоторой точке, можно связать градуированную алгебру Ли $\mathfrak{g}$ инфинитезимальных голоморфных автоморфизмов и рассмотреть ее положительную составляющую – подалгебру $\mathfrak{g}_+$ (см. [4]). Если числа n и k, равные соответственно CR-размерности (т.е. размерности комплексной касательной) и коразмерности многообразия и составляющие его тип (n, k), положительны и конечны, то $\mathfrak{g}_+$ в большинстве случаев оказывается тривиальной. В частности, алгебра $\mathfrak{g}_+$ тривиальна для почти любой квадратичной модельной поверхности фиксированного типа (n, k) (при некоторых ограничениях на n и k) ([3], [5]), а в случае вполне невырожденных модельных поверхностей более высоких порядков

алгебра $\mathfrak{g}_+$ тривиальна всегда ([8], [35], [38]).

Однако если коразмерность k бесконечна, то картина становится качественно иной. Хотя определение полной невырожденности в бесконечномерном случае аналогично конечномерному и также является условием общего положения (см. [7]), свойства бесконечномерных модельных поверхностей типа (n, ∞) оказываются противоположными: алгебра $\mathfrak{g}_+$ для вполне невырожденной поверхности оказывается бесконечномерной, а конечномерными алгебрами обладают лишь исключительные поверхности; в то же время в конечномерной ситуации для почти всех поверхностей алгебра $\mathfrak{g}_+$ оказывается тривиальной. Иными словами, типичная размерность алгебры $\mathfrak{g}_+$ в бесконечномерной ситуации наибольшая из возможных, а в конечномерной ситуации – наименьшая. Отметим, что в наших рассмотрениях алгебры $\mathfrak{g}_+$ состоят из векторных полей, формально удовлетворяющих условию касания для рассматриваемых многообразий.

Бесконечномерный случай специфичен еще и тем, что при фиксированной конечной CR-размерности n многообразия существует единственная (с точностью до формальной эквивалентности) модельная поверхность. Более того, всякое вполне невырожденное многообразие CR-размерности n, не обязательно являющееся модельным, оказывается формально эквивалентным ей.

Также в бесконечномерном случае можно построить многообразия (без условия полной невырожденности) с любой наперед заданной размерностью алгебры $\mathfrak{g}_+$. Данное обстоятельство интересно тем, что в случае конечной коразмерности k и при фиксированном типе (n, k) во всех изученных ситуациях при тех или иных требованиях невырожденности размерности алгебр $\mathfrak{g}_+$ для всевозможных поверхностей не принимают всех подряд идущих значений (см., например, [1], [4]).

Однако в отдельных аспектах аналогия с конечномерным случаем сохраняется. В качестве следствия с помощью некоторых из построенных многообразий, перенося конструкцию работы [18] (А.Б. Сухов, 2003) на бесконечномерную ситуацию, мы можем получить системы дифференциальных уравнений второго порядка с известными симметриями: решениями этих систем будут многообразия Сегре исходных многообразий. Конструкция Сухова применима также и для конечномерных вполне невырожденных многообразий.

Четвертая глава посвящена взвешенно однородным полиномиальным модельным поверхностям, которые широко используются в CR-геометрии. Их основное применение связано с изучением автоморфизмов ростков CR-многообразий, и здесь существенную роль играет разложение функции по однородным и квазиоднородным компонентам (см. [5], [28], [29], [36]). При этом подходе с помощью весов различают координаты комплексной касательной и трансверсальные направления. Но возможны ситуации, когда необходимо с помощью весов ввести различия внутри комплексной касательной.

