

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт наук о Земле

Кафедра картографии и геоинформатики

АЛЕКСЕЙКОВА Анастасия Сергеевна



Выпускная квалификационная работа

***«Построение и использование структурно-координатной сети рельефа
для анализа Арктического региона»***

Уровень образования: магистратура

Направление *05.04.03. «Картография и геоинформатика»*

Основная образовательная программа

ВМ.5523.2021 «Геоинформационное картографирование»

Научный руководитель:

доцент кафедры

картографии и геоинформатики СПбГУ,

кандидат технических наук,

Тюрин Сергей Вячеславович



Рецензент:

Декан факультета географии

РГПУ им. А.И. Герцена,

доктор географических наук,

Субетто Дмитрий Александрович

Санкт-Петербург
2023

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА I. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМНО-МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА	6
ГЛАВА 2. СОСТАВЛЕНИЕ СТРУКТУРНО-КООРДИНАТНОЙ СЕТИ РЕЛЬЕФА АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА	13
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА И ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО- КООРДИНАТНОЙ СЕТИ РЕЛЬЕФА	30
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	37
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ	39
ПРИЛОЖЕНИЯ	45

Введение

Изучение Мирового океана в целях поиска и освоения полных ископаемых под его толщей за последние несколько лет довольно активно развивалось. Для Российской Федерации же в настоящее время наиболее актуальным направлением исследований стало всестороннее изучение Арктического бассейна Северного Ледовитого океана. Это связано не только с наличием достаточно реалистичных перспектив освоения морских нефтегазовых месторождений на шельфе арктических морей страны, но также с необходимостью обозначения научного приоритета Российской Федерации в области геолого-геоморфологического и палеогеографического изучения Арктического региона. Это всё привело к необходимости развития и продвижения комплекса работ, связанных с изучением рельефа океанического дна Арктики.

В основе же данного направления исследований лежит картографирование геоморфологического строения данного региона и выполнение на его основе различных аналитических работ с целью выявления закономерностей распространения тех или иных явлений. Однако, несмотря на то, что изучение Арктики с точки зрения геоморфологической науки является основополагающим и перспективным направлением, стагнация геоморфологических исследований в целом и медленное изучение рельефа и рельефообразующих процессов данного региона негативно сказывается на создании и развитии новых методов для изучения Арктического бассейна Северного Ледовитого океана.

Отсутствие принципиально быстрого развития теории и методики в геоморфологии, несомненно, и является причиной такого медленного изучения Арктического шельфа. Для предотвращения подобной стагнации было решено разработать и составить структурно-координатную сеть (СКС) рельефа Арктического региона.

Планирование и организация поисково-разведочных и инженерно-геологических исследований (разного вида профилирования, донного опробования или сплошного драгирования, прокладки трубопроводов, сбора субмаринных газовых гидратов и др.) требует более детальных данных о строении подводной и подлёдной поверхности. Построение структурно-координатной сети может позволить выбрать направления, строго соответствующие продольным и поперечным простираниям, главные особенности которых заключаются в принципиально разном строении подстилающей поверхности.

Структурно-координатная сеть призвана оказать существенное влияние на планирование поисково-разведочных и эксплуатационных работ в самых разных районах Арктического региона, что, предположительно, также сможет положительно повлиять на развитие геоморфологической науки и способствовать созданию новых методов для изучения строения рельефа Арктики. Учёт простирающихся двух систем структурно-координатной сети (X и Y) может существенно повлиять на стоимость и другие затраты – в целом на планирование и экономичность профильных работ воздушных и водных носителей геофизической аппаратуры за счёт использования и смены направлений наиболее информативных систем структурно-координатной сети в каждом из районов, и величины междугалсовых расстояний.

Основным критерием выбора междугалсового расстояния в гидрографии принято считать «расчлененность» или относительные превышения рельефа. Это картометрический показатель и он определяется без строгого учета анизотропии подстилающей поверхности и поэтому далеко не всегда отражает сложность ее состава и строения, а также связанную с ней локальную изменчивость конкрециенности. Структурно-координатная сеть рельефа может помочь оценить сложность рельефа, анализ которого необходим также при планировании траловых работ при эксплуатации залежей железомарганцевых конкреций, так как выявление закономерностей наличия симметричных рисунков сети с образованием в данном регионе железомарганцевых конкреции также является одним из направлений её применения.

Данные по поясам, полям и провинциям конкрециенности, а также по отдельным полигонам [Безруков, 1972; Безруков, Андрущенко, 1972.] показывают не только связь конкрециеобразования с критической глубиной карбонатакопления, но и то, что на фоне батиметрического контроля изменчивость продуктивности и состава ЖМК в наименьшей степени зависит от геоморфологических условий формирования. Выявление, так называемых, идеальных рисунков - основа анализа Арктического региона. Границы рисунков структурно-координатной сети интерпретируются в качестве геоморфологических признаков разломов, которые, зачастую, могут быть явно не выражены.

Инструменты современных ГИС и методы геоинформационного картографирования являются наиболее подходящим решением для задач картографирования рельефа, так как являются комплексным продуктом и имеют широкий функционал для проведения аналитических операций, а также являются общедоступными.

Таким образом, целью данной научно-исследовательской работы стало построение структурно-координатной сети для анализа Арктического региона и её дальнейшего применения. Для достижения поставленной цели были разработаны следующие задачи:

- построение структурно-координатной сети;
- выявление рисунков симметрии;
- проведение анализа рельефа Арктического региона.

Глава I. Опыт применения системно-морфологического подхода для картографирования рельефа

Построение структурно-координатной сети рельефа осуществляется в рамках структурного анализа подстилающей поверхности региона. В геоморфологии эта сеть является вторичной моделью, т. е. строгим упрощением аналитической карты, которая была составлена на основе системно-морфологического подхода. Она рассматривается в качестве специального этапа изучения строения подстилающей поверхности. Если аналитическая карта призвана отражать элементы всех категорий или состав подстилающей поверхности, то структурно-координатная сеть направлена на фиксацию основных черт ее строения. Эти структурные особенности выражены во взаимном положении и форме главных, верхних и нижних, линейных элементов подстилающей поверхности, которым подчинена позиция всех её верхних, нижних, склоновых и сквозных элементарных поверхностей.

Для более полного понимания принципов составления структурно-координатной сети рельефа необходимо рассмотреть опыт применения системно-морфологического подхода для картографирования рельефа.

Системно-морфологический подход подразумевает создание системноморфологической основы с выделением линейных, точечных и площадных элементов рельефа, где площадные элементы являются операционными единицами всех последующих карт, а также ячейками ГИС. Для проведения полевых инженерно-геоморфологических изысканий из выбранных поверхностей отбираются характерные и репрезентативные элементы, в рамках которых проводятся изыскания. В результате исследований определяется интенсивность геоморфологических процессов в границах выбранных поверхностей. Измеренные показатели процессов интерполируются и экстраполируются на всю территорию в соответствии с параметрами предварительно выбранных поверхностей. Эффективность данной методики зависит от нескольких факторов, включая вертикальную и горизонтальную расчлененность рельефа, ландшафтное разнообразие и доступность детальных данных о рельефе. Методика наиболее эффективна в регионах со значительной расчлененностью рельефа и разнообразием природных условий.

Большинство системно-морфологических карт было создано на основе топографических и гипсо-батиметрических карт, которые, несмотря на свои достоинства, имеют некоторые недостатки в передаче внешнего облика рельефа и иногда содержат искажения, которые могут повлиять на созданные на основе них системно-

морфологические карты. Чтобы создать более точные и информативные карты, представляется целесообразным использовать первичные материалы, такие как аэрофотоснимки, данные гидрографических промеров и радиолокационное профилирование. Системно-геоморфологические карты высокой точности и информативности могут быть использованы в различных областях, включая инженерную геоморфологию, динамическую геоморфологию, климатическую геоморфологию, агрогеоморфологию - при учете локальных геотопологических условий для планирования мелиоративных работ и другие.

Чтобы глубже изучить системно-морфологический подход в геоморфологическом картографировании, необходимо также рассмотреть место Санкт-Петербургской школы в развитии теории и практики в этой области. Согласно статье "Петербургская школа геоморфологического картографирования К. К. Маркова и её современное развитие", эта школа была создана благодаря геоморфологической триаде К. К. Маркова, которая включает в себя морфографию (морфологию), генезис и геологический возраст предметов на земной поверхности. Эти идеи были успешно реализованы З. А. Сваричевской на практике, а затем В. В. Ермоловым был разработан принцип генетически однородных поверхностей, который позволил создать карты разнообразных форм земной поверхности. А. Н. Ласточкин разработал систему морфологической классификации с математической основой, а геоморфологическая карта на основе системно-морфологического подхода может быть использована в качестве подложки для морфогенетических синтетических карт и карт ландшафтно-экологического содержания. Морфологическая карта также может использоваться для карт многих других видов, включая четвертичную геологию, новейшую тектонику и гидрогеологию. Все это подтверждает правильность выбранного направления развития науки и анализа рельефа земной поверхности.

В последующие годы развития методологии геоморфологии было выяснено, что топография и геоморфология - разделы общей картографии - должны отображать морфологию рельефа с противоположных позиций. Топография имеет задачу представления рельефа через континуальную непрерывность, используя изогипсы, в то время как морфологическое картографирование стремится дискретизировать континуальную поверхность отображения рельефа с помощью геометрии элементарных поверхностей и разделяющих их линий. В 1958 году В. В. Ермолов предложил сложить геометрическую мозаику всех неровностей рельефа из генетически однородных поверхностей на основе работ других ученых. Этот подход к картографированию рельефа значительно упростил структуру общей геоморфологической карты, повысил ее информативность и указал новое направление в создании региональных и локальных

геоморфологических карт. Применение двуслойной модели рельефа улучшило точность изображения и упростило чтение карт геологами, что расширило возможности использования геоморфологической карты в научных задачах. Несмотря на быстрый прогресс в развитии геоморфологической науки, сейчас наблюдается ее стагнация. В связи с этим, использование геоморфологической карты, созданной с применением системно-морфологического подхода, становится особенно актуальным для решения задач в рамках геоморфологии и изучения других поверхностей, представленных в изолинейном виде. При сопоставлении этих поверхностей необходимо проводить анализ с позиций теории многомерной симметрии.

Также стоит рассмотреть опыт применения системно-морфологического подхода для более четкого представления об использовании структурно-координатных сетей для анализа рельефа, ведь данный подход является основой построения данных сетей.

Статья "Геоморфологическая картография нефтегазовых районов Сибири" рассказывает об использовании системно-морфологического подхода для составления геоморфологических карт в районах нефтегазовых объектов в северных регионах России и представляет метод составления геоморфологической карты с применением системно-морфологического подхода на основе имеющихся исходных материалов о рельефе. Для трассировки структурных линий на карте используются топографические карты района исследования масштаба 1:25000. Выделение килевых и гребневых структурных линий осуществляется на основании достаточно расчлененного рельефа местности. Составление карт помогает выявлять опасные геологические явления и оценить возможный риск их проявления. Для более точного трассирования килевых линий необходимо использование космоснимков высокого разрешения. Для выделения склоновых линий необходимо использовать данные детального геодезического профилирования в случае слаборасчлененного рельефа.

Результат работы заключается в вычислении интенсивности различных геоморфологических процессов внутри выбранных поверхностей. После расширения измеренных данных на всю территорию с использованием интерполяции и экстраполяции, информация о характеристиках процессов распространяется на все элементарные поверхности. Для оценки территории, учитывающей многие факторы - геоморфологические, литологические, инженерно-геологические, гидрологические и геоботанические условия каждой геотопы, применяется системно-морфологический подход. Он позволяет сопоставлять карты геокомпонентов и полей показателей для отдельных местоположений. Однако, системно-морфологические карты не всегда точны и информативны, что зависит от качества исходных материалов. Для увеличения точности и

информативности таких карт может использоваться стереофотограмметрический метод обработки аэрофотосъемок. Это позволяет выполнить надежные измерения и построить зоны полива.

В целом, геоморфологические карты, созданные с использованием системно-морфологического подхода, в том числе и структурно-координатные сети, могут в значительной мере способствовать развитию геоморфологической науки, однако, все еще не широко используются из-за своих особенностей составления. Также стоит отметить, что применение таких карт не является повсемесным ещё и ввиду недостаточной осведомленности в научном мире о работах подобного рода; не всегда в научных исследованиях применяются методики работ, заимствованные из смежных направлений деятельности, однако системный подход в изучении каких-либо объектов и явлений подразумевает, зачастую, комплексный анализ происходящих процессов, который также включает и рассмотрение вопросов с точек зрения различных отраслей науки.

Из этого следует также ещё одно направление применения структурно-координатных сетей рельефа - повышение осведомленности научного мира о возможности использования подобных карт для различных научно-исследовательских работ. Более того, развивая представления о СКС и её применении при региональных геолого-геоморфологических исследованиях, следует обратить внимание на особенности структуры земной поверхности, земной коры, новейшего структурного плана и геофизических полей, которые составляют все возможные версии их строения, фиксируемые не только двумя типами осевых для этих зон симметричных линий на плоскости (окружностями и прямыми), но и всеми остальными известными со времён Древней Греции коническими сечениями: эллипсами и гиперболами, параболы и прямыми и их отдельными фрагментами и изогнутыми (сломанными) линейными элементами симметрии (криволинейная симметрия Д. В. Наливкина, более часто встречаемая не в ископаемых организмах, а в современном рельефе земной поверхности (долины огибания) и сдвиговой тектонике (Китчанский надвиг [Ласточкин, 1991])).

В своей совокупности эти линии и их фрагменты образуют характерные структуры, которые позволяют им сгруппироваться в своеобразные образы или рисунки, обладающие некой геометрической и, можно сказать, образной целостностью. Преобладание в реальном рисунке одной из пяти категорий контуров конических сечений (окружность, эллипс и гипербола, парабола и прямая) (рис. 1), их симметричности (наличия элементов симметрии) является основанием для причисления их к единой полной группе конических сечений - симметричных линий на плоскости карты, несмотря на их возможную

диссимметрию и фрагментарность, возможный переход из канонической (классической) симметрии в расширенную.

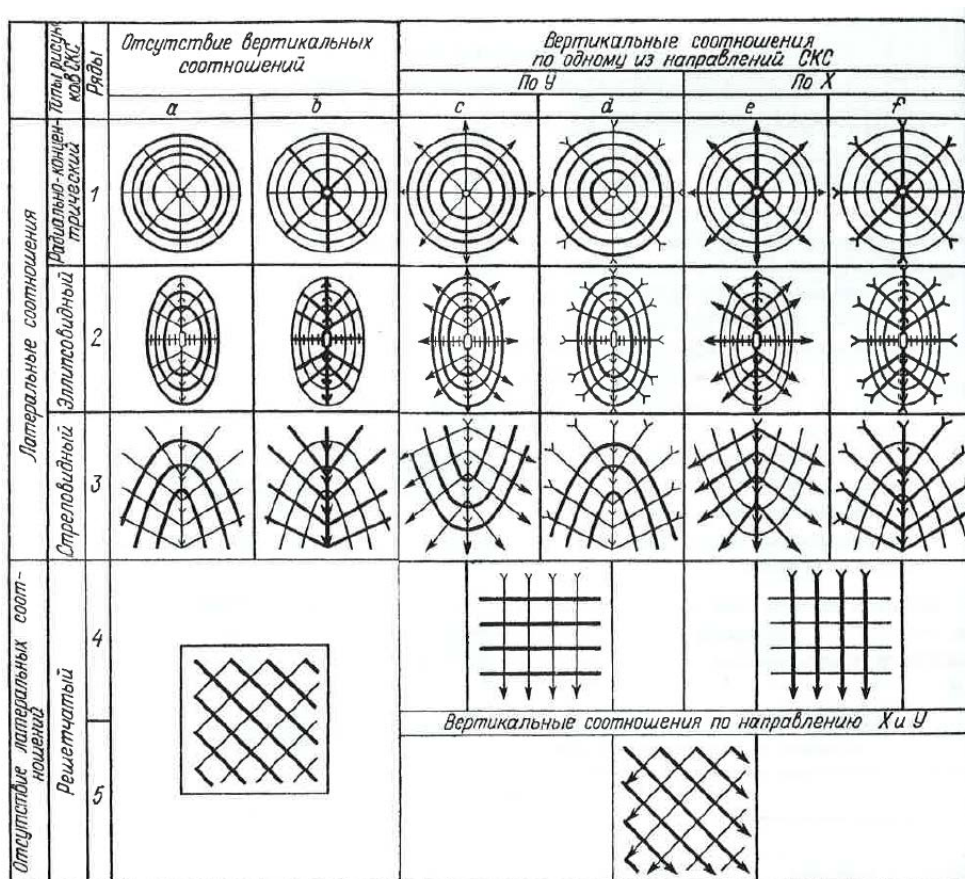


Рис. 1. Полная группа идеальных рисунков СКС (Ласточкин, 2016).

Так или иначе, применение системно-морфологического подхода при комплексном геоморфологическом картографировании, в том числе и для построения структурно-координатных сетей рельефа, показывает свою оптимальность при изучении строения земной поверхности и в целом для геолого-геоморфологических и смежных исследований. Было установлено, что построение СКС на основе системно-морфологического подхода оправдано и для изучения территории Арктического региона, ввиду наглядности отображения и возможности изучения тектонического движения, однако необходима большая изученность территории и достаточное количество исходных материалов.

Инструментами современных геоинформационных систем представляется возможным не только упростить процесс составления подобных карт, но и, отчасти, автоматизировать его. До недавнего времени, ввиду недостаточной осведомленности о существовании подобного метода исследований (с использованием СКС), такие карты составлялись вручную без использования ГИС. Первым применением геоинформационных технологий для создания структурно-координатной сети рельефа

стало составление такой карты для включения в геоморфологический атлас Антарктиды, составленный в 2011 году. В этот фундаментальный труд, помимо всего прочего, также вошли две карты структурно-координатных сетей рельефа Антарктиды (Артемов Ю. М., Ласточкин А.Н., Жиров А.И. Геоморфологический Атлас Антарктиды, 2011) (рис. 2).

