

УДК 549.903.55 (1)

ББК 26.323

Т 76

Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2025. Материалы LVI Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2025. 674 с.

ISBN 978-5-89118-899-0

DOI 10.34756/GEOS.2025.17.39149

Ответственный редактор

К.Е. Дегтярев

На 1-ой стр. обложки:

*Асимметричные складки в породах ордовика в зоне сочленения
Северо- и Центрально-Таймырского поясов (бассейн р. Грустная)
(фото Д.А. Саранулова, 2024 г.)*

© ГИН РАН, 2025

© Издательство ГЕОС, 2025

the Barents Sea–Svalbard region: a new model based on revised chronostratigraphy // *Quaternary Sci. Rev.* 2009. V. 28. N. 9. P. 812–829.

8. *Merkouriev S., DeMets C.* High-resolution Quaternary and Neogene reconstructions of Eurasia–North America plate motion // *Geophys. J. Int.* 2014. V. 198. P. 366–384.

9. *Nikishin A.M., Gaina C., Petrov E.I. et al.* Eurasia Basin and Gakkel Ridge, Arctic Ocean: Crustal asymmetry, ultra-slow spreading and continental rifting revealed by new seismic data // *Tectonophysics.* 2018. V. 746. P. 64–82.

В.Г. Захаров¹

Районы оппозиций природных процессов на трассе Севморпути в арктических водах области Атлантико-Арктической рифтовой системы (ААРС)

В работе [Захаров, 2024] рассмотрены характеристики ряда арктических оппозиций: климатической, ледовой, циркуляционной, гравитационной (во взаимосвязи с поверхностными течениями и циркуляцией вод). Эти характеристики широко распространены в Северной Атлантике и в морях трассы Севморпути. В данной статье районы указанных арктических оппозиций анализируются с учётом особенностей своего расположения относительно северной части Атлантико-Арктической рифтовой системы (ААРС).

Район 1 располагается в акваториях морей Сибирских арктических вод (САВ – от Карского до Восточно-Сибирского) (рис. 1). Почти в центре района (от полюса к берегам Сибири и далее) проходит Срединно-Атлантический хребет (САХ). Это отличительная черта указанного района. В акваториях района наиболее чётко проявляются циркуляционная и ледовая оппозиции.

Район 2. Охватывает Гренландское, Норвежское, Баренцево моря, а также прибрежные участки Гренландии и Скандинавии. Район почти по центру пересекается Срединно-Атлантическим хребтом (САХ). Главное отличие района 2 – пересечение его крупным демаркационным разломом от Гренландии до Скандинавии (побережье Норвежского моря). Характерная черта указанного района – проявление оппозиции в колебаниях края (контрфазность) горных и покровных ледников [4].

¹ Геологический институт РАН, Москва, Россия

Краткая характеристика Атлантико-Арктической рифтовой системы (ААРС).

ААРС (рис. 1) представляет собой крупнейшую структуру этого типа суммарной длиной не менее 18 тыс км, включающую Срединно-Атлантический хребет (САХ) и хребет Гаккеля (1). Структура является