В работе [25] была введена характеристика ростка вещественного подмногообразия комплексного пространства, которая теперь называется типом ростка по Блуму-Грэму. Там же проводится различие между ростками конечного и бесконечного типа. Значение этой характеристики основано на многочисленных приложениях в различных вопросах CR-геометрии; в качестве примера можно привести тот факт, что для многообразий конечного типа существует простой критерий конечномерности алгебры инфинитезимальных голоморфных автоморфизмов – голоморфная невырожденность, т.е. отсутствие ненулевых голоморфных касательных векторных полей. Широкая сфера применимости типа по Блуму-Грэму обусловлена еще и тем, что

если он конечен, то имеется два эквивалентных определения: бескоординатное – через вид алгебры Ли касательных векторных полей и координатное – через вид локальных уравнений ростка.

Мы приводим обобщение типа по Блуму-Грэму – взвешенный тип. Модификации, связанной с выбором весов в комплексной касательной, в данной работе подвергается как само определение типа по Блуму-Грэму, так и утверждение, аналогичное теореме Блума-Грэма. Суть этого обобщения в том, что различным координатам комплексной касательной $(z_1, \ldots, z_{n-k})$ назначаются произвольные натуральные веса. Это придает взвешенному типу большую гибкость и удобство в приложениях ([5], [36]). Далее доказывается аналог теоремы Блума-Грэма о соотношении координатного и бескоординатного определений этого взвешенного типа. Данная теорема демонстрирует связь между геометрическими данными, которые можно получить при вычислении коммутаторов голоморфных касательных векторных полей (всю необходимую информацию об этих коммутаторах содержит в себе геометрический тип поверхности) и представимостью поверхности уравнениями специального вида.

Цели и задачи работы.

– Уточнить теорему Блума-Грэма для ростков вещественно аналитических многообразий бесконечного типа.

– Найти полный критерий конечномерности алгебры Ли инфинитезимальных голоморфных автоморфизмов произвольного CR-многообразия.

– Охарактеризовать аналитическую структуру множеств фиксированного типа по Блуму-Грэму.

– Адаптировать понятие типа по Блуму-Грэму для случая различных весов в комплексном касательном пространстве и

доказать соответствующий весовой аналог теоремы об эквивалентности геометрического и координатного типов.

– Выявить отличия вполне невырожденных поверхностей в гильбертовом пространстве от конечномерных аналогов.

– Показать, что модельные поверхности голоморфно однородных многообразий также голоморфно однородны.

– Выяснить, существуют ли ограничения на кратности в типе по Блуму-Грэму для голоморфно однородных многообразий.

Положения, выносимые на защиту. Научная новизна. Все результаты диссертации являются новыми и состоят в следующем:

– Дано уточнение теоремы Блума-Грэма для ростков вещественно аналитических многообразий бесконечного типа и описан некий стандартный вид (приведенная форма), к которому можно преобразовать такие ростки.

– Построена более тонкая по сравнению с типом по Блуму-Грэму голоморфно инвариантная характеристика ростка многообразия (стратифицированный тип).

– Введено понятие квазимодельных поверхностей и доказана их квазилинейная эквивалентность для биголоморфно эквивалентных многообразий.

– Получен критерий конечномерности алгебры Ли инфинитезимальных голоморфных автоморфизмов для произвольных вещественно аналитических CR-многообразий.

– Доказано, что множества фиксированного типа по Блуму-Грэму полуаналитичны, причем тип общего положения (вне собственного аналитического подмножества) в определенном смысле минимален.

– Введено понятие типа для случая неравных весов в комплексном касательном пространстве и доказан соответствую-

щий аналог об эквивалентности геометрического и координатного типа.

– Показано, что все вполне невырожденные поверхности в комплексном гильбертовом пространстве формально эквивалентны.

– Построены примеры бесконечномерных поверхностей с нетривиальной алгеброй g_+.

– Показано, что модельные поверхности голоморфно однородных CR-многообразий также голоморфно однородны. Найдены ограничения на кратности в типе по Блуму-Грэму для таких многообразий.

Методы исследования. В работе используются методы теории функций одного и многих комплексных переменных, дифференциальной геометрии, теории групп и алгебр Ли.