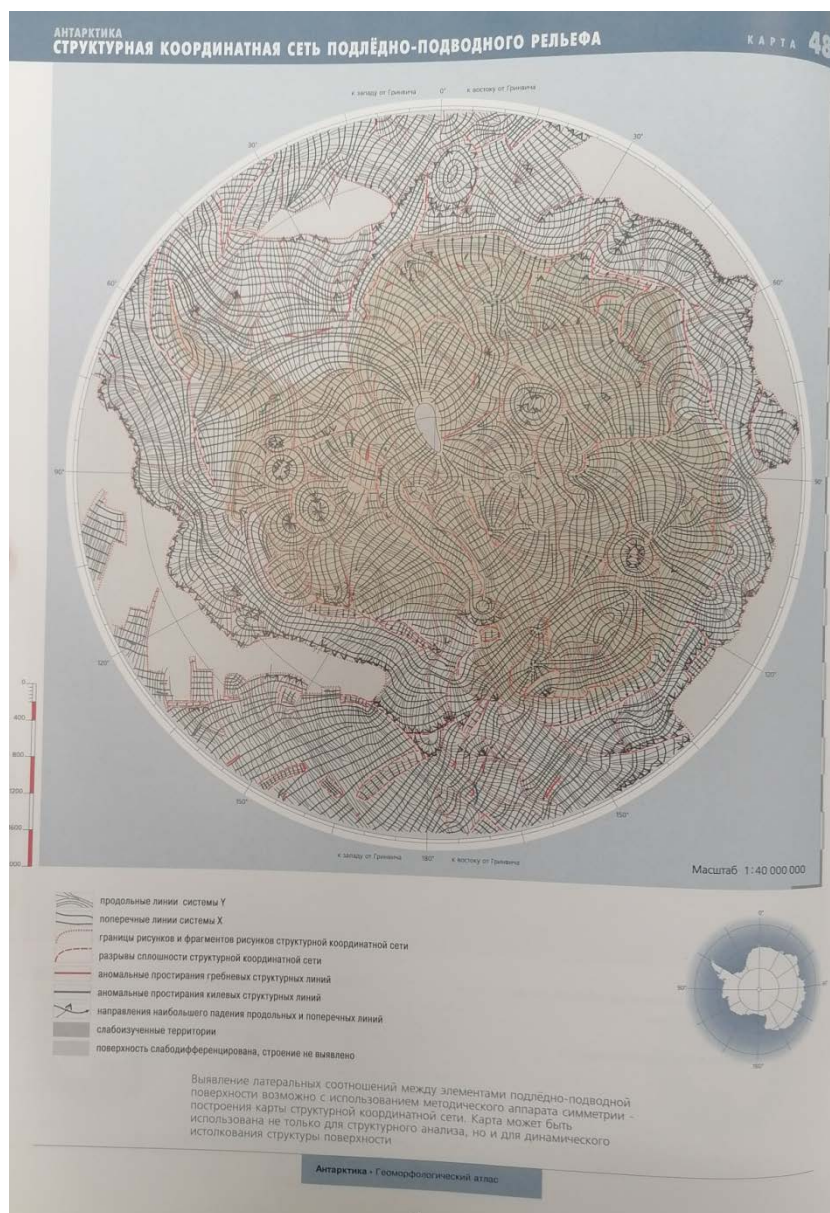


Рис. 2. Структурно-координатная сеть на территорию Антарктиды (Артемов Ю. М., Ласточкин А.Н., Жиров А.И. Геоморфологический Атлас Антарктиды, 2011).

Основываясь на методах, применяемых при реализации данного проекта в целом, была предложена к разработке идея создания геоморфологического атласа Арктики. Он стал инициативным проектом кафедр картографии и геоинформатики и геоморфологии Санкт-Петербургского государственного университета; работы по разработке атласа ведутся с 2017 года. Этот атлас стал первым за всю историю геоморфологических

исследований комплексным агрегированием всей имеющейся на данный момент методической информации об изучении рельефа; ранее выпускались только единичные самостоятельные карты и пособия. Кроме всего прочего, в состав атласа было решено включить структурно-координатную сеть рельефа Арктического региона, разработанную в рамках выполнения данной научно-исследовательской работы.

Содержание атласа и включенные в него картографические материалы, предположительно, должны благотворно сказаться на повышении скорости развития геоморфологической науки; предполагается увеличения числе разрабатываемых карт на данный регион, способствующих получению принципиально новой информации о рельефообразующих процессах.

Глава 2. Составление структурно-координатной сети рельефа Арктического региона

Ранее был произведен обзор опыта применения системно-морфологического подхода для разработки карт, в том числе и структурно-координатных сетей рельефа, а также были рассмотрены основные принципы, которые лежат в основе геоморфологического картографирования.

Структурно-координатная сеть представляет собой упрощение строения рельефа до системы, представленной линиями двух взаимно перпендикулярных направлений. В анализе этой системы главное место занимает выявление своеобразных образов или рисунков. Они и является основным объектом изучения при использовании структурно-координатных сетей при различных научно-исследовательских работах. Все виды идеальных рисунков можно вывести из данных об элементарных симметрических линиях в аналитической геометрии – сечениях конуса плоскостью (рис. 1). К таким идеальным рисункам можно структурно-координатных сетей можно отнести те, в которых:

- одна латеральная система сети отображена проведенными из одного центра окружностями, другая же - радиусами;
- две латеральные системы отображены двумя наборами взаимно перпендикулярных парабол, имеющих общую ось симметрии;
- две латеральные системы отображены двумя наборами взаимно перпендикулярных прямых линий;
- две латеральные системы отображены вписанными друг в друга эллипсами, имеющими общие элементы симметрии.

В целом, построение структурно-координатных сетей основано на соотнесении представлений классической симметрии и теории размерности, предложенном А.А. Кузнецовым (Симметрия структур..., 1976). Так реально существующие рисунки структурно-координатных сетей могут быть соотнесены с известными в аналитической геометрии симметричными линиями. Это и позволяет выявить полную группу идеальных рисунков для анализа на основе СКС. Идеальными рисунками в данном случае понимается совокупность сечений конуса плоскостью под одним и тем же углом к его основанию и нормалей, проведенных к ним. Иными словами структурно-координатная сеть включает в себя линии двух направлений:

- продольное направление Y – гребневые и килевые линии – структурные линии рельефа;
- поперечное направление X – проведенные по нормали к Y линии.

Стоит отметить, что СКС необходима для установки направлений тектонических движений, так как она наглядно отображает как сами формы рельефа, так и их динамику развития.

Для построения СКС необходимо нанести на карту гребневые и килевые линии – так называемые структурные линии, на основе орографических карт арктического региона, карт новейшей тектоники, также построенных с использованием данных батиметрической съемки.

Батиметрические данные составляли основу первого этапа построения структурно-координатной сети – создание карты структурных линий. Они были получены из Международной батиметрической карты Северного Ледовитого океана (The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/arctic.html>)) – ресурса, нацеленного на агрегировании всех доступных батиметрических данных к северу от 64 ° северной широты для использования картографами, исследователями, учреждениями и другими лицами, чья работа требует подробного и точного знания глубины и формы арктического дна. Грид, построенный на основе этих данных, используется для Генеральной батиметрической карты океанов (ГЕБКО). Международная батиметрическая карта Северного Ледовитого океана (IBCAO) (рис. 3) была составлена в 1997 году и с тех пор является авторитетным источником батиметрии для Северного Ледовитого океана. В 2017 году IBCAO объединила свои усилия с проектом Nippon Foundation-GEBCO "Морское дно 2030" с целью картирования глобального морского дна к 2030 году. Исходные батиметрические данные, включающие данные о глубинах, были предоставлены в формате *.dgn. Также были использованы различные геоморфологические карты и схемы подводного рельефа Арктического региона.



Рис. 3. Международная батиметрическая карта Северного Ледовитого океана (IBCAO) (URL: <https://www.gebco.net/about-us/committees-and-groups/scrum/ibcao/> [электронный ресурс]. Дата обращения: 17.02.2023).

В качестве основного программного обеспечения для построения структурно-координатной сети рельефа была выбрана геоинформационная система QGIS (версии 3.16) ввиду неограниченности её распространения. Также QGIS является комплексным решением для любых задач геоинформационного картографирования.

Для уточнения расположения гребневых и килевых линий необходимо было интегрировать растровые геоморфологические карты в ГИС-проект. Также подгружался shape-file с береговой линией Арктического региона для более наглядного отображения расположения характерных форм рельефа. Также строилась координатная сеть; отображение данных решено было давать в азимутальной проекции (рис. 7).

Базовыми инструментами QGIS не представляется возможным построение сетки для азимутальной проекции, поэтому она также создавалась в ручную. Для этого необходимо было сначала создать файл с координатами узловых точек картографической сетки в формате *.CSV. Шаг по широте решено было сделать 10°, по долготе – 5°, однако, так как параллели представлены дугами концентрических окружностей, необходимо было располагать точки чаще, для того, чтобы линии были сглаженными.

Далее необходимо было визуализировать узловые точки в QGIS с помощью команды Слой > Добавить слой > Добавить слой из текста с разделителями. Система координат - по умолчанию WGS 84.

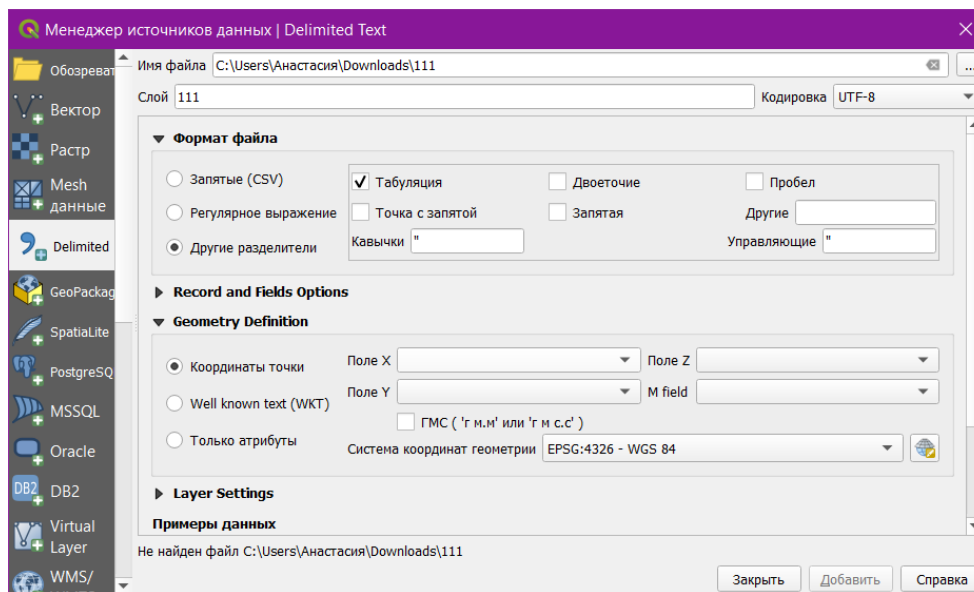
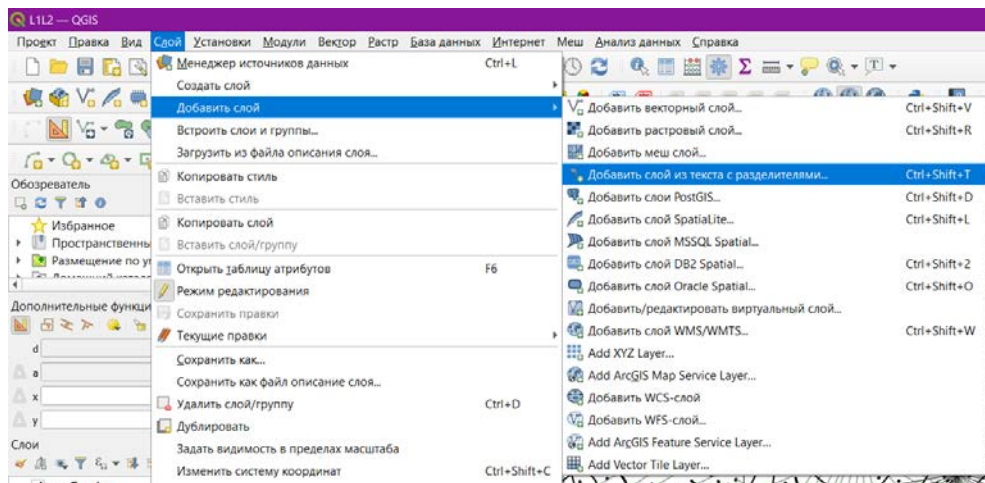


Рис. 4. Добавления файла CSV для визуализации координатной сетки.

Далее необходимо было преобразовать точки в полилинии с помощью соответствующего инструментария «Точки в путь», получив картографическую сетку. Для построения параллелей необходимо было применить параметры инструмента, представленные на рис. 5. Следующим шагом по аналогии необходимо было построить меридианы, с шагом в 10° , так как они представлены прямыми линиями. Для построения меридианов использовались параметры инструмента «Точки в путь» представленные на рис. 6.

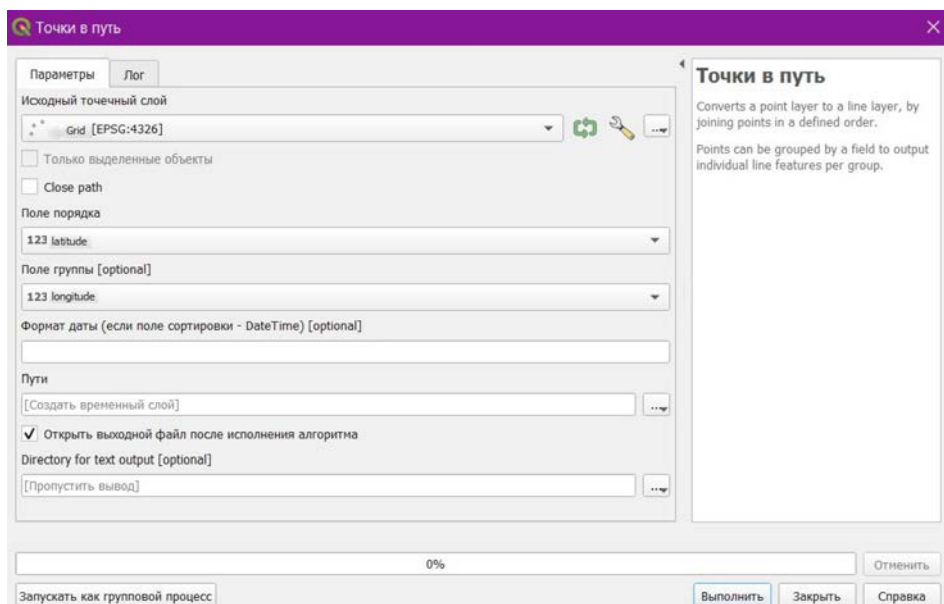


Рис.5. Параметры инструмента «Точки в путь» для построения параллелей.

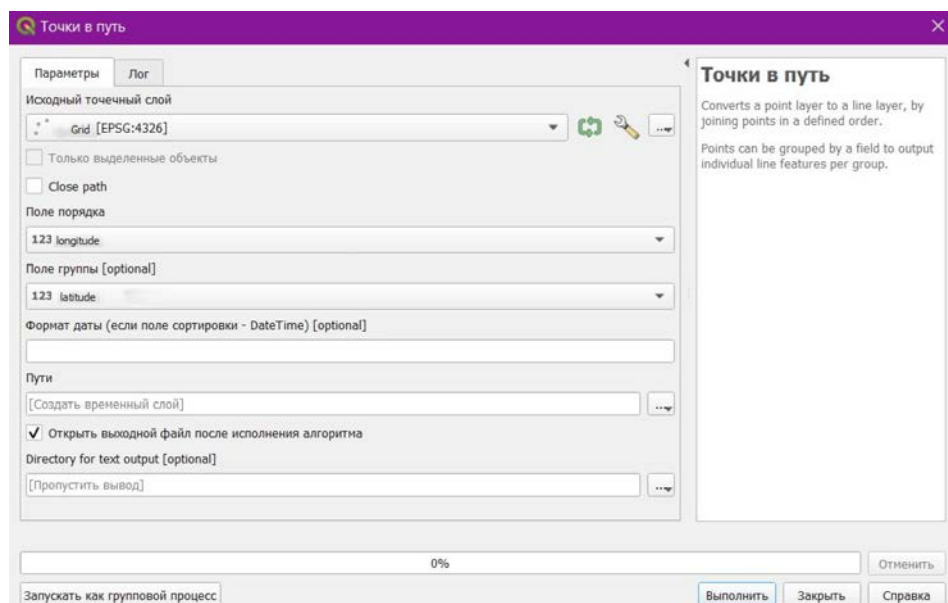


Рис. 6. Параметры инструмента «Точки в путь» для построения меридианов.

Векторные данные береговой линии, а также растровые аналитические геоморфологические карты были предоставлены Всероссийским научно-исследовательским геологическим институтом им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ).

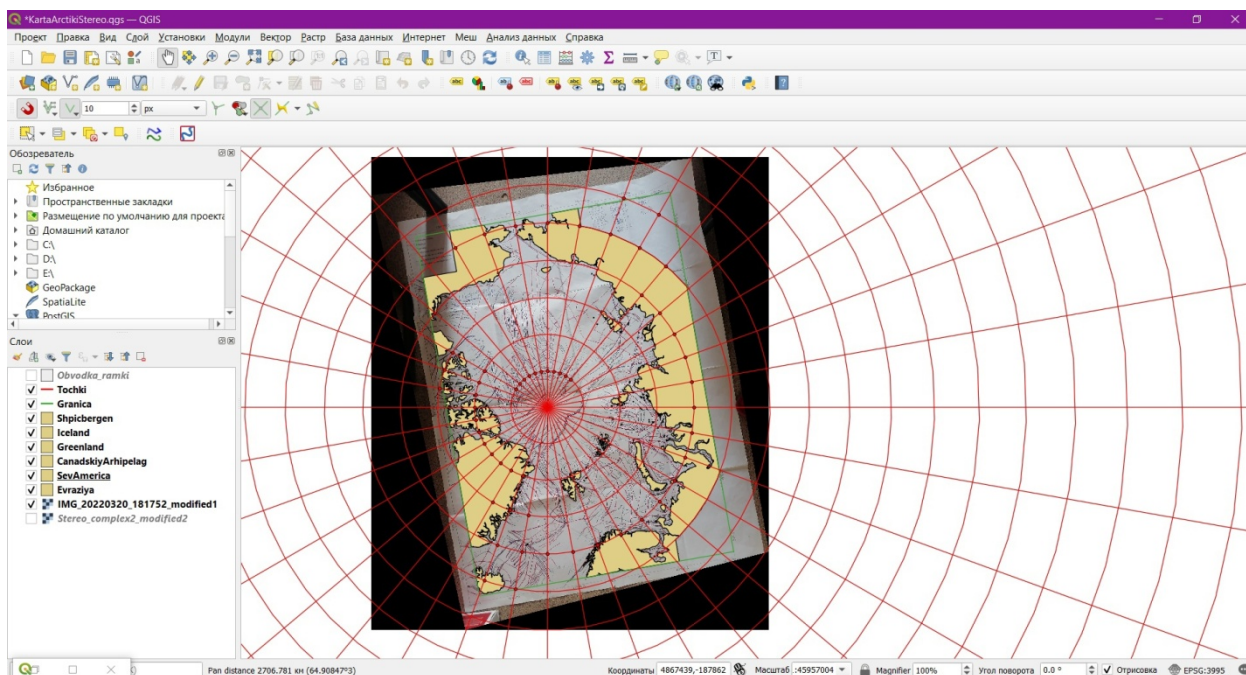


Рис. 7. Привязанное в QGIS исходное изображение.