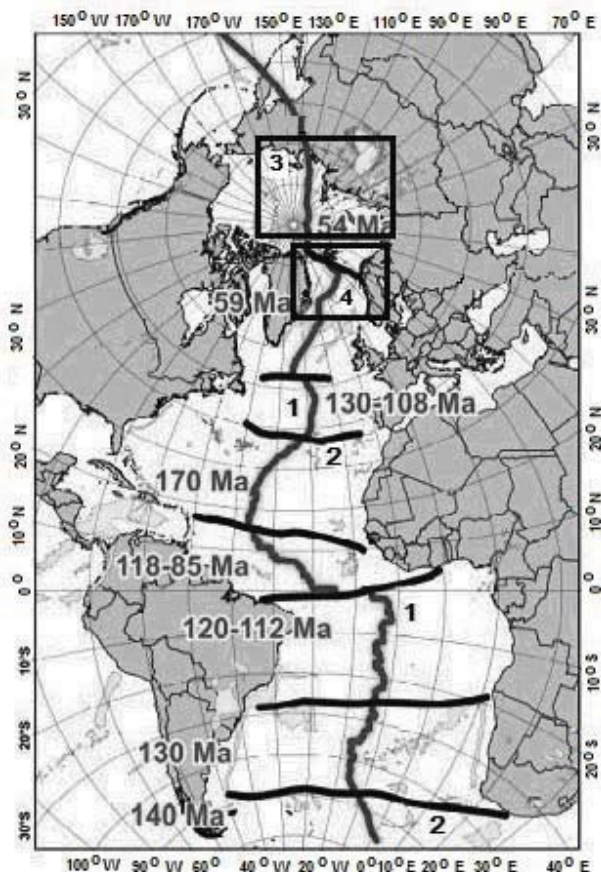


Рис. 1. Расположение районов проявления оппозиций природных процессов на трассе Севморпути относительно северной части рифтовой системы (ААРС).

1 – Срединно-Атлантический хребет (САХ) рифтовой системы (ААРС); 2 – демаркационные разломы, сегментирующие ААРС на блоки с разным возрастом начала спрединга (возраст указан цифрами); 3 – первый район оппозиций; 4 – второй район оппозиций

осью раскрытия Евразийского арктического бассейна. Эта дивергентная структура сегментирована крупными демаркационными разломами (2). Возраст начала спрединговых процессов в разных сегментах ААРС колеблется от 170 млн лет в центральном, 59 млн лет в северном до 54 млн лет в Арктическом.

Особенности проявления климатической оппозиции в Северной полярной области

В практическом отношении климатическая оппозиция состоит, в том, что благоприятные условия ледовых проводок в западном районе арктического океана и в Сибирских арктических водах часто сопровождаются тяжелыми условиями в восточном и, наоборот. Крайне редко благоприятные условия плавания отмечаются сразу на всей трассе Севморпути.

Районами наиболее активной оппозиции являются, с одной стороны, северная часть Баренцева моря, с другой – Чукотское море. Анализ материалов многолетних гидрометеорологических наблюдений показывает, что тенденция к оппозиции в этих районах прослеживается на всех стадиях современных колебаний климата Арктики. Так, потепление Арктики в 20–30-е годы XX столетия охватило не всю Арктику, а получило наибольшее развитие в атлантическом секторе и сопровождалось значительным уменьшением ледовитости и смещением к северу ареалов флоры и фауны. В это же время в тихоокеанском секторе изменения в климатической системе носили противоположный характер, хотя были значительно менее интенсивны. В 1940-х годах произошла смена фаз колебаний: на западе стало развиваться похолодание, на востоке – потепление [2].

Внешнее гравитационное поле Земли и циркуляция вод Северного ледовитого океана (СЛО)

Гравитационное поле бассейна Северного ледовитого океана согласно [6] разделяется на четыре сектора.

Сектор СЛО между меридианами 0–90° в.д. характеризуется переменным гравитационным полем очаговой структуры. Это район Северной Атлантики, Норвежское, Гренландское и Баренцево моря с прилегающим сектором центральной части Арктического бассейна и Карским морем. Вдоль границы сектора 90–180° в.д. (между меридианами 170–180° в.д.) проходит Трансарктическое течение, направленное из района о. Врангеля к полюсу и далее к проливу Фрама.

Локализация Трансарктического течения определяется характером гравитационного поля к западу и востоку от него. Западнее меридиана

170° в.д. и самого течения располагается обширная область отрицательных аномалий силы тяжести с преобладающей циклонической циркуляцией вод. Восточнее меридиана 180° и направления Трансарктического течения гравитационное поле характеризуется в основном положительными аномалиями силы тяжести и антициклонической циркуляцией вод. Сами же области отрицательных и положительных гравитационных аномалий западнее и восточнее Трансарктического течения находятся в состоянии хорошо выраженной оппозиции по отношению к нему (рис. 1).

Сектор СЛО от 0 до 90° з.д. занимает значительно меньшую площадь и представляет собой малоградиентное поле с преобладанием незначительных положительных аномалий силы тяжести.

Сектор СЛО от 90 до 180° в.д. имеет преимущественно отрицательные аномалии силы тяжести. Область в центре этого района характеризуется наибольшим значением отрицательной аномалии (-110 мгал) и располагается внутри крупной циклонической системы циркуляции.