Теоретическая и практическая ценность. Результаты носят теоретический характер и могут быть использованы в различных вопросах многомерного комплексного анализа, дифференциальной геометрии и уравнений в частных производных. Результаты могут быть полезны для исследований, проводимых в МГУ им. М.В. Ломоносова, в математическом институте имени В.А. Стеклова РАН, в Сибирском федеральном университете.

Соответствие паспорту научной специальности. В диссертации изучаются CR-многообразия, их модельные поверхности и голоморфные автоморфизмы, в силу чего диссертация соответствует паспорту специальности 1.1.1 "Вещественный, комплексный и функциональный анализ" по направлению "комплексный анализ".

Апробация диссертации.

1. Международная конференция "OTHA online workshop 2020 on operator theory and harmonic analysis and their applications"(24-25 августа 2020 г., Ростов-на-Дону)

2. Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов"(10-27 ноября 2020 г., Москва)

3. Международная конференция "Комплексный анализ, математическая физика и нелинейные уравнения"(15-19 марта 2021 г., Южный Урал, Якты-Куль (озеро Банное))

4. Международная конференция "Многомерные вычеты и тропическая геометрия"(14–18 июня 2021 г., Сочи)

5. Межвузовский (МГУ-МГТУ) семинар по качественной теории дифференциальных уравнений (24 апреля 2021 г., Москва)

6. Research seminar on CR geometry and dynamics (8 июля 2021 г., Вена)

Результаты диссертации неоднократно докладывались на семинаре Витушкина по многомерному комплексному анализу.

Публикации. Основные результаты диссертации содержатся в 4 работах автора (см. [44], [45], [46], [47]) в рецензируемых научных журналах, входящих в базы данных SCOPUS и Web of Science.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и списка литературы из 47 наименований. Общий объем диссертации составляет 108 страниц.

Краткое содержание диссертации.

В первой главе построен аналог теоремы Блума-Грэма для ростков вещественно аналитических многообразий бесконечного типа и описан некий стандартный вид (приведенная форма),

к которому можно преобразовать такие ростки. Дано уточнение понятия типа по Блуму-Грэму (стратифицированный тип). Уточненный тип также голоморфно инвариантен. Введено понятие квазимодельных поверхностей и доказана их квазилинейная эквивалентность для биголоморфно эквивалентных многообразий. Получен критерий конечномерности алгебры Ли инфинитезимальных голоморфных автоморфизмов в случае равномерно бесконечного типа (т.е. бесконечного всюду). Вместе с критерием конечномерности для многообразий, чей тип конечен почти всюду, это дает полный критерий конечномерности. Доказано, что множества фиксированного типа по Блуму-Грэму полуаналитичны, причем тип общего положения (вне собственного аналитического подмножества) в определенном смысле минимален.

Во второй главе показано, что модельная поверхность ростка голоморфно однородного CR-многообразия также голоморфно однородна. Для типа по Блуму-Грэму ростка голоморфно однородного CR-многообразия получены ограничения на кратности.

В третьей главе показано, что существует ровно одно вполне невырожденное CR-многообразие типа (n, ∞) (с точностью до формальной эквивалентности) и что размерность его алгебры Ли $\mathfrak{g}_+$ положительно градуированных формальных касательных векторных полей бесконечна. Построены примеры многообразий типа (n, ∞) с алгебрами $\mathfrak{g}_+$ любой наперед заданной конечной размерности.

В четвертой главе построено весовое обобщение типа по Блуму-Грэму и доказан соответствующий весовой аналог теоремы об эквивалентности геометрического и координатного типов.

Автор глубоко благодарен своему научному руководителю

доктору физико-математических наук, профессору Валерию Константиновичу Белошапке за постановку задач, многочисленные ценные обсуждения и постоянное внимание к работе.

Литература

[1] В.К. Белошапка, О размерности группы автоморфизмов аналитической гиперповерхности, Известия АН СССР, сер. мат., 1979, т.43, №2, стр. 243-266.

[2] В.К. Белошапка, Пример непродолжаемого голоморфного преобразования аналитической гиперповерхности, Математические заметки, 1982, т.32, №1, стр. 121-123.