Все растровые изображения были привязаны, и со всех была снята информация о характерных формах рельефа. Таким образом, было обработано порядка 10 карт и схем рельефа Арктического региона. Векторные очертания береговой линии также служили дополнительным параметром оценки точности привязки изображений.

Основной задачей при выполнении данного вида работ стало определение прокций и систем координат предоставленных исходных растровых изображений. Для получения наиболее полной картины расположения характерных форм рельефа было необходимо обращаться к данным за разные временные промежутки; это было также необходимо и для отслеживания динамики распространения явлений и эволюции данных о них.

Следующим этапом стало непосредственное построение структурно-координатной сети. Наносились линии продольного направления – гребневые и килевые линии рельефа. Для наглядности отображения было решено показывать гребневые и килевые линии различными типами линий, однако для дальнейшей работы – составления СКС – они были снова отображены линиями одинакового типа (рис. 8). Также проводились дополнительные линии экстраполяции и интерполяции. Максимальное число таких линий пришлось наносить на обширных площадях в пределах мелководных шельфов и днищ абиссальных глубин. Однако их направление определялось вполне уверенно по простирацию продольных длинных бортов вытянутых океанических котловин, бровки шельфов Восточно-Сибирского, Чукотского морей и моря Лаптевых, приуроченных к вышебровочным фасам и их совокупностям.

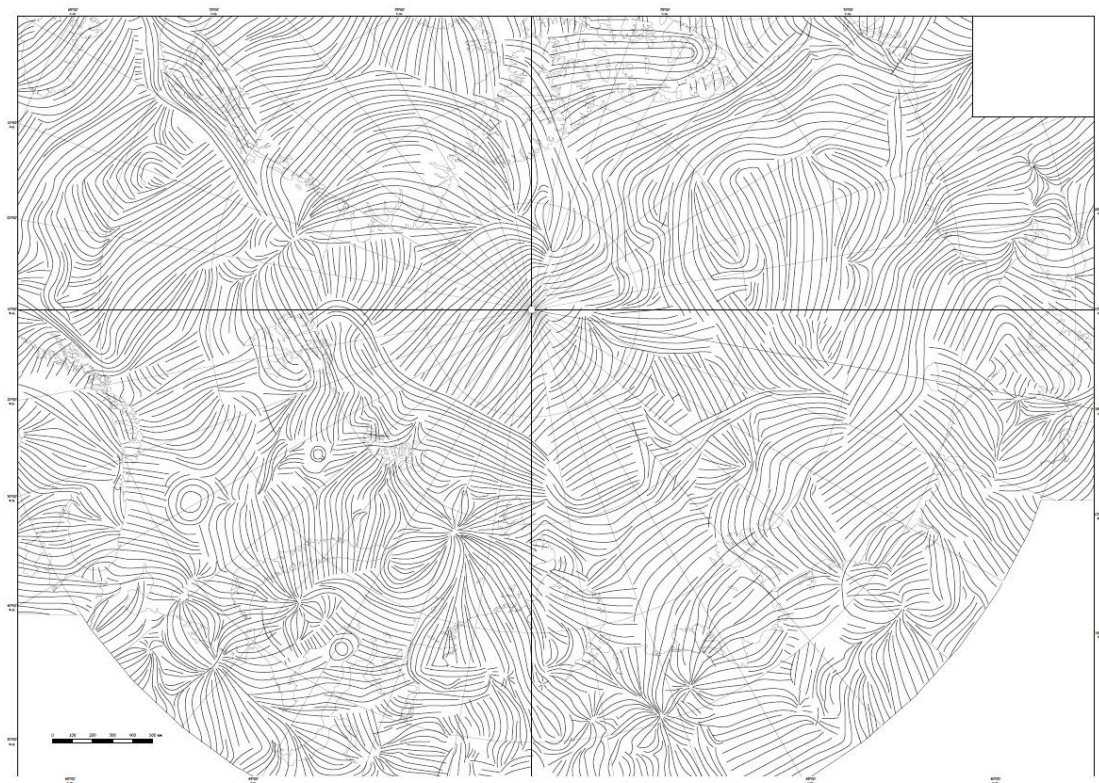


Рис. 8. Основа для построения структурно-координатной сети рельефа Арктического региона, масштаб 1 : 5 000 000.

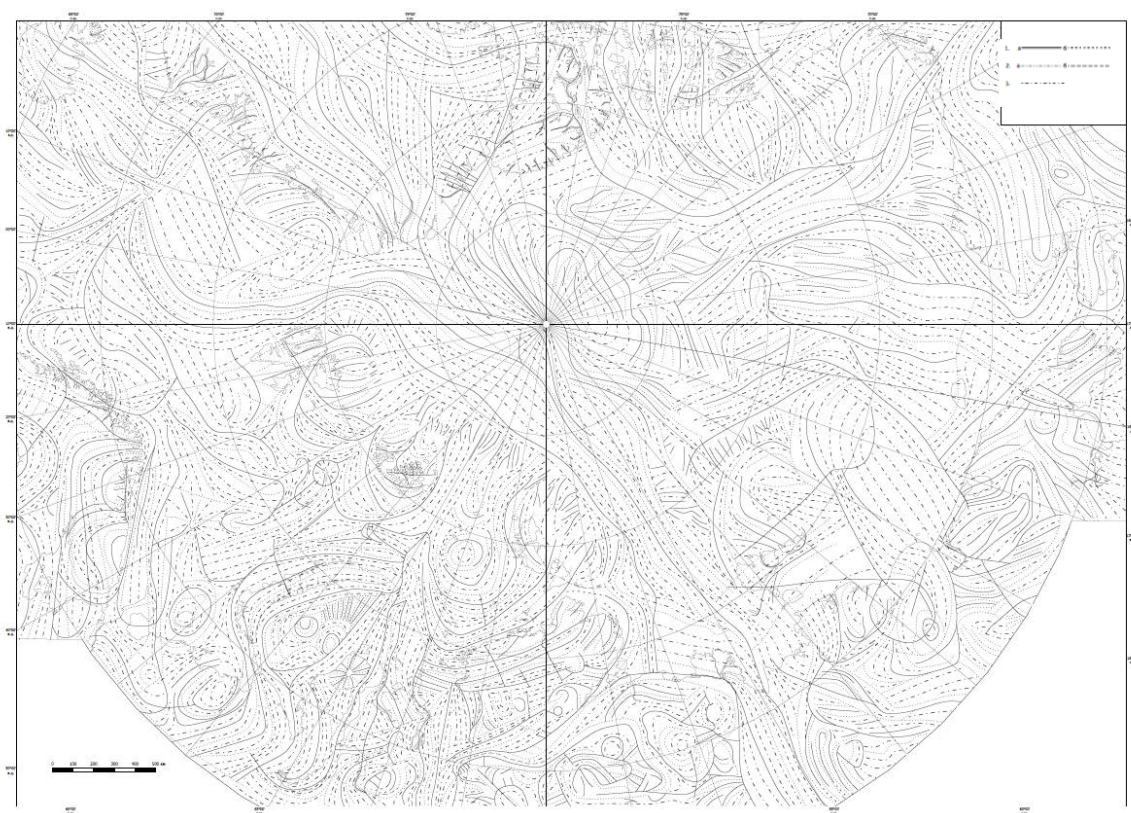


Рис. 9. Карта структурных линий рельефа Арктического региона, масштаб 1 : 5 000 000.

Уверенность в проведении дополнительных линий возрастает также и в связи с соответствием их направления с простираемостью отрицательных форм и протяжённостью субпараллельных им вытянутых частей земной поверхности с отрицательной анизотропией рельефа.

В результате была составлена одна из промежуточных карт – карта структурных линий, она представлена на рис 9.

Ранее не предполагалось включать промежуточные материалы, такие как отдельная карта линий продольного направления, в состав разрабатываемого геоморфологического атласа Арктики, однако впоследствии было решено внести и их. Это делалось для того, чтобы наглядно показать все этапы разработки СКС, а также более доходчиво объяснить суть использования методов исследования, основанных на использовании структурно-координатных сетей для анализа рельефа.

Однако, так как карта структурных линий составлялась изначально не под формат атласа, конечный результат получился 84,1x118,9 см в масштабе 1 : 5 000 000. Поэтому, также было необходимо включить в работу дополнительный этап – генерализацию структурных линий с сохранением отображения основных форм рельефа.

Так было решено перевести карту структурных линий рельефа Арктики в масштаб 1 : 15 000 000. Такой масштаб можно было разместить на листе карты формата А3 - 210x297 мм – формат разрабатываемого атласа. Однако это решение повлекло за собой некоторые другие трудности – необходимо было произвести отбор и генерализацию гребневых и килевых линий. Дополнительные линии – результат экстраполяции и интерполяции – решено было не включать в данную карту, их наличие необходимо было отобразить на карте более крупного масштаба – структурно-координатная сеть строилась на основе карты масштаба 1 : 5 000 000.

Генерализация векторных данных в геоинформационном картографировании является одним из основных проблемных вопросов, так как достичь полной автоматизации этого процесса не представляется возможным. Несмотря на то, что существует широкий спектр различных инструментов в современных ГИС для проведения автоматического сглаживания контуров, удаления объектов меньше заданной площади (и по другим атрибутам), и так далее, результаты такой машинной генерализации практически никогда не могут быть применены без постобработки и анализа человеком. Поэтому генерализация в данном случае проводилась в смешанном режиме – отбор линий осуществлялся вручную, генерализация очертаний структурных линий – автоматически с использованием модулей Generalizer и Cartographic Line Generalization. На рис. 10 представлены подобранные империческим путем настройки модуля Generalizer и

Cartographic Line Generalization для генерализации, они использовались и оставались неизменными во время всего выполнения научно-исследовательской работы. Обобщение и сглаживание линий (частично основано на модуле v.generalize GRASS).

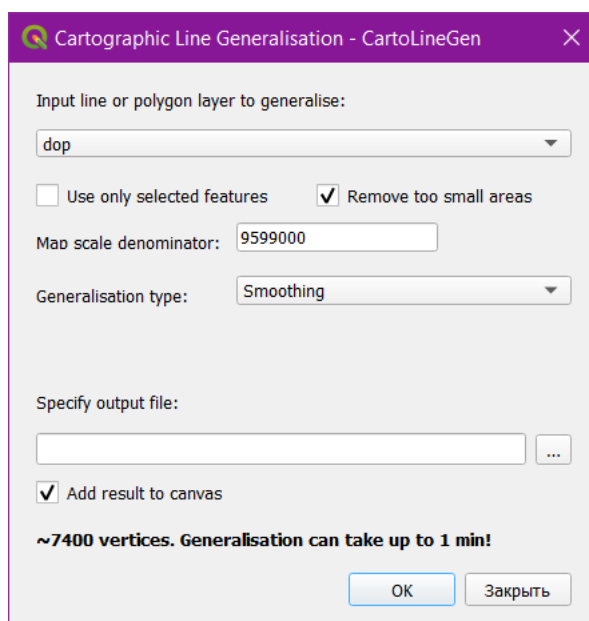
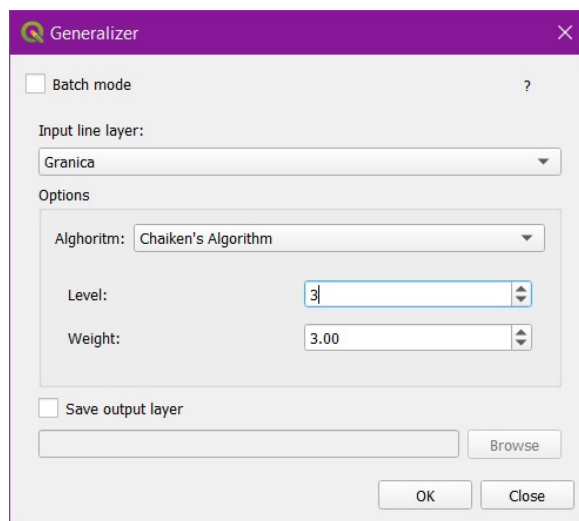


Рис. 10. Настройки модулей Generalizer и Cartographic Line Generalization в QGIS.

Модуль Cartographic Line Generalization по большей части применялся для сглаживания векторных линий, так как векторизация проводилась вручную.

Также одной из проблем автоматической генерализации является также и необходимость применения системного подхода при геоинформационном картографировании. Сложность реализации задания всех необходимых для учета параметров при генерализации также делает невозможным её проведение в

автоматическом режиме. Наиболее важным из таких параметров является необходимость согласования всех элементов карты друг с другом.

Основой работы по генерализации стало использование модуля Cartographic Line Generalization. Алгоритм отображает линии (контуры, береговые линии, реки, здания и т.д.) на карте с хорошими геометрическими и визуальными свойствами, подходящими для представления на бумажных или электронных картах. Уровень обобщения контролируется только масштабом карты, что делает его очень простым в использовании. Если результат по-прежнему выглядит слишком детализированным или слишком грубым для какой-либо цели, предоставляется возможность изменить параметр масштаба. Модуль обладает отличительным свойством сохранения особенностей местности. Это гарантирует, что полигоны не свернутся в линии или точки. Тем не менее, возможны топологические проблемы, например самопересечения или пересечения объектов. Типичное обобщение сочетает в себе упрощение с последующим сглаживанием. Алгоритмы обобщения основаны на подходе, сохраняющем область, известном из теории обобщений. Это имитирует ручное обобщение, а параметры алгоритмов были определены путем анализа обобщенных вручную линий в различных масштабах.

После проведения автоматической генерализации необходимо было пересмотреть все полученные в процессе её выполнения результаты на предмет согласования всех линий друг с другом, а также, опираясь на использованные ранее аналитические геоморфологические карты, - на предмет соответствия генерализированных форм рельефа с реально существующими.

Далее редактируя отдельные узлы полилиний, производилась корректировка контуров и создавалась карта гребневых и килевых линий в конечном её виде.

В результате была составлена карта структурных линий (гребневых и килевых) рельефа Арктического региона в масштабе 1 : 15 000 000 (рис. 11). Структурные линии также были отражены одним типом и в масштабе 1 : 15 000 000 (рис. 12) для дальнейшей работы с ними.

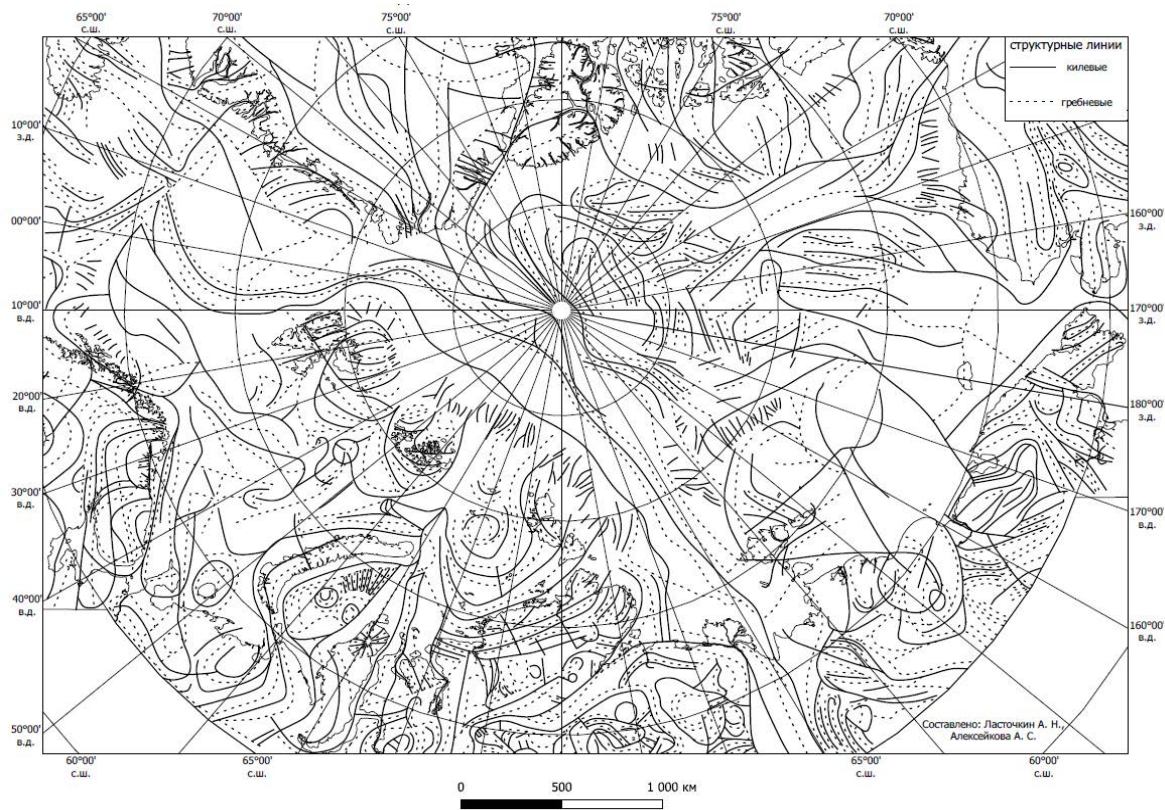


Рис. 11. Карта структурных линий рельефа Арктического региона, масштаб 1 : 15 000 000.