Сектор СЛО от 170° в. д. до 90° з.д. характеризуется преимущественно положительными аномалиями силы тяжести, на фоне которых располагаются небольшие области отрицательных аномалий. Это район Канадской котловины, в которой осуществляется антициклоническая циркуляция вод.

Особенности проявления ледовой оппозиции на трассе Севморпути

Моря к северу от побережья Сибири – Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское – область особых интересов России в Арктике. Здесь проходит Северный морской путь – главная транспортная артерия, связывающая северную окраину страны с ее европейскими и развивающимися дальневосточными портами.

Главной особенностью изменений ледовых условий в Сибирских арктических водах и на трассе Северного морского пути является оппозиция в ходе ледовитости Карского и Восточно-Сибирского морей, доминирующая в 72% известных случаев [1].

Основные этапы сезонных изменений ледовых условий в морях сибирских арктических вод

С ноября по май моря САВ покрыты практически сплошным льдом толщиной до 2 м (конец зимы). Около четверти площади морей ($0.625 \text{ км}^2 \times 10^6$) занято припаем [1].

Местами кромка припая уходит в море на сотни километров, где распространены дрейфующие льды. При отжимных ветрах эти льды отступают от кромки, образуя заприпайные полыньи. В ряде районов зимний ветровой режим создаёт условия, когда заприпайные полыньи существуют стационарно (например, Новосибирская полынья).

Однолетние льды – распространены на большей части САВ.

Многолетние льды – постоянно присутствуют лишь в Восточно-Сибирском море, занимая в среднем до 20% площади с максимумами в отдельные годы.

Признаки разрушения льда у кромки появляются в мае.

Процесс очищения заметен со второй половины июня (продолжается около трёх месяцев).

Новое лёдообразование среди остаточных льдов на севере морей начинается во второй половине сентября.

Интенсивное распространение на чистую воду – в конце сентября – начале октября.

Становление сплошного льда (от Новой Земли до Берингова пролива) завершается к началу ноября. [1].

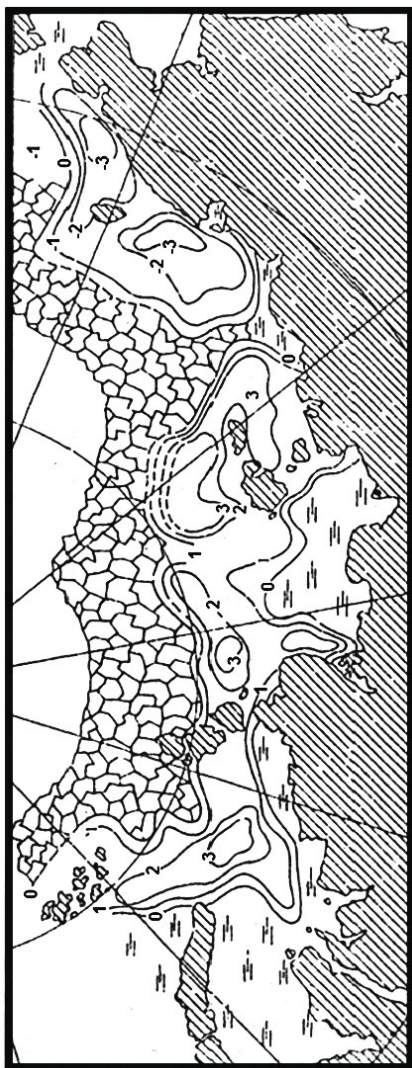
Особенности изменений ледовых условий на трассе Северного морского пути

Наиболее важные особенности в изменении ледовых условий на трассе Севморпути отражают рис. 1 и 2. Эти особенности состоят в следующем: 1) ледовитость САВ от года к году испытывает значительные колебания с отчётливо выраженной группировкой лет по тяжести ледовых условий), рис. 1; 2) ход ледовитости в основном остаётся неизменным в течение всего летнего сезона; 3) многолетний минимум ледовитости с 1932 по 1991 гг. пришёлся на конец 1930 – начало 1940-х гг.; 4) амплитуда колебаний ледовитости в САВ убывает в восточном направлении и к западу от Новой Земли. Отметим хорошую согласованность хода годовых и сентябрьских изменений.