[3] В.К. Белошапка, О голоморфных преобразованиях квадрики, Математический сборник, 1991, №2, стр. 203-219.

[4] В. К. Белошапка, "Вещественные подмногообразия комплексного пространства: их полиномиальные модели, автоморфизмы и проблемы классификации", УМН, 57:1(343) (2002), 3–44; Russian Math. Surveys, 57:1 (2002), 1–41.

[5] В. К. Белошапка, "Универсальная модель вещественного подмногообразия", Матем. заметки, 75:4 (2004), 507–522; Math. Notes, 75:4 (2004), 475–488.

[6] В. К. Белошапка, "Пространство орбит группы автоморфизмов модельной поверхности типа (1,2)", Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1. Матем., мех., 2008, № 3, 13–16.

[7] В.К. Белошапка, Метод модельной поверхности: бесконечномерная версия, Труды Математического института им. В.А. Стеклова, 2012, т. 279, с. 20-30.

[8] Р. В. Гаммель, И. Г. Коссовский, “Оболочка голоморфности модельной поверхности степени три и феномен “жесткости””, Тр. МИАН, 253 (2006), 30–45.

[9] В. В. Ежов. Асимптотика поведения строго псевдовыпуклой поверхности вдоль ее цепи.— Изв. АН СССР, Сер. мат., 1983, 47 : 4, с. 560—586.

[10] А. Е. Ершова, “Автоморфизмы 2-невырожденных гиперповерхностей в C^3”, Матем. заметки, 69:2 (2001), 214–222; Math. Notes, 69:2 (2001), 188–195.

[11] А. Картан, Дифференциальное исчисление. Дифференциальные формы. — М.: Мир, 1971.

[12] Н. Г. Кружилин. Оценка изменения нормального параметра цепи на строго псевдовыпуклой поверхности.— Изв. АН СССР. Сер. мат., 1983, 47 : 5.

[13] А. В. Лобода. О локальных автоморфизмах вещественно-аналитических гиперповерхностей.— Изв. АН СССР. Сер. мат., 1981, 45 : 3, с. 620—645.

[14] А. В. Лобода, “О сферичности жестких гиперповерхностей в C^2”, Матем. заметки, 62:3 (1997), 391–403.

[15] А.В. Лобода, "Голоморфно-однородные вещественные гиперповерхности в C^3". Труды ММО, т. 81, вып. 2, 2020. С. 61-136.

[16] С. И. Пинчук. Граничная теорема единственности для голоморфных функций нескольких комплексных переменных.— Мат. заметки, 1974, 15 : 2, с. 205—212.

[17] С.И. Пинчук, О голоморфных отображениях вещественно аналитических гиперповерхностей, Докл. АН СССР, 236, № 3 (1977), 544-547.

[18] А. Б. Сухов, "О преобразованиях аналитических CR-структур", Изв. РАН. Сер. матем., 67:2 (2003), 101–132.

[19] M.S. Baouendi, P. Ebenfelt, L.P. Rothschild, Real Submanifolds in Complex Space and Their Mappings, Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 1999.

[20] V.Beloshapka, Automorphisms of Degenerate Hypersurfaces in C^2 and a Dimension Conjecture, Russian Journal of Mathematical Physics, 1996, vol.4, no.3, p.393.

[21] V.K. Beloshapka, I. Kossovskiy, Homogeneous Hypersurfaces In C^3 Assotiated With A Model CR-Cubic, J Geom Anal (2010) 20: 538-564.

[22] V.K. Beloshapka, I.G. Kossovskiy, Classification Of Homogeneous CR-Manifolds In Dimension 4, Journal of Mathematical Analysis and Application, 374 (2011) 655-672.

[23] V.K. Beloshapka, "Can a stabilizer be eight-dimensional?", Russian Journal of Mathematical Physics, 2012, Volume 19, Issue 2, pp 135–145.

[24] Beloshapka V.K., CR-manifolds of finite Bloom-Graham type: the model surface method, Russian Journal of Mathematical Physics,Vol.27, No.2, 2020.

