



**XII Международная научно-практическая конференция
«Морские исследования и образование»
MARESEDU-2023**

**XII International conference
«Marine Research and Education»
MARESEDU-2023**

**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ /
CONFERENCE PROCEEDINGS
Том IV (IV) / Volume IV (IV)**

**23-27 октября 2023 г.
г. Москва**



УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

T78

Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» Том IV (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2024, 505 с.:

ISBN 978-5-6049290-6-3

ISBN 978-5-6051693-1-4 (т.4)

Сборник «Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из четырех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям технической программы конференции: океанология, гидрология, морская геология, гидрографические и геофизические исследования на акваториях, морские ландшафты морская биология, морские млекопитающие, рациональное природопользование и подводное культурное наследие. Помимо основных секций на конференции были представлены: пленарная сессия, посвященная 70-летию кафедры океанологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и 85-летию ББС МГУ имени Н.А. Перцова, секция научно-популярных фильмов и круглые столы: «Современные авиационные исследования объектов биологического разнообразия. Практика и перспективы развития» и «Применение искусственного интеллекта для изучения биологических объектов».

Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, шельфовых морей и крупнейших озер, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, проблемы освоения ресурсов континентального шельфа, достижения науки в области морской геологии, современные подходы к исследованиям обширных акваторий дистанционными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организацию и проведение комплексных экспедиционных исследований, преподавание «морских дисциплин», вопросы организации полевых практик студентов.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский
пр-т, д. 7, пом. II polypress@yandex.ru

Все права на издание принадлежат
ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова», 2024
© ООО «ПолиПРЕСС»

УДК 551.352

Рубрика 38.15.00

ОСАДОЧНОЕ ЗАПОЛНЕНИЕ ТРАНСФОРМНОЙ ЗОНЫ ЧАРЛИ-ГИББС
 SEDIMENT INFILL OF THE CHARLIE-GIBBS FRACTURE ZONE

**Дорохова Евгения Валерьевна^{1,2}, Пономаренко Екатерина Петровна¹, Пугачева
 Татьяна Леонидовна^{1,2}, Баширова Лейла Джангировна^{1,2}, Соколов Сергей Юрьевич³**

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), Москва*

² *Балтийский федеральный университет им. И. Канта (БФУ им. Канта), Калининград*

³ *Геологический институт РАН (ГИН РАН), Москва*

**Dorokhova Evgenia Valerievna^{1,2}, Ponomarenko Ekaterina Petrovna¹, Pugacheva Tatiana
 Leonidovna^{1,2}, Bashirova Leyla Dzhangirovna^{1,2}, Sokolov Sergey Yurievich³**

¹ *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

² *Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad*

³ *Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow*

Введение

Морские трансформные разломы занимают обширные площади океанского дна и являются границами литосферных плит, образованными сдвиговыми разломами. Морфологически они резко отличаются от окружающих глубоководных равнин и срединно-океанических хребтов, поскольку представляют собой узкие вытянутые впадины с крутыми склонами. Благодаря своей форме они могут служить глубоководными проходами для придонных водных масс и способствовать обмену водой, отложениями и биотой между соседними абиссальными равнинами (Hernández-Molina *et al.* 2008).

Зона разломов Чарли-Гиббс (ЧГ) является основной трансформной системой в Северной Атлантике и относится к "мегатрансформам", поскольку состоит из двух трансформных долин (Сколотнев и др., 2021). Она характеризуется значительным смещением рифтовых сегментов Срединно-Атлантического хребта на 340 км и высокой протяженностью разломов за пределами активной зоны, что делает ее уникальной структурой в северных широтах Атлантического океана. Разлом ЧГ образован северной и южной разломными долинами, разделенными межразломным хребтом (Рисунок 1). Трансформные долины разделяются спрединговым центром в хребте на активные и пассивные части. Активные трансформы расположены в западной и восточной секциях северной и южной долин, соответственно.