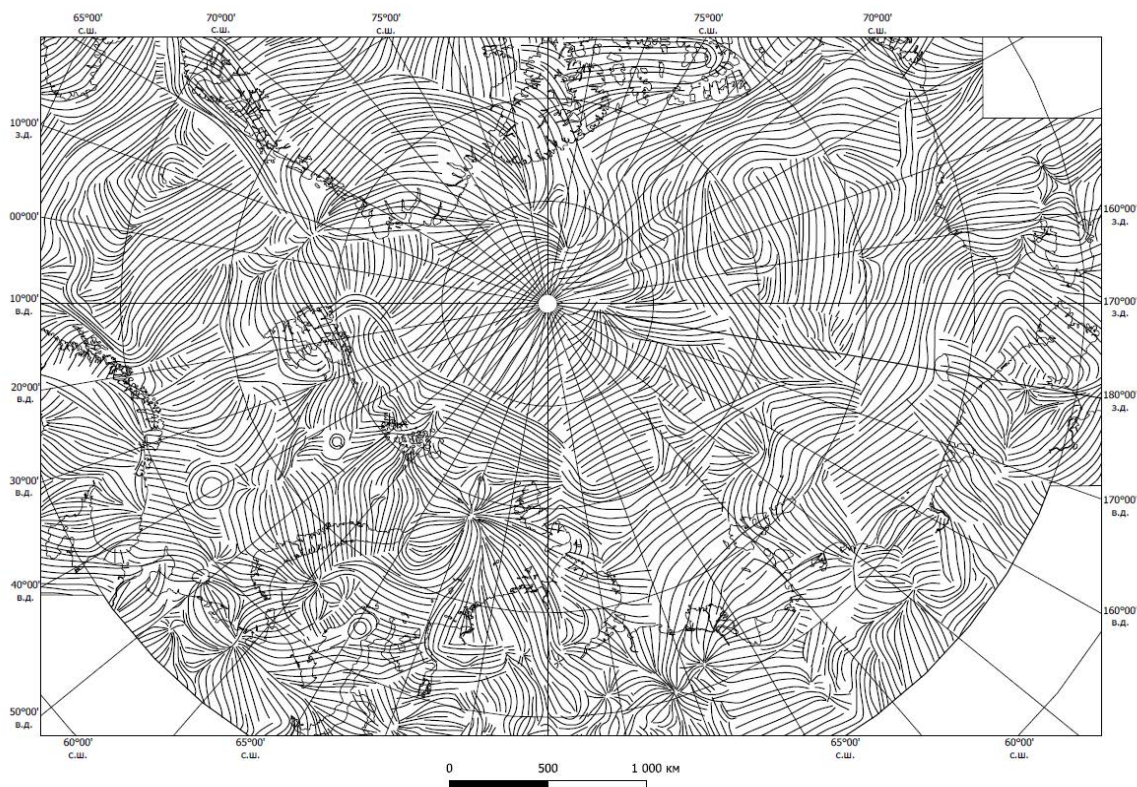


Рис.12. Основа для построения структурно-координатной сети рельефа Арктического региона, масштаб 1 : 15 000 000.

Выделение продольного направления структурно-координатной сети осуществлялось при использовании гипсобатиметрических карт указанного масштаба, построенной на её основе аналитической карты региона с выделением гребневых и килевых, а также интерполирующих, экстраполирующих и дополняющих их линий, фиксирующих в сумме своей направление (Y) всех каркасных (верхних и нижних) линейных элементов.

Уже на данном этапе проведения построений можно было выделить некоторые рисунки, отображающие направления тектонических движений.

Следующим этапом стало построение поперечного направления структурно-координатной сети. Для этого проводились нормали к уже имеющемуся продольному направлению.

На рис. 13 представлен принцип построения СКС на основе структурных линий. Для наглядности красным цветом обозначены гребневые линии, синим – килевые, впоследствии, структурным линиям будут заданы стили линий в соответствии с условными знаками на геоморфологических картах.

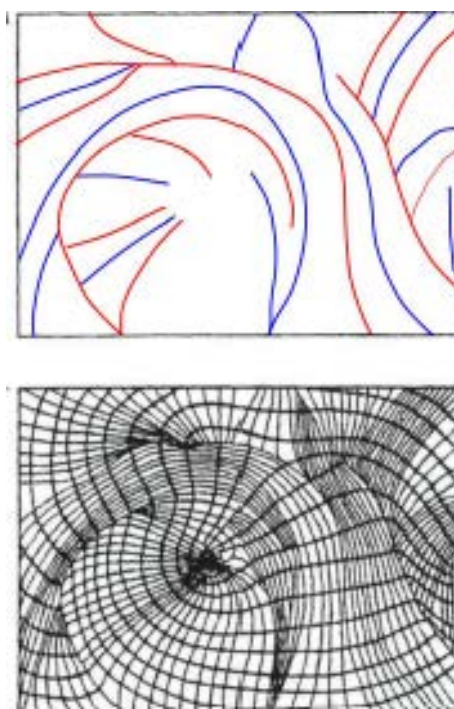


Рис. 13. Построение СКС (Ласточкин, 2016).

Красным цветом обозначены гребневые линии, синим – килевые

Построение нормалей осуществлялось с использованием дополнительных инструментов оцифровки в QGIS (рис. 14).

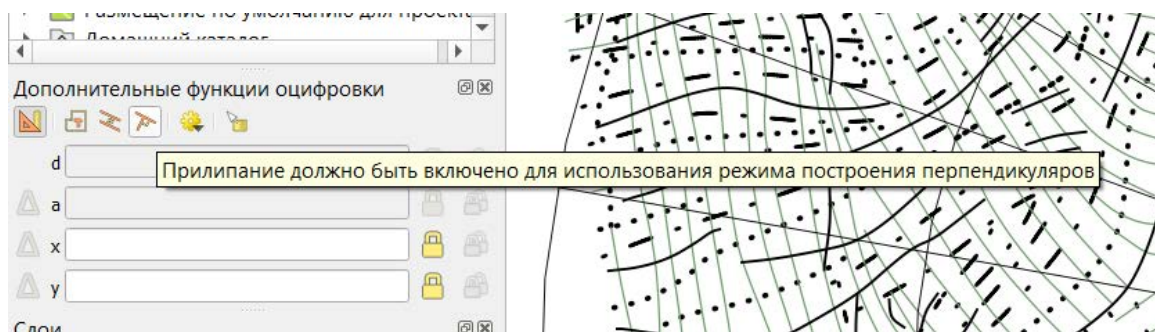


Рис. 14. Дополнительные функции оцифровки в QGIS.

Подобным образом была составлена структурно-координатная сеть Арктического региона, представленная на рис. 15. Также она была представлена и на листе формата составляемого геоморфологического атласа (рис.16).

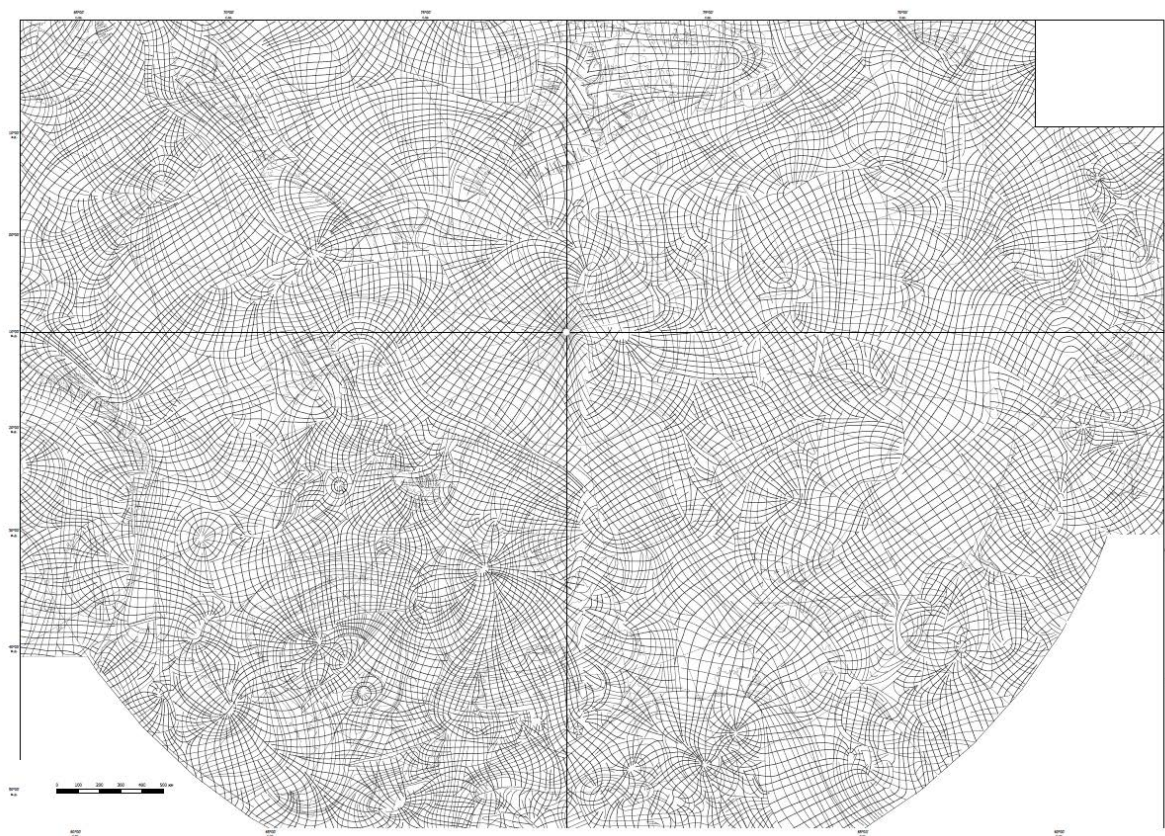


Рис. 15. Структурно-координатная сеть Арктического региона, масштаб 1 : 5 000 000.

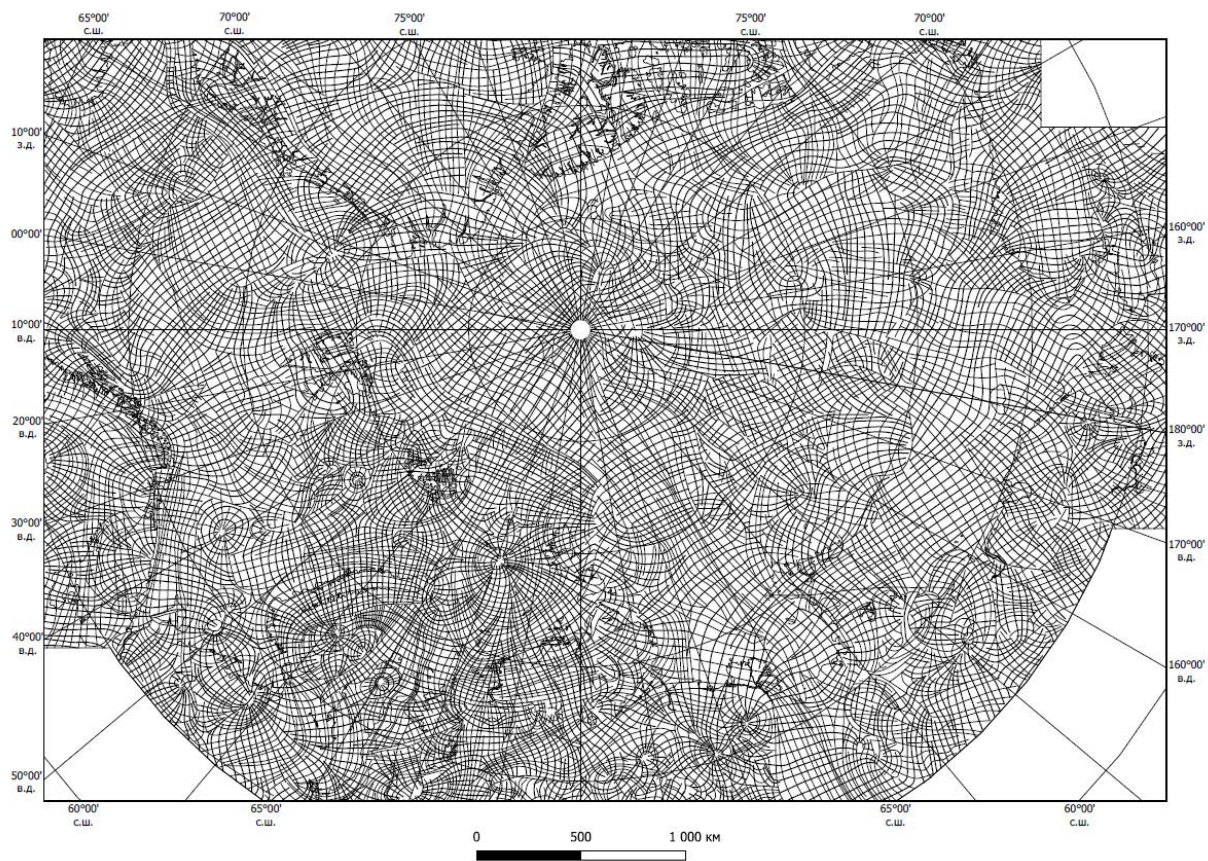
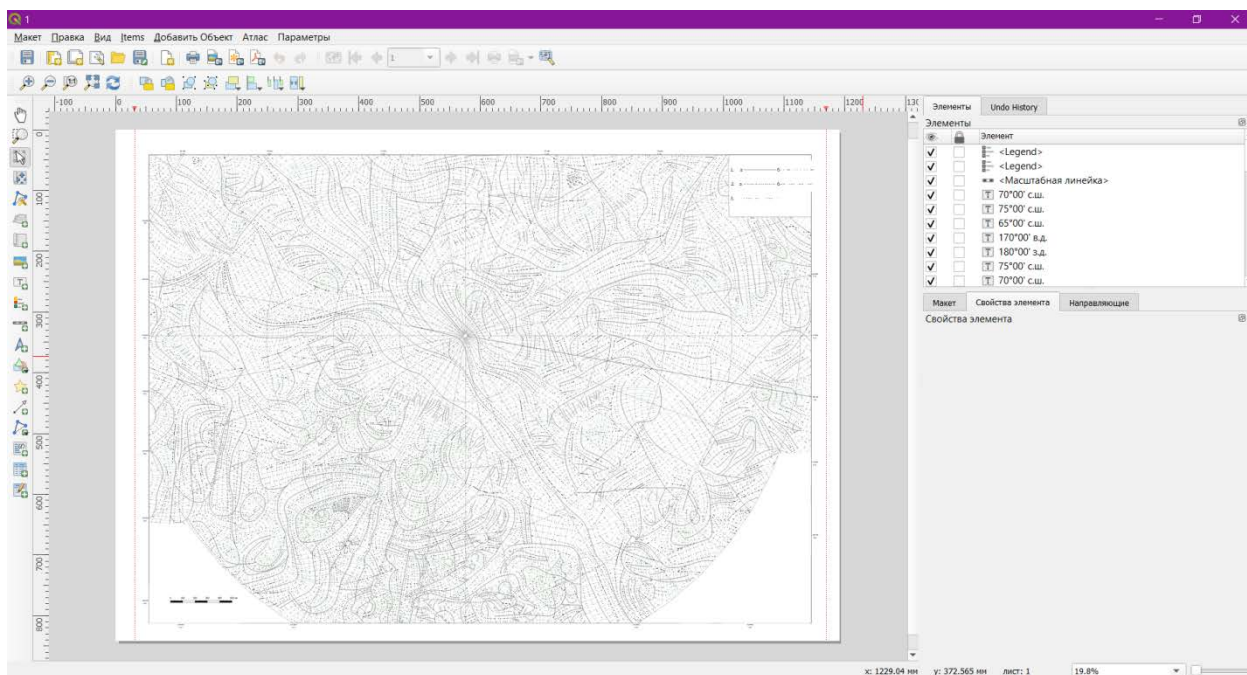
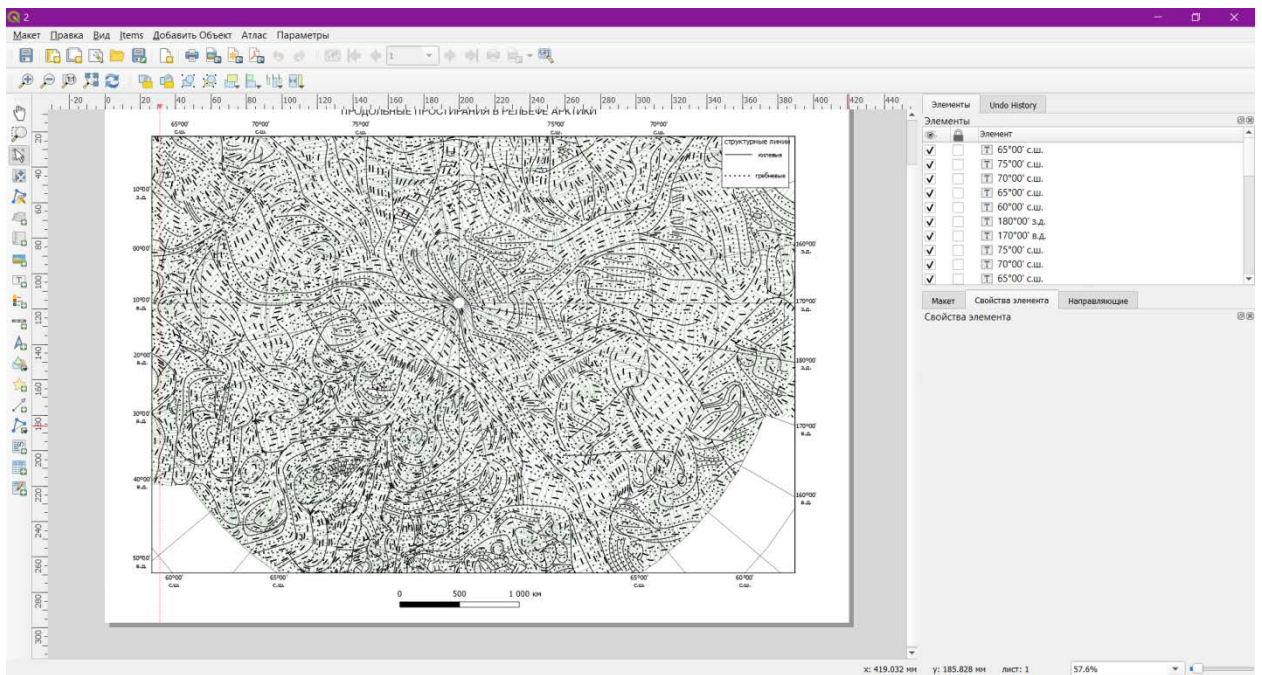


Рис. 16. Структурно-координатная сеть Арктического региона, масштаб 1 : 15 000 000.

Оформление карт производилось в макете QGIS с использованием инструментов для создания всех необходимых элементов (рис. 17).



А)



Б)

Рис. 17. Макеты для создания конечных карт в масштабах 1 : 5 000 000 (А) и 1 : 15 000 000 (Б) в QGIS.