[25] Th. Bloom and I. Graham, "On "Type" Conditions for Generic Real Submanifolds of C^n ", Invent. Math. 40, 217–243 (1977).

[26] D.Burns, S. Schneider , R. O. Wells . Deformations of strictly pseudoconvex domains.— Invent. Math., 1978, 46 : 3, p. 237—253.

[27] E. Cartan. Sur la géométrie pseudoconforme des hypersurfaces de deux variables complexes. Ann. Math. Pura Appl. (4). 1932, V. 11, 17–90.

[28] D. Catlin, Boundary invariants of pseudoconvex domains, Ann. of Math. 120 (1984) 529-586.

[29] D. Catlin, Subelliptic estimates for $\bar{\partial}$-Neumann problem on pseudoconvex domains, Ann. of Math. 126 (1987) 131-191.

[30] S. S. Chern and J. K. Moser, Real hypersurfaces in complex manifolds, Acta Math., 133 (1974), no. 3–4, 219–271.

[31] V.Ezhov, G. Schmalz. A matrix Poincaré formula for holomorphic automorphisms of quadrics of higher codimension. Real associative quadrics. J. Geom. Anal., 1997, V.8, №1, 27–41.

[32] V. Ezhov, A. Isaev, G. Schmalz. Invariants of elliptic and hyperbolic CR-structures of codimension 2, Internat. J. Math., 1999, V.10, №1, 1–52.

[33] C. L. Fefferman. The Bergman kernel and biholomorphic mappings of pseudoconvex domains.— Invent. Math., 1974, 24 : 1, p. 1—65.

[34] G. Fels and W. Kaup, Classification of Levi degenerate homogeneous CR-manifolds in dimension 5. Acta Math. 201, 1-82 (2008).

[35] Jan Gregorovic, On the Beloshapka's rigidity conjecture for real submanifolds in complex space, arXiv:1807.03502.

[36] Martin Kolar, Francine Meylan, and Dmitri Zaitsev, Chern-Moser operators and polynomial models in CR geometry, Adv. Math. 263 (2014), 321–356.

[37] Poincaré, M.H. Les fonctions analytiques de deux variables et la représentation conforme. Rend. Circ. Matem. Palermo 23, 185–220 (1907).

[38] M. Sabzevari, A. Spiro. On the geometric order of totally nondegenerate CR manifolds, https://arxiv.org/abs/1807.03076.

[39] Stanton, N., Infinitesimal CR automorphisms of rigid hypersurfaces, Amer. J. Math. 117 (1995), 141—167.

[40] Stanton, N., Infinitesimal CR automorphisms, Amer. J. Math. 118 (1996), 209—233.

[41] N.Tanaka. On the pseudo-conformal geometry of hypersurfaces of the space of n complex variables. J. Math. Soc. Japan. 1962, V.14, 397–429.

[42] S. M. Webster. On the Moser normal form at a non-ombilic points.— Math. Ann., 1978, 23 : 2, p. 97—102.

[43] D.Zaitsev, Germs of local automorphisms of real-analytic CR-structures and analytic dependence of k-jets, Math. Res. Lett., V.4, P. 1-20 (1997).

Работы автора по теме диссертации:

Статьи в научных журналах Web of Science, Scopus, RSCI

[44] М. А. Степанова, “Модификация теоремы Блума–Грэма: введение весов в комплексном касательном пространстве”, Тр. ММО, 79, № 2, 2018, 237–246.

[45] М. А. Степанова, “Об автоморфизмах CR-подмногообразий комплексного гильбертова пространства”, Сиб. электрон. матем. изв., 17 (2020), 126–140.

[46] М. А. Степанова, “Голоморфно однородные CR-многообразия и их модельные поверхности”, Изв. РАН. Сер. матем., 85:3 (2021), 203–209.

[47] М. А. Степанова, “О CR-многообразиях бесконечного типа по Блуму-Грэму”, Труды ММО (в печати).