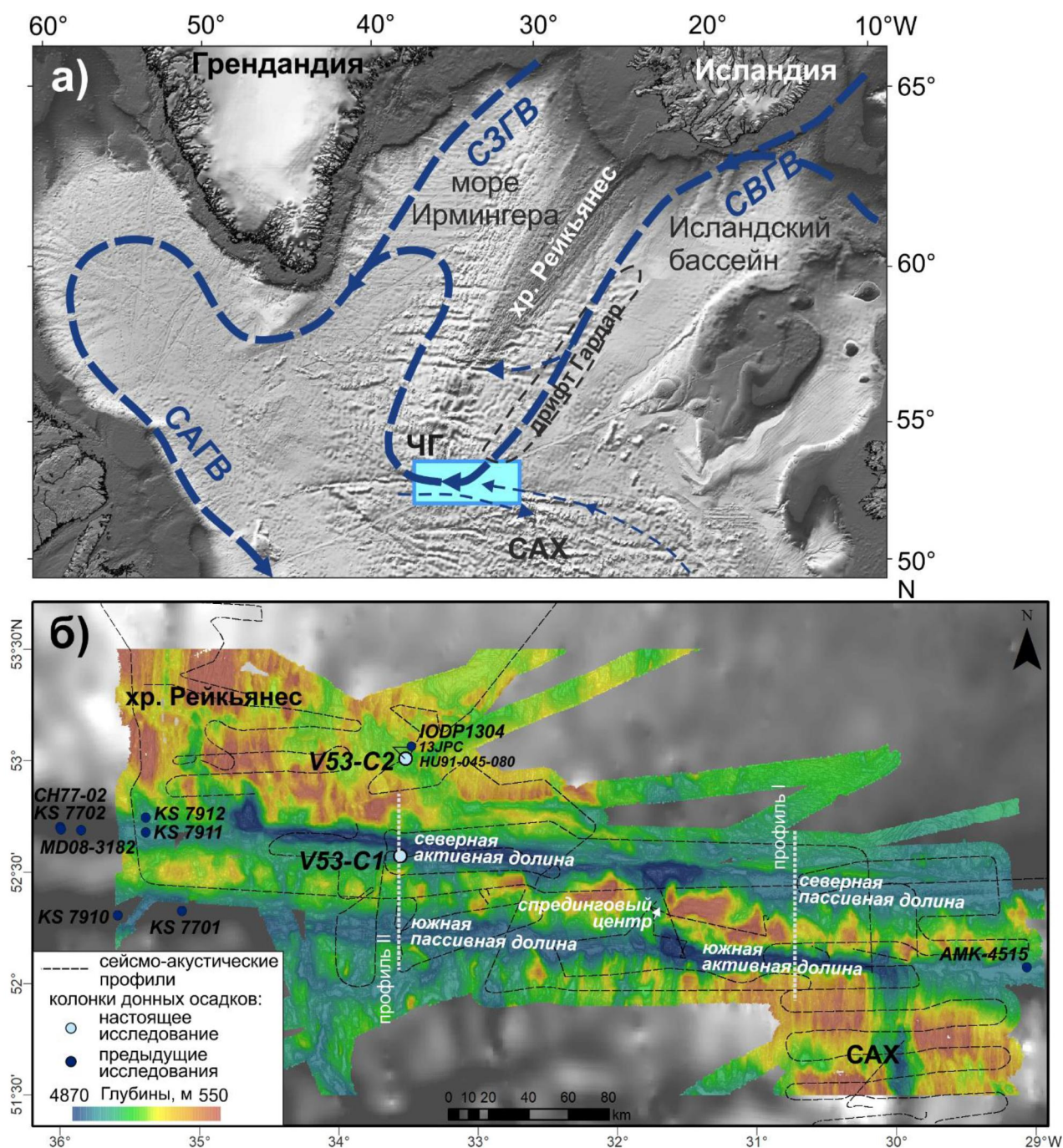


Рисунок 1. Район исследования: а) схема придонных течений в Северо-Восточной Атлантике по (Daniault *et al.* 2016), голубой прямоугольник обозначает район исследования, представленный на схеме б, СВГВ – Северо-восточная глубинная вода, СЗГВ – Северо-западная глубинная вода, САГВ – Северо-Атлантическая глубинная вода, ЧГ – зона трансформных разломов Чарли-Гиббс, САХ – Срединно-Атлантический хребет; б) батиметрическая схема зоны трансформных разломов Чарли-Гиббс (Сколотнев и др., 2021) и положение проанализированных сейсмо-акустических профилей и колонок донных осадков. Белый пунктир – положение разрезов, представленных на Рисунке 2.