Главной особенностью изменений ледовых условий в Сибирских арктических водах и на трассе Северного морского пути является оппозиция в ходе ледовитости Карского и Восточно-Сибирского морей. В 72% случаев колебаниям ледовитости в Карском море соответствуют противоположные по знаку вариации её в Восточно-Сибирском. В 28% случаев изменения ледовитости имели в этих морях один и тот же знак. Однозначные изменения ледовитости на всём Северном морском пути крайне редки [1].

Оппозиция достаточно чётко выражена в климатических и межгодовых изменениях льдов В 72% случаев росту и падению ледовитости в Кар-

Рис. 2. Изменение сплочённости льдов сибирского побережья от десятилетия 1946–1955 гг. к десятилетию 1955–1960 гг. в первой декаде сентября, баллы [1]



ском море соответствуют противоположные по знаку изменения её в Восточно-Сибирском. Лишь в 28% случаев изменения ледовитости от года к году имели в этих морях один и тот же знак. Отчётливая оппозиция в ходе ледовитости между западными и восточными арктическими морями позволяет говорить о том, что периодам ухудшения ледовых условий на западном участке соответствует обратная картина на восточном. Однозначные изменения ледовитости на всём Севморпути крайне редки [1].

Ледовая оппозиция Карского и Восточно-Сибирского морей, как важный арктический фактор, наиболее полно была изучена в 1990-е и 2000-е гг. [1, 3].

Указанные данные согласуются с результатами нашего анализа ежедневной смены элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) для 1941–1945 гг., выбранных из Календаря последовательной смены ЭЦМ Северного полушария [2].

Рассмотрение динамических схем ЭЦМ периодов ледовых проводок по Севморпути позволило выявить оппозицию также и в характере циркуляции атмосферы над Карским и Восточно-Сибирским морями (прорывы циклонов, или холодные арктические вторжения).

Заключение

Рассмотрение глобальных атмосферных и ледовых условий в годы указанных экспедиций проводилось на основе Классификаций элемен-

тарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) Северного полушария [2] и полей дрейфа льдов в Арктическом бассейне [5].

Выделены группы ЭЦМ, при которых удавалось осуществление сквозных плаваний судов по всей трассе Севморпути. Были также выявлены ЭЦМ при длительных плаваниях судов в тяжёлых льдах с вынужденными зимовками. Чаще всего это обуславливалось проявлением оппозиции в ходе ледовитости Карского и Восточно-Сибирского морей (до 71–80% случаев в ходе рассмотренных ледовых операций).

Работа выполнена по теме госзадания № 0135-2019-0076 «Геологические опасности в Мировом океане и их связь с рельефом, геодинамическими и тектоническими процессами».

Литература

1. *Визе В.Ю.* Гидрологический очерк моря Лаптевых и Восточно-Сибирского // Материалы Комиссии по изучению Якутской АССР. Вып. 5. Л.: Изд-во АН СССР, 1926. 86 с.

2. *Воскресенский А.И., Любарский Л.Н., Петров Л.С.* О климатической оппозиции в Арктике. // Особенности структуры атмосферы полярных районов. Л. Гидрометеоздат: Том 370. 1981. С. 131–138.

3. *Захаров В.Ф.* Морские льды в климатической системе. СПб: Гидрометиздат, 1996. 213 с.

4. *Захаров В.Г.* Особенности колебаний ледников Приатлантической Арктики (конец XIX – XXI вв.) // Сложные системы. 2014. № 4 (13). С. 33–45.

5. *Захаров В.Г., Кононова Н.К.* Связь дрейфа льдов в Арктике в XX–XXI веков с циркуляцией атмосферы // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, 2020. С. 34–36.

6. *Рудяев Ф.Н., Бензман В.Ю.* Внешнее гравитационное поле Земли и циркуляция вод Северного ледовитого океана // Долгопериодные изменения гидрометеорологических полей в полярных областях. Т. 371. Л. Гидрометеоздат, 1983. С. 78–95.