Далее, опираясь на представленную на рис. 1 таблицу, выделялись соответствующие формы рельефа. Здесь представлены идеальные варианты рисунков СКС, однако чаще всего встречаются их деформированные версии, или их части.

Изучение симметрии рельефа основывается на соотнесении реальных фигур СКС с четырьмя группами идеальных рисунков симметричных линий на плоскости (сечений конуса): а) радиально-концентрический, б) стреловидный, в) эллипсовидный или гиперболовидный и г) решетчатый.

Структурно-координатная сеть в геоморфологии является вторичной моделью – строгим упрощением аналитической карты, составленной на системно-морфологическом принципе, рассмотренном ранее. Она рассматривается в качестве специального этапа изучения строения подстилающей поверхности. Если аналитическая карта призвана отражать элементы всех категорий или состав подстилающей поверхности, то СКС направлена на фиксацию основных черт ее строения. Эти структурные особенности выражены во взаимном положении и форме главных, верхних и нижних, линейных элементов подстилающей поверхности, которым подчинена позиция всех её верхних, нижних, склоновых и сквозных элементарных поверхностей. Учет падения линий X и Y позволяет выделить конечное множество (число вариантов – 22) или полную группу идеальных рисунков структурно-координатной сети, с которыми могут быть сопоставлены реальные фигуры. Вслед за этим определением можно выявить (и даже

количественно оценить) искажение или диссимметрию последних. Симметрия и диссимметрия поддается морфодинамической интерпретации реальных выделенных в изученном районе группировок всех линий структурно-координатной сети, идентифицируемых с 22 её идеальными фигурами (рис. 1).

Далее на основе составленной структурно-координатной сети был выполнен первичный анализ рельефа Арктики, на рис. 18 представлено выделение рисунков, которые подлежат более чательному анализу и должны учитываться при предварительном камеральном планировании и непосредственном полевом планировании галсов поисковых и эксплуатационных работ. В связи с этим при проведении всех подобных видов работ должны подвергаться тщательному анализу не только крупномасштабные аналитические геоморфологические карты, но и подобные структурно-координатные сети, построенные на их основе.

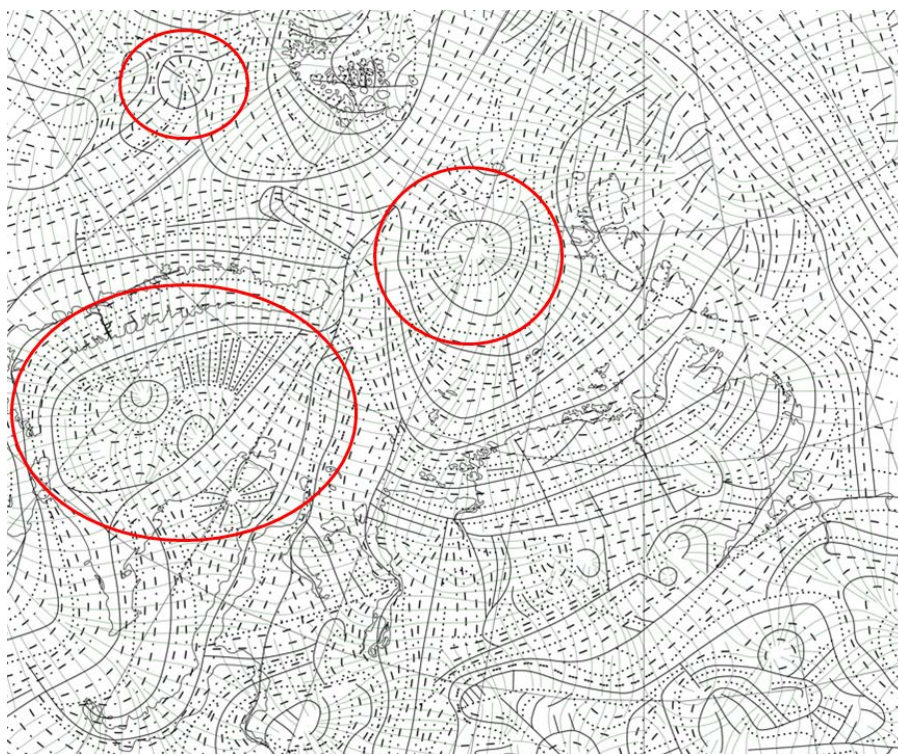


Рис.18. Выделение рисунков на СКС.

Выделение групп рисунков СКС и их частей на данном этапе проводится в ручном режиме, что может повлечь за собой появление ошибок и неточностей.

Подводя итог, можно сказать, что построение структурно-координатной сети рельефа Арктического региона инструментами современных геоинформационных систем представляется возможным, однако, существенным недостатком является необходимость

проведения всех работ по её составлению в ручном режиме; невозможно достичь полной автоматизации ввиду многих факторов, в том числе и трудностей задачи параметров для применения системного подхода при векторизации и генерализации объектов, а также при выделении групп рисунков СКС автоматически.

Глава 3. Анализ Арктического региона и применение структурно-координатной сети рельефа

Геоморфологические карты являются важным инструментом для организации различных видов территориальных работ, как научных, так и прикладных. С их помощью можно провести достоверный анализ текущей ситуации, оценки и прогнозы, поскольку рельеф обычно выступает в качестве организующей и распределяющей основы ландшафта. В настоящее время геоморфологическое картографирование в Российской Федерации и за рубежом испытывает, с одной стороны, большой приток новых возможностей, с другой стороны, оно страдает от нехватки универсальных, инвариантных методов. Разномасштабное аналитическое геоморфологическое картографирование может стать основой для других полезных видов геоморфологического картографирования (хрономорфогенетического, картографирования природных процессов и рисков и т.д.). Этот метод основан на системно-морфологическом подходе А.Н. Ласточкина и новых, гораздо более детализированных цифровых моделях рельефа (ЦМР) и космических фотографиях. Системно-морфологический подход подразумевает разделение земной поверхности на строго определенные площадные элементы с определенным набором морфологических и динамических характеристик. Эти площадные элементы являются удобными единицами измерения для анализа природных условий, оценки и прогноза. Новые цифровые модели рельефа - ASTER GDEM v2 и ArcticDEM - имеют более высокое разрешение (до 2 м). Их данные, а также данные спутниковых снимков (ESRI, Landsat) могут быть обработаны с использованием современных геоинформационных систем ArcGIS и QGIS. В качестве пилотных площадок были выбраны территории в пределах Российского Севера: на западе полуострова Ямал (Ямало-Ненецкий автономный округ), в низовьях реки Яна (Республика Саха-Якутия) и в окраинной части массива Омолон (Камчатский край). Эти малоизученные районы отличаются амплитудой рельефа: от десятков метров на Ямале до километра и более в массиве Омолон. Это сделает новую технику пригодной для применения в различных условиях. Другим, более важным фактором при выборе пилотных площадок является растущий интерес к освоению природных ресурсов Российского Севера и резкое увеличение числа различных промышленных и научных проектов, для которых может оказаться актуальной новая методика геоморфологического картографирования. Полученные морфогенетические карты планируется сравнить с геоморфологическими схемами, доступными для этих районов из набора Государственной геологической карты - чтобы проиллюстрировать значительно большие возможности, предлагаемые нашим методом, по сравнению с

Госгеолкартой, используемой в настоящее время для геоморфологических схем. Результаты этой работы будут опубликованы в российских научных журналах. Мы ожидаем, что новый метод крупномасштабного аналитического геоморфологического картирования будет полезен крупным российским научно-исследовательским институтам и организациям, занимающимся освоением северных территорий и недр, а также строительным, производственным и инфраструктурным компаниям на стадии проектирования и технико-экономического обоснования проекта. Стоит уточнить, что структурно-координатная сеть рельефа Арктического региона как раз и основана, в том числе, и на геоморфологических картах, составленных с использованием системно-морфологического подхода.

Как упоминалось ранее, для планирования и осуществления поисково-разведочных и инженерно-геологических исследований, таких как профилирование, донное опробование, прокладка трубопроводов, сбор субмаринных газовых гидратов и других, необходимо более подробное представление о составе и структуре рельефа подводной или подледной зоны. Для этого рекомендуется создание основанной на гипсобатиметрических данных структурно-координатной сети рельефа на всю территорию работ. В результате создания карты можно выбрать наиболее оптимальные направления научно-исследовательских работ в соответствии с продольной и поперечной системами СКС. Продольные системы обычно более просты, тогда как поперечные системы более комплексны из-за разнообразия структурных элементов и принципов построения. Для сбора полезных компонентов, таких как, например, железомарганцевые конкреции, необходимо изучение геолого-геофизических показателей региона, а также наличие технических средств сбора данных.

Именно для этого и предполагается использование структурно-координатных сетей, так как систему поперечных линий СКС можно считать фиксированием направлений поисково-разведочных галсов, а систему продольных линий – направлением эксплуатационных галсов. Уклоны рельефа также являются существенным показателем для планирования добычи руд с помощью гусеничного транспорта. Также необходимо учитывать возможность распространения мутьевого плюма, который образуется в процессе эксплуатации месторождений, а также определять естественные барьеры его распространения и области осаждения взвеси. Для решения задач, связанных с геоэкологией и поиском месторождений, необходимо иметь карту, на которой будет отображена детальная информация о циркуляционной и гравитационной экспозиции на конкретных локациях. Для ее создания необходимо использовать специальное

программное обеспечение, а также иметь высококвалифицированную команду картографов и геоморфологов, а также экспертов по компьютерным технологиям.

Для выделения продольного направления СКС в данном случае были использованы гипсобатиметрические карты указанного масштаба, основанные на аналитических картах Арктического региона и доступных батиметрических данных. Продольное направление включает в себя гребневые и килевые линии, а также дополнительные линии, которые в конечном итоге и составляют каркас СКС - направление Y.

Построение СКС в конечном итоге можно свести к следующим основным произведенным операциям:

- зафиксировать медианные линии и линейные контуры плосковершинных и плоскодонных элементов поверхности, а также изометрические контуры с геометрическими центрами и вершинами;
- дополнить совокупность указанных линий вспомогательными линиями с равными расстояниями, проведенными через треугольную интерполяционную палетку, чтобы отразить продольное направление на карте;
- восстановить поперечные линии путем трассирования по нормали к структурным и дополнительным линиям для отображения поперечного направления и связывания всех линий в четкие рисунки СКС.

Проводя непосредственный анализ построенной структурно-координатной сети, не было выявлено доминирования каких-либо линий, отражающих общую закономерность строения ЗП и новейшего структурного плана. Однако фундаментальные различия в новейшей структуре каждого района Арктического региона стали очевидными. Простирание каркасных линий ЗП и геофизических полей имеет частое соответствие, что может говорить о возможной общей природе или едином факторе образования этих элементов. Учёт простираний двух систем СКС (X и Y) может повлиять на стоимость работ, включая использование воздушных и водных носителей геофизической аппаратуры за счёт применения наиболее информативных систем СКС в каждом из районов и учета величины междугалсовых расстояний.

Также можно сказать, что в СКС преобладает решетчатый рисунок, где продольное направление ориентировано субмеридионально, а поперечное – субширотно. На фоне этого рисунка появляются маленькие участки с мультиринговыми и эллипсовидными рисунками, которые могут говорить о наличии вулканических образований. Используя СКС, которая показывает основные черты подстилающей поверхности, исследователи могут изучать рельеф разных типов симметрии и определять геоморфологические особенности разрывов и границ рисунков СКС, которые могут быть ярко не выражены.

На основе различных аналитических операций, выполненных с использованием построенной структурно-координатной сети, также предполагается возрастание числа принципиально новых картографических материалов на территорию Арктического региона, что должно существенно сказаться на повышении скорости развития геоморфологической науки. Это же в свою очередь должно повлечь за собой ускорение изучения данного региона. Однако для того, чтобы повысить осведомленность о методах исследований на основе СКС, необходимо включить данную карту в комплексный труд – геоморфологический атлас Арктики.

Ранее предполагалось включить карты, составленные в ходе работ по созданию структурно-координатной сети, и её саму в один из разделов атласа, однако позже было решено посвятить её разработке отдельную главу.

Создание макета геоморфологического атласа Арктики производилось в программе для верстки Adobe InDesign, так как данное программное обеспечение поддерживает, в том числе, и экспорт в различные форматы изображений, из которых наиболее приемлемым для выгрузки готового для печати документа является *.pdf.

Сначала в Adobe InDesign был сформирован новый документ, при этом были установлены определенные параметры для создания макета. Конкретно, выбраны страницы формата А3 в горизонтальной ориентации с тремя колонками на каждой странице. Расстояние между колонками - 5 мм. Чтобы упростить работу и снизить вес файла, каждая часть атласа была разработана в отдельном документе. При помощи выверенных элементов верстки, таких как фреймы - области для размещения текстов и графических элементов, создавались двусторонние развороты, содержащие картографические данные, текст, таблицы и фотографии.

Составленные развороты атласа экспортировались в *.pdf с необходимыми настройками выгрузки (рис. 19).

На рис. 20 представлены титульные листы разрабатываемого геоморфологического атласа Арктики. Все составленные при построении структурно-координатной сети карты, а также посвященная СКС глава атласа представлены в Приложении.

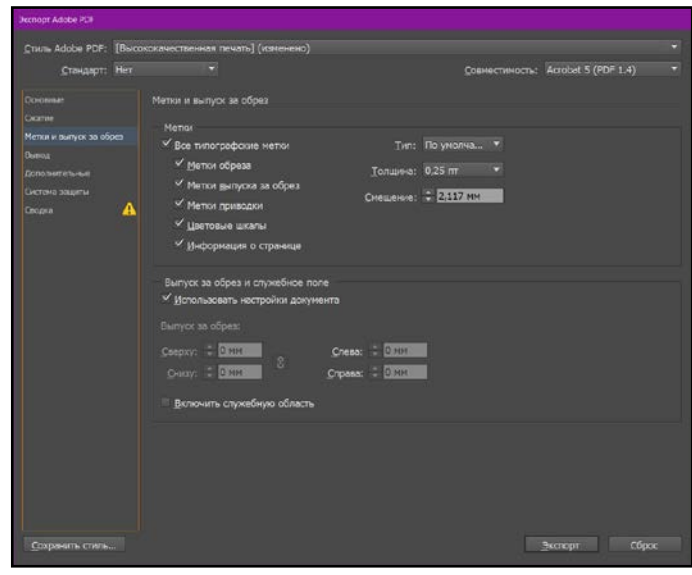
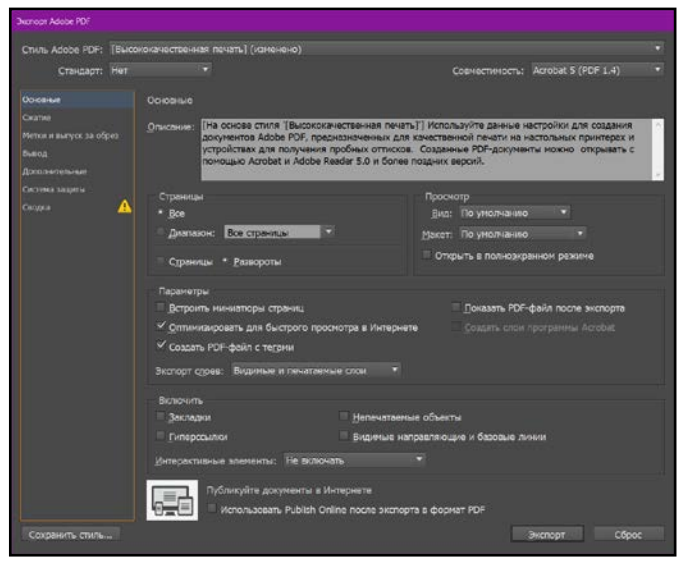


Рис.20. Параметры экспорта макета атласа в Adobe InDesign.

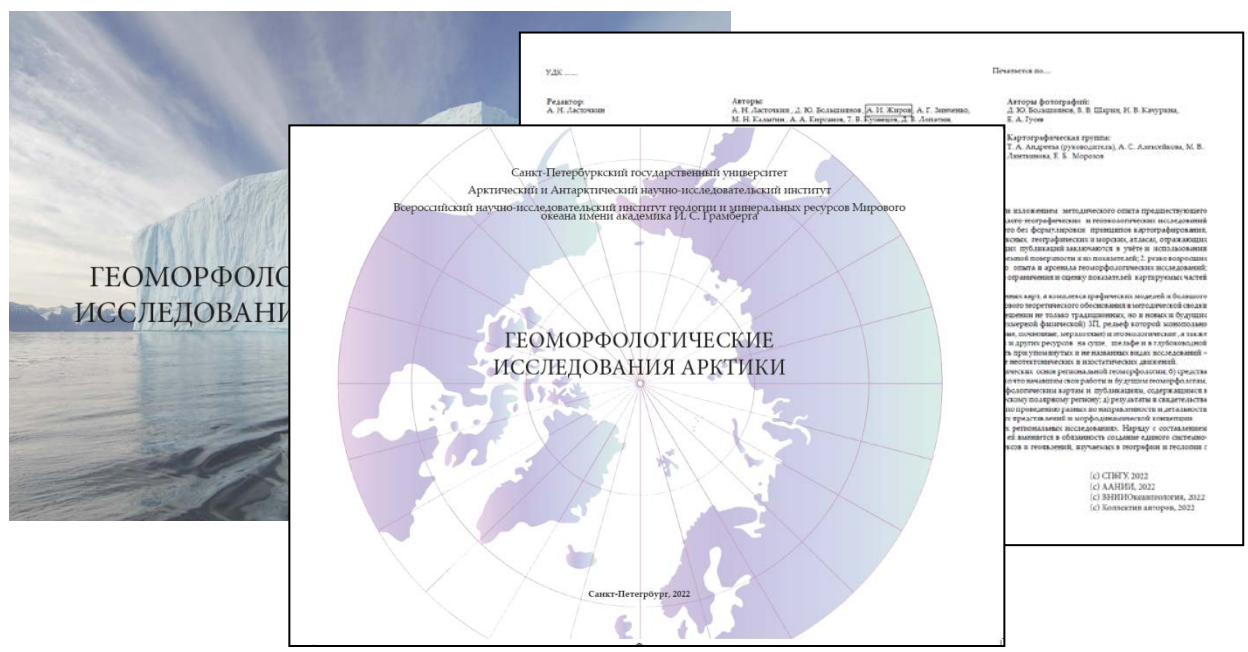


Рис.19. Титульные листы разрабатываемого атласа.

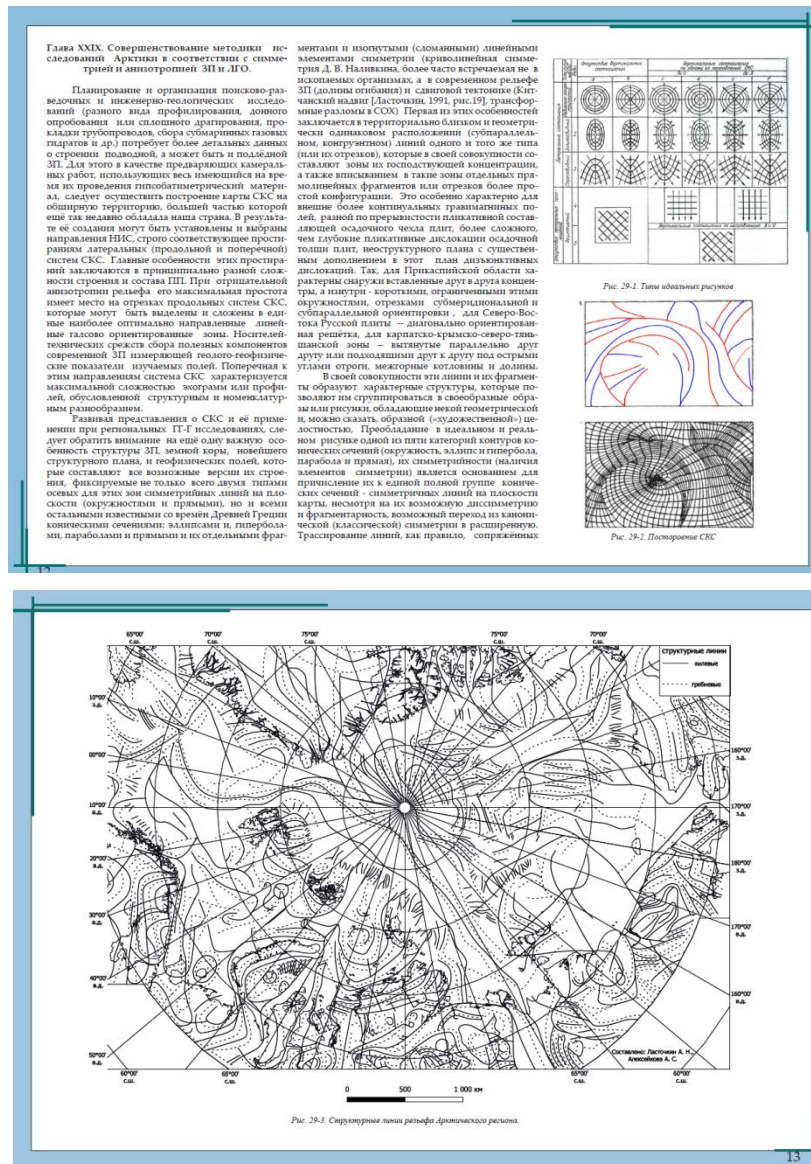


Рис. 21. Фрагмент геоморфологического атласа Арктики, посвященный СКС рельефа.

На рис. 21 представлен фрагмент разрабатываемого геоморфологического атласа Арктики, посвященный составлению и применению структурно-координатной сети рельефа, которая является результатом данной научно-исследовательской работы.

Как уже упоминалось ранее, создание данного геоморфологического атласа Арктики было задумано с целью ускорить развитие геоморфологической науки, так как за последние годы не было создано подобного комплекса знаний, который бы включал в себя современную информацию об истории изучения рельефа данного региона. Ранее создавались лишь отдельные геоморфологические карты или картографические модели, отображающие структуру рельефа и рельефообразующие процессы. Более того, данный атлас учитывает современные тенденции, включая информативность рельефа в целом и его отдельных особенностей и составляющих земной поверхности. Для создания атласа использовались данные дистанционного зондирования Земли, такие как аэрофото- и

фотокосмические данные, получение которых стало намного доступнее за последнее время. Такой подход требовал нового систематизированного комплекса знаний, основанного на картографических моделях и соответствующей им текстовой составляющей.

Картографические материалы, входящие в состав атласа, в том числе и составленная в рамках данной работы структурно-координатная сеть рельефа, могут быть использованы в качестве основы для различных видов исследований, таких как картографирование геокомплексов и оценка сейсмичности. Атлас содержит информацию о гипсобатиметрической изученности земной поверхности, ее структуре и морфологии. Авторами материалов стали А. Н. Ласточкин, Д. Ю. Большиянов, А. И. Жиров, А. Г. Зинченко, Д. В. Лопатин и В. В. Шарин. Представленная информация может привести к созданию новых карт, содержащих данные о доледниковой и четвертичной палеогеографии, гео-, лито-, гидро- и гляциодинамике.

Заключение

Медленное изучение Арктического шельфа связано с отсутствием принципиально быстрого развития теории и методики геоморфологии. Чтобы предотвратить подобную стагнацию, было решено разработать и составить структурно-координатную сеть (СКС) рельефа Арктического региона. Для более детального изучения строения подводной и подлёдной поверхности необходимо проводить поисково-разведочные и инженерно-геологические исследования. С помощью СКС можно выбирать направления и организовывать работы в самых разных районах, что способствует развитию геоморфологической науки и созданию новых методов исследования рельефа Арктики. Учет особенностей структурно-координатной сети может также повлиять на стоимость и другие затраты при планировании профильных работ геофизической аппаратуры на территории арктического шельфа.

Геоморфологические карты являются важным инструментом для выполнения различных работ, в том числе научных и прикладных. Благодаря им можно проводить анализ текущей ситуации, оценк, так как рельеф играет важную роль в организации ландшафта.

Так, в рамках проведения данной научно-исследовательской работы методами геоинформационного картографирования была составлена структурно-координатная сеть рельефа Арктического региона в двух масштабах - 1 : 5 000 000 и 1 : 15 000 000.

Анализ СКС показал, что она характеризуется преобладанием решетчатого рисунка, где продольное направление ориентировано субмеридионально, а поперечное – субширотно.. В некоторых местах можно наблюдать мультиринговые и эллипсовидные рисунки, свидетельствующие о присутствии вулканических формаций. Используя СКС, исследователи могут изучать рельеф и определять геоморфологические особенности различных типов симметрии. Разрывы и границы рисунков СКС могут быть слабо выражены. Анализируя рельеф Арктического региона на основе структурно-координатной сети, не было выявлено доминирующих линий, свидетельствующих о единой закономерности строения земной поверхность, однако стало ясно, что существуют фундаментальные различия в новейшей структуре каждого района Арктического региона.

Созданная структурно-координатная сеть рельефа нашла применение в качестве неотъемлемой части раздела геоморфологического атласа Арктики; также в него были включены промежуточные результаты, такие как, например, карта структурных линий рельефа, которые составляют продольное направление СКС. Раздел атласа, посвященный

разработке СКС также составлялся в рамках проведения данной научно-исследовательской работы.

Итогом работы стали:

- структурно-координатная сеть рельефа Арктического региона в масштабе 1 : 5 000 000;
- структурно-координатная сеть рельефа Арктического региона в масштабе 1 : 15 000 000;
- карта структурных (гребневых и килевых) линий рельефа Арктического региона в масштабе 1 : 5 000 000;
- карта структурных (гребневых и килевых) линий рельефа Арктического региона в масштабе 1 : 15 000 000;
- макет главы для геоморфологического атласа Арктики, посвященной разработке и построению СКС;
- анализ рельефа Арктического региона на основе СКС.

В будущем предполагается продолжение работы над усовершенствованием методики построения СКС с применением инструментов современных ГИС, в частности, увеличение доли автоматизации процесса составления и анализа рисунков структурно-координатной сети.

Список источников

Монографии:

1. Studinger M., Bell R. E., Karner G. D. et al. Ice cover, landscape setting, and geological framework of Lake Vostok, East Antarctica. *Earth and Planetary Science Letters*. V. 6463.2002. P. 1-16.
2. Арктика // Большая Советская Энциклопедия. 3-е изд. Гл. ред. А. М. Прохоров. М.: Советская Энциклопедия, 1970, т. 2. Ангола. Барзас. С. 203-205.
3. Гаккель Я.Я. МГГ в Арктике // Наука и жизнь. 1959, № 1. С.23-26.
4. Зинченко А.Г. Геоморфология дна Северного Ледовитого океана в контексте Конвенции ООН по морскому праву 1982 г. // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 2018, №4(50). С. 734-751.
5. Зинченко А. Г., Ласточкин А. Н. Методика геоморфологического картографирования шельфа и континентального склона Российской Федерации (применительно к задачам Госгеолкарты-1000). М., 2001, 34 с.
6. Ласточкин А.Н. Методы морского геоморфологического картографирования. Л., Недра, 1982, 270 с.
7. Ласточкин А.Н. Общая теория геосистем. СПб.: Лемма, 2011, с. 980.
8. Ласточкин А.Н. Подводные долины северного шельфа Евразии // Известия Всесоюзного географического общества, 1977, Том 109. № 5. С. 412-417.
9. Ласточкин А. Н. Решетчатая система структурных зон в осадочном чехле Западно-Сибирской плиты // Тектоника Сибири. Т. 6. Новосибирск, 1973. С. 128-133
10. Лопатин Д. В. Аналоговые и цифровые методы дистанционных исследований при региональных геоморфологических исследованиях // Д. В. Лопатин. Санкт-Петербург, 2017.
11. Ласточкин А. Н. Структурно-геоморфологические исследования на шельфе. Л., 1978. 247 с.
12. Ласточкин А. Н. Методика морского геоморфологического картографирования.Л., 1982. 272 с.
13. Ласточкин А. Н. Морфодинамические связи в развитии рельефа континентов и океанического дна // Основные направления развития геоморфологической теории . Новосибирск. 1982,а. С. 72-75

14. Ласточкин А. Н. Предмет и динамическая концепция геоморфологии // Геоморфология, 1982, б. № 2. С.56-63
15. Ласточкин А. Н. Системно-структурная ориентация геоморфологического картографирования // Геоморфология. 1984. № 2. С. 47-56.
16. Ласточкин А. Н. Геоморфологические исследования при поисках и разведке железно-марганцевых конкреций // Сов. геология. 1985. № 12. с.70-83.
17. Ласточкин А. Н. Морфодинамический анализ. Л., 1987. 256 с.
18. Ласточкин А. Н. Общая геоморфология. Учение о морфологии рельефа. СПб, 1991. 105 с.
19. Ласточкин А. Н. Морфодинамическая концепция общей геоморфологии. Л., 1991, а. 218 с.
20. Ласточкин А. Н. Рельеф земной поверхности. СПб., 1991, б. 340 с.
21. Лопатин Д. В. Модели рудоносных структур Северной Евразии по данным орбитальной и морфометрической информации // Моделирование вулканогенно-осадочных рудообразующих систем. 1999. С. 108-111.
22. Лопатин, Д. В. Теория и методология геоморфологии // Д. В. Лопатин. Санкт-Петербург : Ренова, 2013.
23. Нарышкин Г.Д. Срединный хребет Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана. М.: Наука, 1987, 72 с.
24. Проблемы системно-формационного подхода к познанию рельефа // Под ред. В. А. Николаева. Новосибирск. 1982. 146 с.
25. Северный Ледовитый океан // Атлас океанов. МО, 1980.
26. Узоры симметрии / Ред. М. Сенешаль и Дж. Флек. М. 1980. 271 с.
27. Урманцев Ю. А. Симметрия природы и природа симметрии. М., 1974. 230 с.
28. Щукин И. С. Четырёхязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии // Сост. И. С. Щукин; Под ред. А. И. Спиридонова. М. : Советская энциклопедия, 1980. С. 273-704.

Статьи в сборниках:

1. Артемьев М.Ю., Ласточкин А.Н., Жиров А.И. Геоморфологический Атлас Антарктиды // Сборник трудов международной конференции «Objective Geomorphological Representation Models: Breaking through a New Geomorphological Mapping Frontier» 15- 17 октября 2012.

2. Деменицкая Р.М., Карасик А.М., Киселев Ю.Г. Строение земной коры в Арктике. // «Геология дна океанов и морей». Докл. сов. геологов Междунар. геол. конгр., XXII сес., пробл. 16. М., «Наука», 1964.
3. Зинченко А.Г., Гусев Е.А., Разуваева Е.И., Рекант П.В., Ромащенко О.Г. Геоморфология Лаптевоморско-Чукотской континентальной окраины (в связи с проблемой определения положения внешней границы континентального шельфа России в Северном Ледовитом океане) // Материалы XXVIII Пленума Геоморфологической комиссии: Рельефообразующие процессы: теория, практика, методы исследования. Новосибирск, 20- 24 сентября, 2004, С. 117-119.
4. Зинченко А.Г. Опыт морфологического картографирования шельфов и прилегающей суши с целью выявления их новейшей разломно-блоковой структуры. // «Неотектоника и современная геодинамика континентов и океанов». М., 1996. С. 50-52.
5. Ласточкин А. Н. О планетарной и местной трещиноватости и ее выраженности в рельефе платформенных равнин // Известия ГО СССР, 1976, № 2 , С. 16-29.
6. Ласточкин А. Н. Подводные долины северных морей СССР // Изв. Геогр. об-ва СССР. 1977. № 5. с. 412-417
7. Ласточкин А. Н. Прикладное значение морфодинамической парадигмы в геоморфологии //Изв. ВГО. 1990. Т. 122. № 2. С. 153-160.

Статьи в журналах:

1. Девдариани А. С. Геоморфология. Итоги науки. Вып. I: Математические методы. М., 1966. 142 с.
2. Ефремов Ю. К. Соотношение и последовательность типологического и индивидуального анализа территории //Уч. записки Латвийского гос. ун-та. Т. XXXVII. Географические науки. 1960. № 6. с. 65-72.
3. Ласточкин А.Н., Нарышкин Г.Д. Новые представления о рельефе дна Северного Ледовитого океана. // Океанология. Т. XXIX, вып. 6, 1989. С. 968-973.
4. Ласточкин А.Н. Нарышкин Г.Д. Орографическая схема Северного Ледовитого океана. // Вести. ЛГУ, сер.7, вып. 2, № 14, 1989, С.45-54.
5. Ласточкин А. Н. Морфологическая основа систематики и картографирования контролируемых рельефом компонентов ландшафта //Известия АН СССР, Сер. геогр. 1991,в. № 3. С. 7-18.

6. Ласточкин А. Н. Геотопологическая систематика экологически однородных элементарных природно-территориальных комплексов // Вестн. ЛГУ. Сер. 7. 1991, г. Вып. 2. С. 49-64.
7. Ласточкин А. Н. Ландшафтно-геоэкологические исследования на геотопологической основе. I. Теоретическое обоснование // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. 1992. Вып. 3. С. 43-57.
8. Ласточкин А. Н. Общая морфологическая основа географических наук // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. 1994. Вып. 4. С. 3-21.
9. Нарышкин Г.Д., Петров Д.М. Исследования рельефа дна Арктического бассейна по обеспечению многоцелевых программ экологической безопасности // Арктика: экология и экономика №1 (5), 2012, С. 60-67.
10. Трешников А.Ф, Балакшин Л.Л., Белов Н.А., Деменицкая Р.М., Дибнер В.Д., Карасик А.М., Шпайхер А.О., Шургаева Н.Д. Географические наименования основных частей рельефа дна Арктического бассейна // Проблемы Арктики и Антарктики, 1967, вып. 27.
11. Beal M.A., Edvalson F., Hunkins K., Molloy A., Ostenso N. The floor of the Arctic Ocean — geographic names // Arctic, 1966, vol. 19, No 3.

Тезисы докладов:

1. Ласточкин А.Н., Жиров А.И., Андреева Т.А. Геоморфологический атлас Арктики // Геодезия, картография и кадастры. Наука и образование. Сб. материалов III Всероссийской науч.-практ. конф. 06-08 ноября 2019 г., Санкт-Петербург. Науч. Ред. О. А. Лазебник. СПб.: Издательство РГПУ им. А. И. Герцена, 2019, с. 281-283.

Учебная литература:

1. Берлянт А. М. Картографический метод исследований. М., 1978. 256 с.
2. Берлянт А. М. Использование карт в науках о Земле. М., 1986, 175 с.
3. Берлянт А. М. Теория геоизображений. М., ГЕОС, 2006. 261 с.
4. Берлянт А. М., Мусин Р. Г., Собчук Т. В. Картографическая генерализация и теория фракталов. М., 1998. 136 с.
5. Геология и математика / Под ред. Э. Э. Фотиади. Новосибирск. 1967. 252 с.
6. Геоморфологические исследования океанического дна / Под ред. А. Н. Ласточкина. Л., 1987. 100 с.

7. История и методология естественных наук. География/ Под ред. Г. И. Лазукова. М., 1987. 218 с. Казанский Б. А. Роль принципов симметрии в геоморфологии //Геоморфология, 1998, № 2, С. 23-28
8. Ласточкин А. Н. Системно-морфологическое основание наук о Земле. СПб., 2002. 762 с.
9. Ласточкин А. Н. ГИС и общая теория геосистем //ГИС для устойчивого развития территорий. СПб. 2002,а, С. 33-38.
10. Морская геоморфология: Терминологический справочник/ Под ред. В. П. Зенковича, Б. А. Попова. М., 1980. 280 с.
11. Салищев К.А. Картоведение // Салищев К.А. М.: Издательство Московского университета, 1990. 400 с.
12. Сваткова Т.Г. Атласная картография. Учеб. пособие. М.: Аспект Пресс, 2002, 208 с.
13. Павлов Ю. Е. Adobe InDesign CS5. Методическое пособие, 2011. С. 13- 58.
14. Adobe Photoshop CC. Официальный учебный курс // Adobe, пер. с англ. М.А. Райтман. М.: Эксмо, 2014, 456 с.

Законодательные материалы:

1. ОСТ 68-3.8-03. Карты. Цифровые программные средства. Создания цифровой картографической продукции открытого пользования. Общие технические требования. М.: ЦНИИГАиК, 2003, 12 с.
2. Приказ Минэкономразвития России от 24.04.2017 N 204 «Об установлении требований к программам картографических атласов».
3. Федеральный закон от 30.12.2015 N 431-ФЗ "О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" // СПС КонсультантПлюс.

Ресурсы сети Интернет:

1. <http://www.modernarmy.ru/article/308/arktika-zona-strategicheskikh-interesovrossii> – Арктика – зона стратегических интересов России, 05 мая 2021.
2. http://compgraph.tpu.ru/Colors_models.htm – Дёмин А.Ю., Кудинов А.В. Компьютерная графика, 15 мая 2022
3. <http://earthpapers.net/relief-dna-arkticheskogo-basseyna> – текст автореферата Нарышкин Г.Д. Рельеф дна арктического бассейна, (ВАК РФ 25.00.25, Геоморфология и эволюционная география), 2001

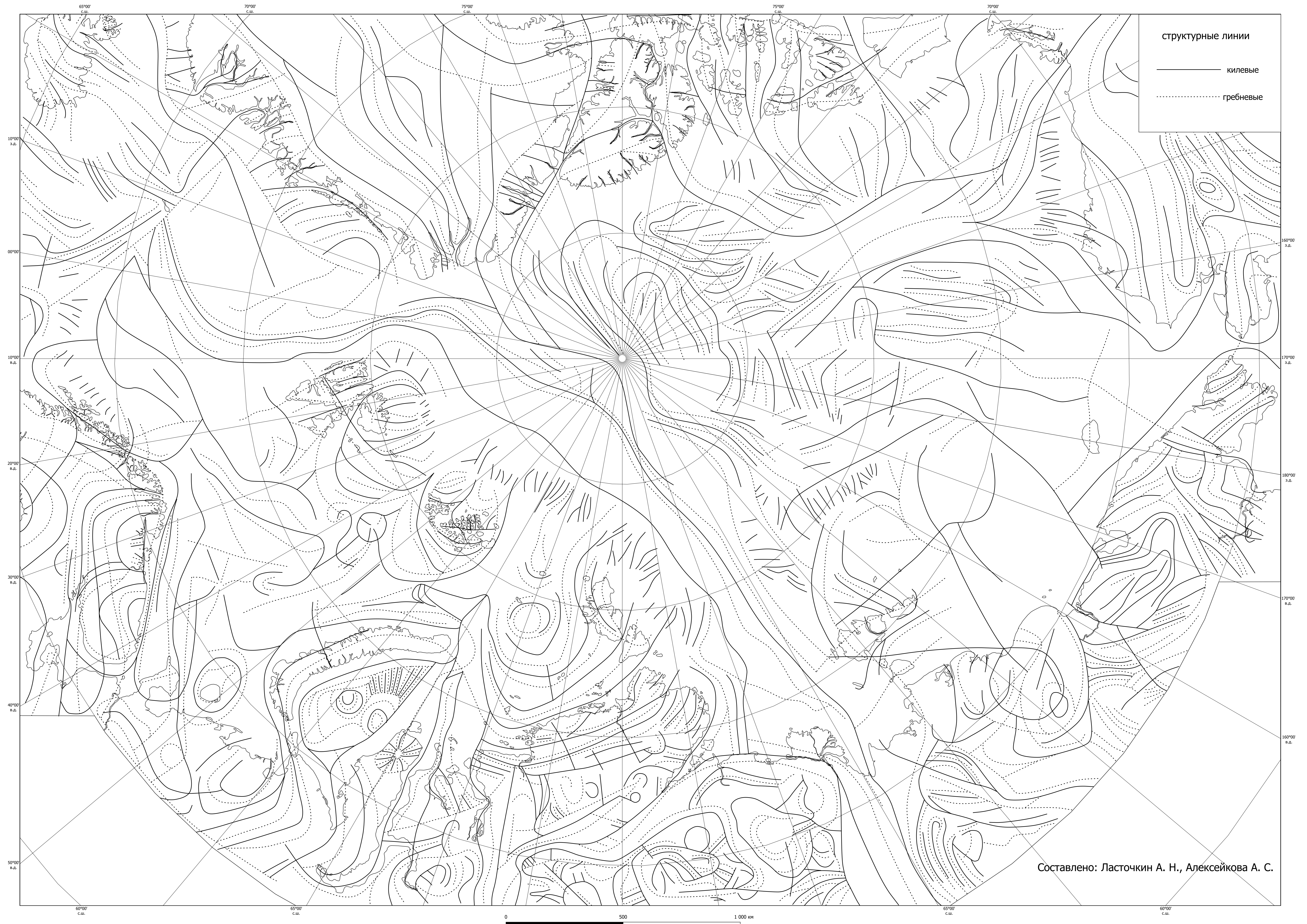
4. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/arctic.html> - The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO), 15 марта 2023

Неопубликованные материалы:

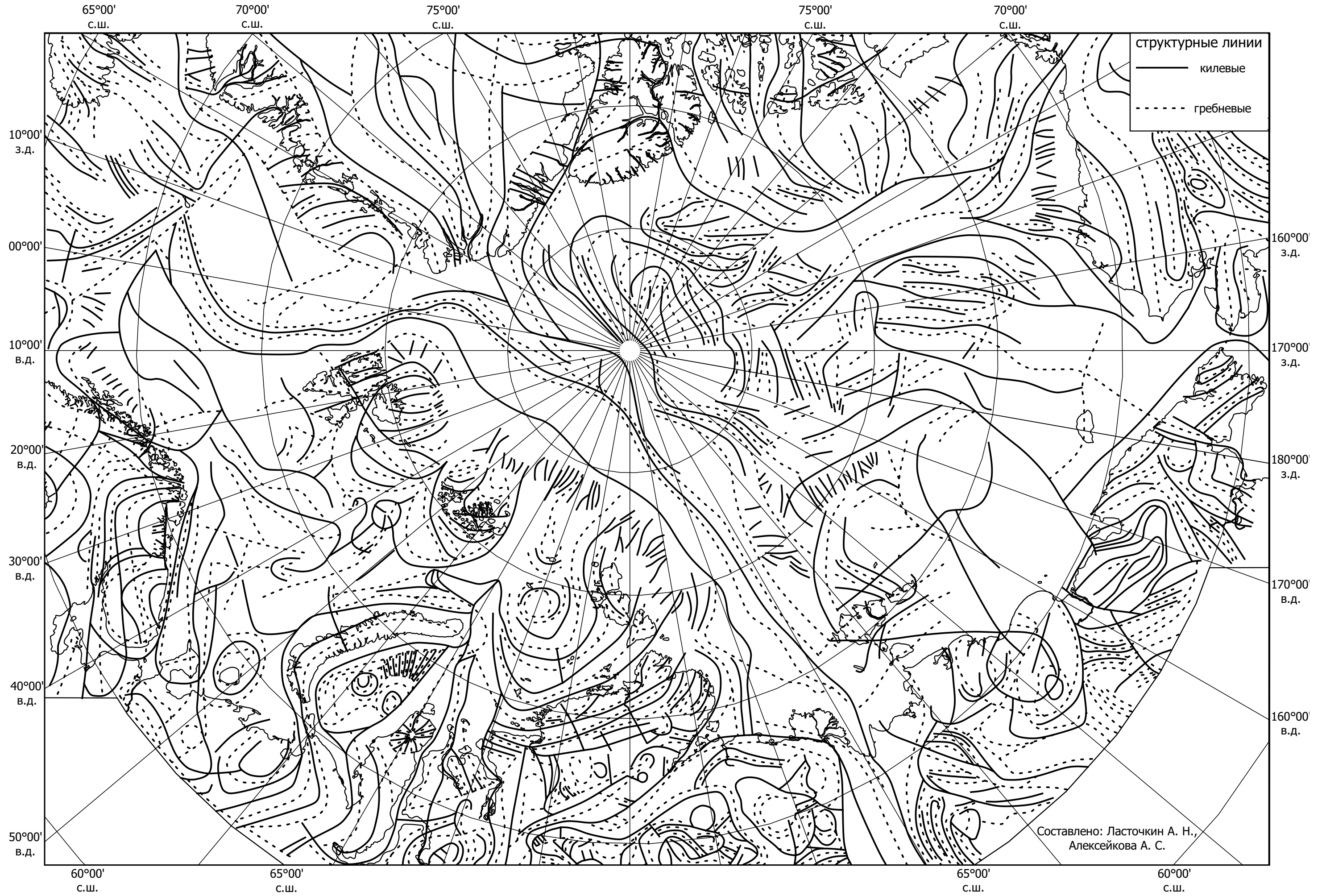
1. Жиров А. И., Болтрамович С. Ф., Ласточкин А. Н., Лопатин Д. В., Мусатов Ю. Е. Геоморфология. Учебное пособие для студентов геогр. специальностей университетов. Под ред. А. И. Жирова и С. Ф. Болтрамовича. М.: Юрайт, 2021. (кафедра геоморфологии СПбГУ).

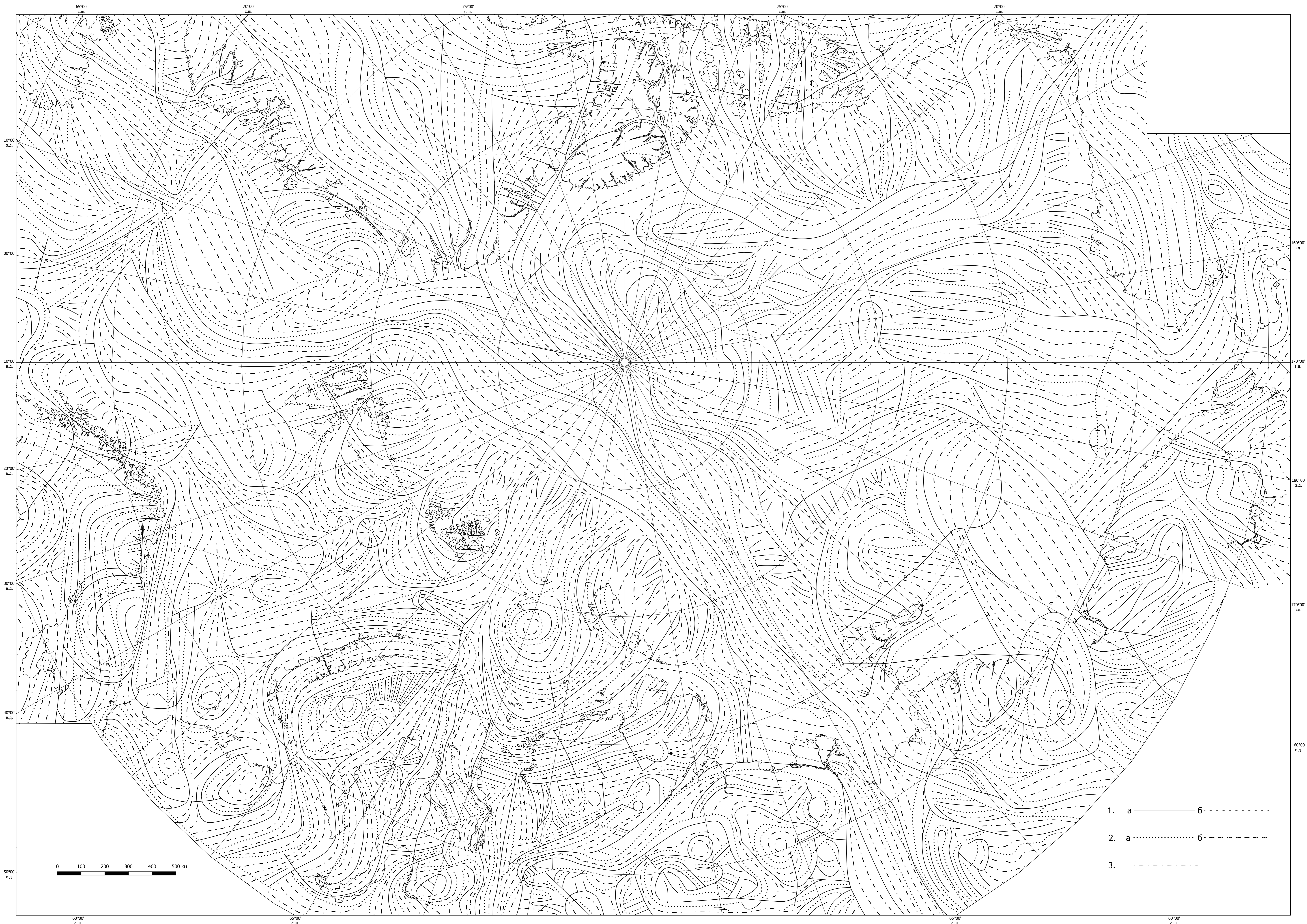
ПРИЛОЖЕНИЯ

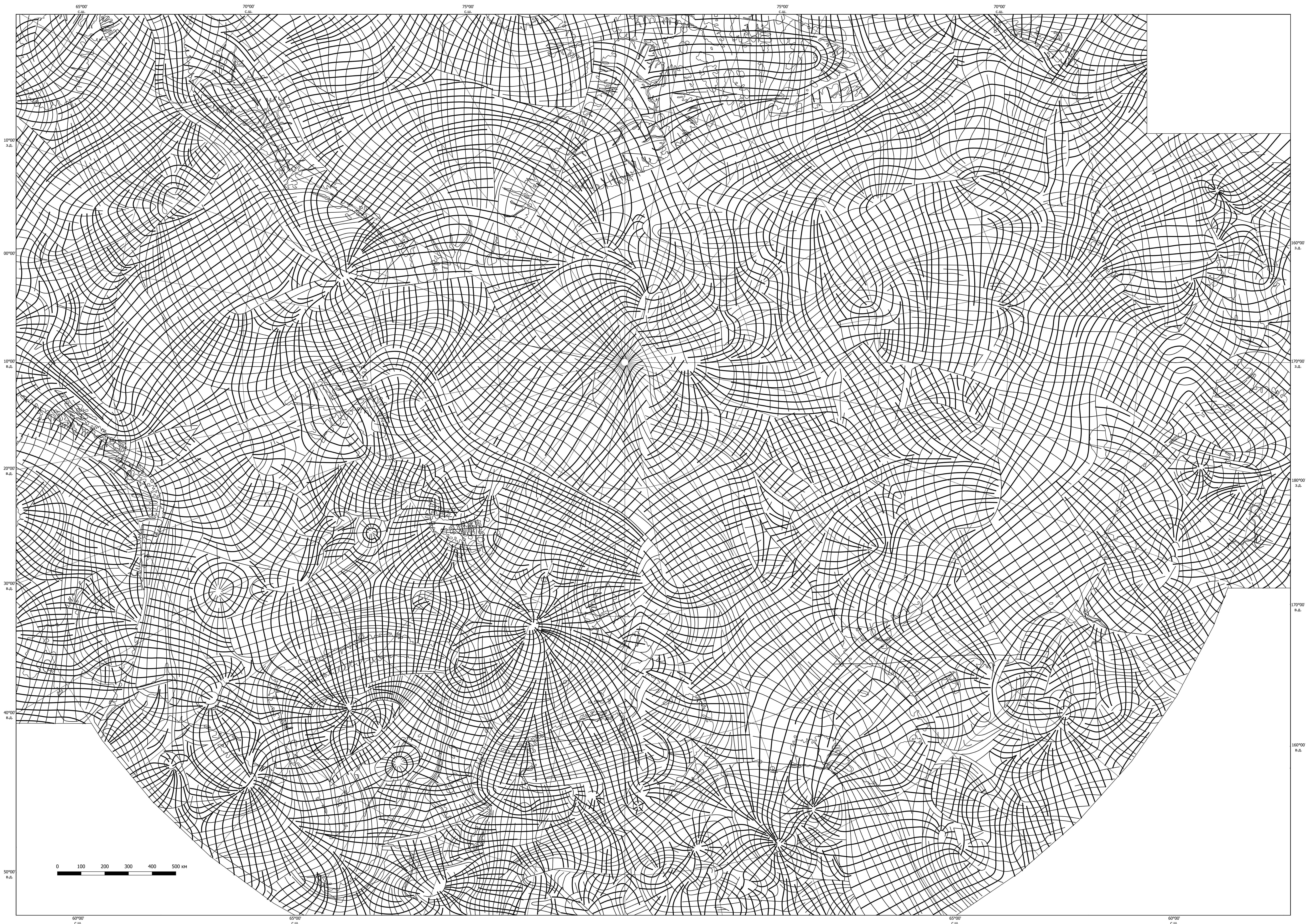
ПРОДОЛЬНЫЕ ПРОСТИРАНИЯ В РЕЛЬЕФЕ АРКТИКИ



ПРОДОЛЬНЫЕ ПРОСТИРАНИЯ В РЕЛЬЕФЕ АРКТИКИ







65°00'
C.W.

70°00'
C.W.

75°00'
C.W.

75°00'
C.W.

70°00'
C.W.

10°00'
S.A.

00°00'

10°00'
S.A.

20°00'
S.A.

30°00'
S.A.

40°00'
S.A.

50°00'
S.A.

160°00'
S.A.

170°00'
S.A.

180°00'
S.A.

170°00'
S.A.

160°00'
S.A.

0 100 200 300 400 500 KM

60°00'
C.W.

65°00'
C.W.

65°00'
C.W.

60°00'
C.W.

65°00'
С.Ш.

70°00'
С.Ш.

75°00'
С.Ш.

75°00'
С.Ш.

70°00'
С.Ш.

10°00'
З.Д.

00°00'

10°00'
В.Д.

20°00'
В.Д.

30°00'
В.Д.

40°00'
В.Д.

50°00'
В.Д.

160°00'
З.Д.

170°00'
З.Д.

180°00'
З.Д.

170°00'
В.Д.

160°00'
В.Д.

60°00'
С.Ш.

65°00'
С.Ш.

65°00'
С.Ш.

60°00'
С.Ш.

0 500 1 000 км



Глава XXIX. Совершенствование методики исследований Арктики в соответствии с симметрией и анизотропией ЗП и ЛГО.

Планирование и организация поисково-разведочных и инженерно-геологических исследований (разного вида профилирования, донного опробования или сплошного драгирования, прокладки трубопроводов, сбора субмаринных газовых гидратов и др.) потребует более детальных данных о строении подводной, а может быть и подлёдной ЗП. Для этого в качестве предваряющих камеральных работ, использующих весь имеющийся на время их проведения гипсобатиметрический материал, следует осуществить построение карты СКС на обширную территорию, большей частью которой ещё так недавно обладала наша страна. В результате её создания могут быть установлены и выбраны направления НИС, строго соответствующее простираниям латеральных (продольной и поперечной) систем СКС. Главные особенности этих простираний заключаются в принципиально разной сложности строения и состава ПП. При отрицательной анизотропии рельефа его максимальная простота имеет место на отрезках продольных систем СКС, которые могут быть выделены и сложены в единые наиболее оптимально направленные линейные галсово ориентированные зоны. Носителей технических срежств сбора полезных компонентов современной ЗП измеряющей геолого-геофизические показатели изучаемых полей. Поперечная к этим направлениям система СКС характеризуется максимальной сложностью эхограмм или профилей, обусловленной структурным и номенклатурным разнообразием.

Развивая представления о СКС и её применении при региональных ГГ-Г исследованиях, следует обратить внимание на ещё одну важную особенность структуры ЗП, земной коры, новейшего структурного плана, и геофизических полей, которые составляют все возможные версии их строения, фиксируемые не только всего двумя типами осевых для этих зон симметричных линий на плоскости (окружностями и прямыми), но и всеми остальными известными со времён Древней Греции коническими сечениями: эллипсами и, гиперболами, параболами и прямыми и их отдельными фраг-

ментами и изогнутыми (сломанными) линейными элементами симметрии (криволинейная симметрия Д. В. Наливкина, более часто встречаемая не в ископаемых организмах, а в современном рельефе ЗП (долины огибания) и сдвиговой тектонике (Китчанский надвиг [Ласточкин, 1991, рис.19], трансформные разломы в СОХ) Первая из этих особенностей заключается в территориально близком и геометрически одинаковом расположении (субпараллельном, конгруэнтном) линий одного и того же типа (или их отрезков), которые в своей совокупности составляют зоны их господствующей концентрации, а также вписыванием в такие зоны отдельных прямолинейных фрагментов или отрезков более простой конфигурации. Это особенно характерно для внешне более континуальных гравимагнитных полей, разной по прерывистости пликативной составляющей осадочного чехла плит, более сложного, чем глубокие пликативные дислокации осадочной толщи плит, неоструктурного плана с существенным дополнением в этот план дизъюнктивных дислокаций. Так, для Прикаспийской области характерны снаружи вставленные друг в друга концентры, а внутри - короткими, ограниченными этими окружностями, отрезками субмеридиональной и субпараллельной ориентировки, для Северо-Востока Русской плиты -- диагонально ориентированная решётка, для карпатско-крымско-северо-тыньшанской зоны -- вытянутые параллельно друг другу или подходящими друг к другу под острыми углами отроги, межгорные котловины и долины.

В своей совокупности эти линии и их фрагменты образуют характерные структуры, которые позволяют им сгруппироваться в своеобразные образы или рисунки, обладающие некой геометрической и, можно сказать, образной («художественной») целостностью, Преобладание в идеальном и реальном рисунке одной из пяти категорий контуров конических сечений (окружность, эллипс и гипербола, парабола и прямая), их симметричности (наличия элементов симметрии) является основанием для причисления их к единой полной группе конических сечений - симметричных линий на плоскости карты, несмотря на их возможную диссимметрию и фрагментарность, возможный переход из канонической (классической) симметрии в расширенную. Трассирование линий, как правило, сопряжённых

Типы рисунков СКС	Рабы	Отсутствие вертикальных соотношений		Вертикальные соотношения по одному из направлений СКС			
				По Y		По X	
		a	b	c	d	e	f
Латеральные соотношения	1						
	2						
	3						
Отсутствие латеральных соотношений	4						
	5						

Рис. 29-1. Типы идеальных рисунков

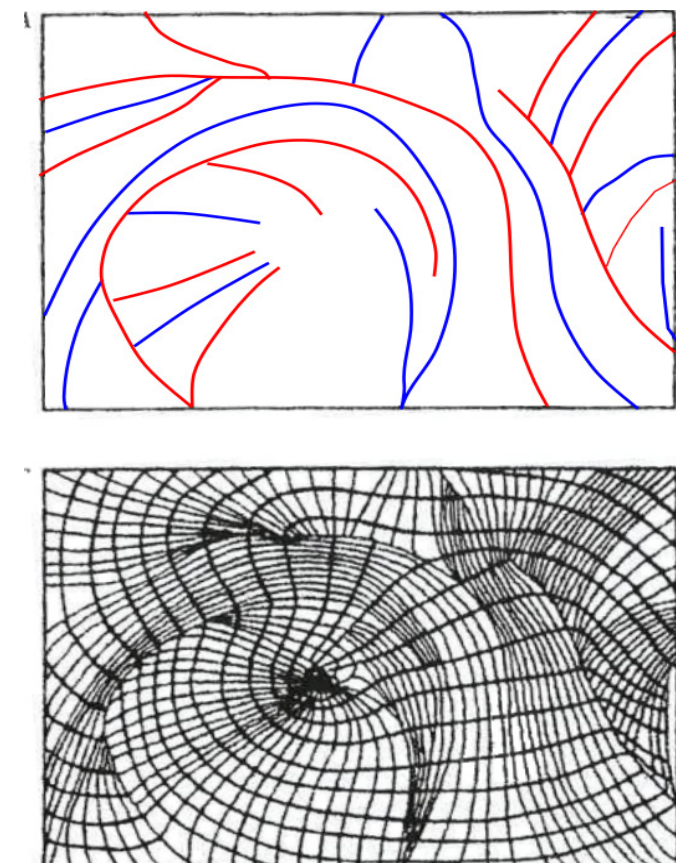


Рис. 29-2. Построение СКС

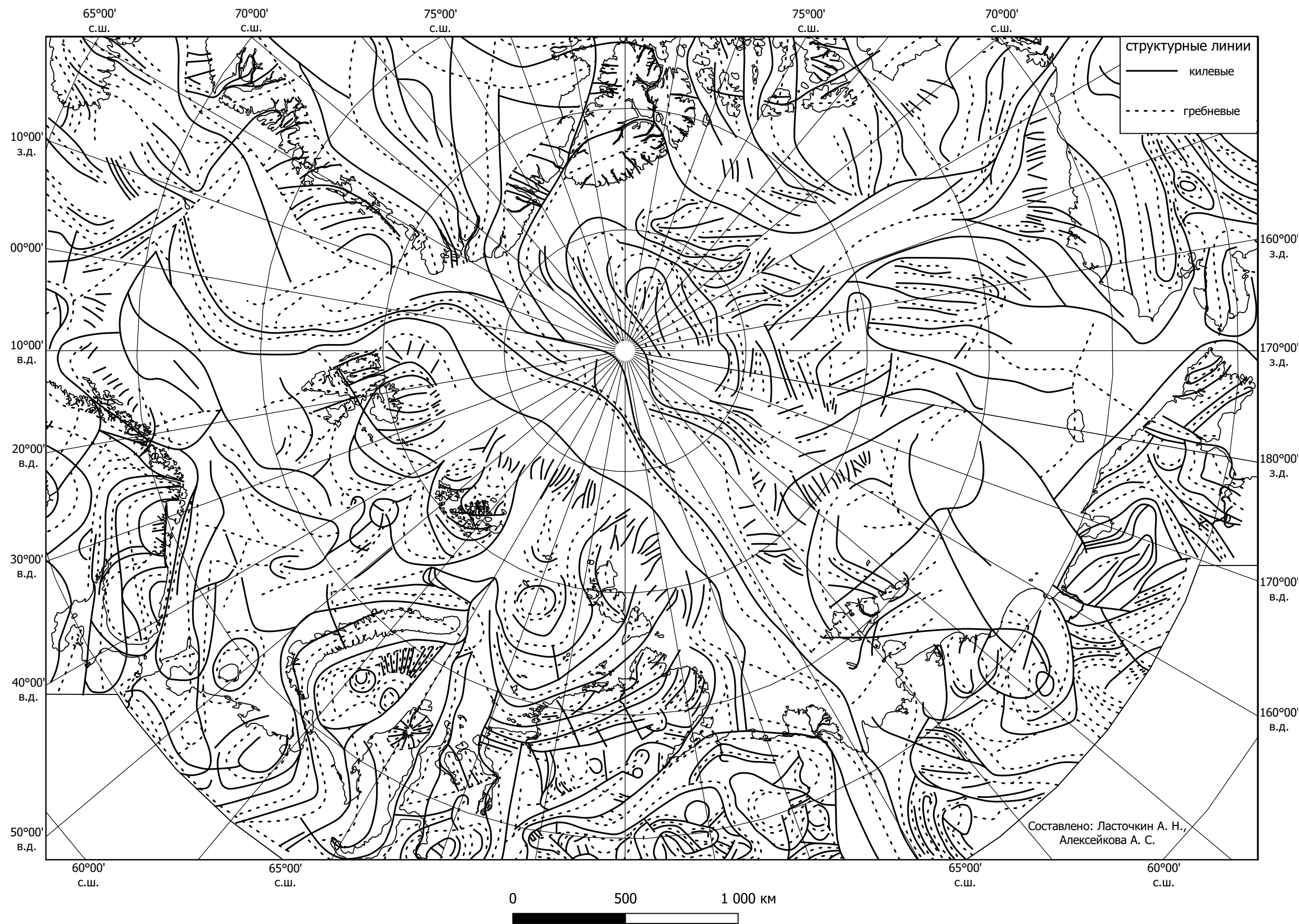


Рис. 29-3. Структурные линии рельефа Арктического региона.

друг с другом положительных и отрицательных дислокаций проявляется в возможности трассирования шарнира дислокации в продольном направлении.

Упрощённый опыт выявления неотектонической структуры в виде каркаса строения -- осевых линий зон новейших поднятий и прогибов показал вторую важную особенность неоструктурного плана – продольную связность новейших дислокаций в направлении их шарниров, отрицательные ундуляции которых могут проявляться одновременно с продлением их в продольном направлении. Дальнейшее построение карты СКС включает в себя привлечение к анализу орографии и гипсо- и батиметрии. Более уверенно при этом выявляются и пролонгируются зоны новейших опусканий, к которым приурочены речные долины. Амплитуды опусканий и ширина зон определяет крупность речной долины, её водность и транспортирующую способность и общую продольную направленность в современном развитии рельефа и транспортировке аллювиального материала вниз к береговой зоне и далее – к бровке шельфа.

Попытка Симметрия и анизотропия ЗП на данный момент изучена в результате построения единой карты СКС Арктической Полярной области в масштабе 1:5 000 000. Выделение продольного направленной СКС осуществлено при использовании гипсобатиметрических карт указанного масштаба, построенной на её основе аналитической карты региона с выделением гребневых и килевых, а также интерполирующих, экстраполирующих и дополняющих их линий, фиксирующих в сумме своей направление (У) всех каркасных (верхних и нижних) линейных элементов. Максимальное число дополняющих линий пришлось наносить на обширных по площадям ЭПР 6-5 и Р6- в пределах мелководных шельфов и днищ абиссальных глубин. Однако их направление определялось вполне уверенно по простиранию продольных длинных бортов вытянутых океанических котловин. РР 6\-/6 и бровки шельфов Восточно-Сибирского, Чукотского морей и моря Лаптевых,, приуроченных к вышебровочным фасам Р5-5 и их совокупностям РР 5\5\5. Уверенность в проведении дополнительных линий возрастает в связи с соответствием их направления с простиранию отрицательных форм 6\-/6 и протяжённостью субпараллельных им вытянутых частей ЗП с

отрицательной анизотропией рельефа (уступов).

Во-первых, СКС отражает общее особенности строения ЗП и земной коры области. характер которого начал только как будто сейчас начал однозначно и строго определяться в специальной литературе. Еще 50 – 60 лет назад он выявлялся и фиксировался всего в нескольких версиях в виде неких геометрически правильных совокупностей осевых или каркасных линий вытянутых поднятий и прогибаний земной коры. Первая из таких версий заключается в «решётчатости строения» субмеридиональных и субширотных волнообразных тектонических деформаций с их уральским и антиуральским направлениями А. П. Карпинского или кавказским и антикавказским направлениями Тамразяна, уступающих на планете по своей протяжённости только критическим меридианам и параллелям в так называемой планетарной геологии. Наряду с этой, (назовём её первой) версией геоморфологической структуры континентальных поверхностей), представление о которой наиболее упорно развивались Ю. А. Мещеряковым [1960, 1965] и вслед за ним А.Н. Ласточкиным [1991], почти что параллельно по времени начала развиваться вторая версия, по которой геоморфологическая структура Евразии стала представляться в виде хаотично разбросанных нередко наложенных друг на друга и разных по размерам обширных морфоструктур (структур) центрального типа (МЦТ или СЦТ. Наиболее уверенно они выделялись на востоке континента, постепенно «завоёвывая себе право на существование в западном направлении» пока не были относительно равномерно зафиксированы на всём его пространстве на обзорных картах [Морфотектонические образования центрального типа, 1988 и др.].

Читателю предоставлялось примерно равное основание для выбора одного из этих представлений об общем характере строения ЗП. Сложность выбора определяется ещё и наложением эндогенного и экзогенного факторов рельефообразования. Для того, чтобы убрать эту сложность нами было проведено специальное исследование всех вышедших примерно в одно и тоже время карт новейшей тектоники соизмеримых масштабов на территорию СССР и фиксация на них осей явно преобладающих в новейшем структурном плане линейных и вытянутых неотектонических поднятий и

опусканий. В результате была получена первая карта, реально отражающая особенности строения новейшего структурного плана и современной ЗП территории СССР [Ласточкин, 2007]. Вслед за ней была разработана методика составления СКС на территорию СССР и всего Антарктического материка. [Прикладная геоморфология..., 2008].

Анализ этой карты привёл к выводу об отсутствии преобладания каких-либо линий (конических сечений), отражающих в своей совокупности ту или иную общую закономерность или версию строения ЗП и новейшего структурного плана – единство рисунков СКС. Такого единства или общей версии строения для разных районов, по-видимому просто нет, как нет общего типа или единой версии строения для земной коры всей планеты.. Более того, стали очевидными фундаментальные различия в новейшей структуре каждого района, что проявилось в господствующей почти в каждом из них разной упорядоченности в расположении и простирании смежных линий : субпараллельности, конгруэнтности, подчинённости одним и тем же элементам (центрам, линиям) симметрии, что позволило называть полиринговыми системами не или только рисунки концентрических линий с единым центром симметрии (вписанных друг в друга окружностей, эллипсов или связанных друг с другом гипербол), но и объединённых друг с другом едиными линиями симметрии парабол или просто параллельных линий одной из двух систем решётчатых рисунков СКС.

Обращает на себя внимание частое соответствие простирание , как правило протяжённых, каркасных линий ЗП и геофизических (гравимагнитных) полей, что с определённой уверенностью позволяет говорить о возможно общей природе или едином факторе образования этих элементов, что немаловажно при структурно-геоморфологических исследованиях –интерпретации структуры ЗП. Учёт простираний двух систем СКС (X и У) может существенно повлиять на стоимость и другие затраты – в целом на планирование и экономичность профильных работ воздушных и водных носителей геофизической аппаратуры за счёт использования и смены направлений наиболее информативных систем СКС в каждом из районов, и величины междугалсовых расстояний.

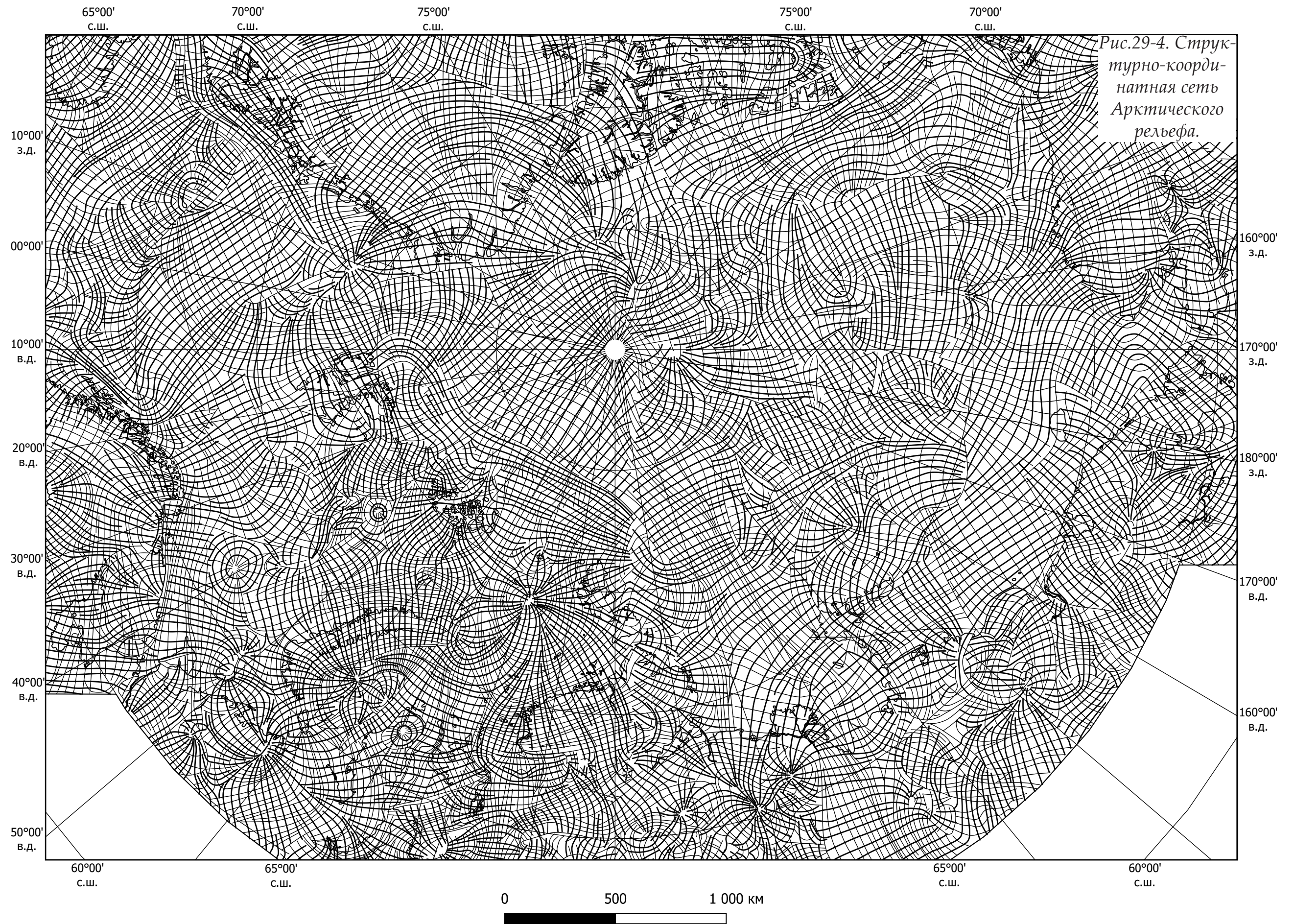


Рис.29-4. Структурно-координатная сеть Арктического рельефа.