ЧГ является основным глубоководным проходом для распространяющейся на запад Северо-восточной глубинной воды (СВГВ) (Рисунок 1). СВГВ входит в состав Северо-Атлантической глубинной воды, являющейся нижней ветвью Атлантической меридиональной

опрокидывающейся циркуляции, тесно связанной с глобальными изменениями климата в четвертичный период (Broecker *et al.* 1985). На пути своего распространения течение СВГВ оказывает значительное седиментологическое воздействие в Исландском бассейне, образуя гигантские осадочные тела - контуритовые дрифты, такие как Бьёрн и Гардар на восточном склоне хребта Рейкьянес (Bianchi and McCave 2000). Проходя через долины ЧГ, придонное течение может способствовать образованию аккумулятивных и эрозионных форм из-за увеличения скорости донного течения в узких депрессиях, как это происходит в других глубоководных проходах (например, (Glazkova *et al.* 2021; Borisov *et al.* 2023)). Осадки, сформированные под влиянием придонных течений (контуриты), служат ценным палеоокеанологическим архивом параметров палеотечений (например, McCave *et al.* 2017). Реконструкция осадочных процессов необходима для выявления и изучения климатического сигнала в отложениях.

Геологическое строение и гидрологический режим в районе ЧГ достаточно хорошо исследованы, однако процессы осадконакопления остаются слабоизученными. Целью работы является реконструкция процессов осадконакопления в зоне ЧГ в период позднего плейстоцена – голоцена на основе сейсмоакустических данных высокого разрешения и литологических исследований колонок донных отложений.

Материалы и методы

Материалы включают данные сейсмоакустического профилирования дна с высоким разрешением, полученные в 50-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в 2020 году с помощью акустической системы EdgeTech 3300 (2-6 кГц) (Сколотнев и др., 2021). В 53-м рейсе ПС «Академик Сергей Вавилов» отобраны две колонки донных отложений V53-C1 (52°37,080' с.ш., 33°34,726' з.д., глубина отбора 3850 м, длина 4,65 м) и V53-C2 (53°03,301' с.ш., 33°32,719' з.д., глубина отбора 3140 м, длина 5,20 м) (Skolotnev *et al.* 2023). В качестве батиметрической основы использована полученная ранее цифровая модель рельефа дна (Сколотнев и др., 2021).

На основе сейсмоакустических данных выполнена классификация эхо-типов в районе исследования. Для колонок донных осадков выполнены комплексные литологические исследования, включающие литологическое описание, геохимический анализ рентгено-флуоресцентным методом портативным анализатором Olympus Vanta C, анализ содержания карбоната кальция на углеродном анализаторе AN-7529M, гранулометрический анализ на лазерном дифракционном анализаторе размеров частиц SALD 2300 (Shimadzu), определение минерального состава на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker AXS), анализ магнитной восприимчивости с использованием системы Bartington MS3 со сканирующим датчиком MS2E.

В колонках донных осадков проведен микропалеонтологический анализ и подсчет зерен ледового разноса для фракции осадка крупнее 100 мкм. Зерна вулканического стекла подсчитывались отдельно от зерен кварца. Кроме того, был определен процент холодноводного вида *Neogloboquadrina pachyderma* (sin.) относительно числа остальных раковин планктонных фораминифер.

Датирование трех образцов методом радиометрической ускорительной масс-спектрометрии по ¹⁴C выполнено в “AMS Golden Valley” (Центр коллективного использования научного оборудования "Ускорительная масс-спектрометрия" Новосибирского государственного университета и Новосибирского научного центра, Новосибирск, Россия). Возраст ¹⁴C откалиброван с использованием программного обеспечения Calib 8.20 и калибровочной кривой MARINE20 (Heaton *et al.* 2020) с учетом резервуарного возраста 550 лет.

Литостратиграфическое подразделение колонок проведено на основе распределения концентраций CaCO_3 , $\ln(\text{Ca}/\text{Fe})$ и холодноводного вида *N. pachyderma* (sin.). Дополнительно была выполнена корреляция минералогических данных с минеральным составом датированной колонки HU91-045-080 (Fagel and Mattielli 2011), отобранной на месте керна глубоководного бурения IODP 1304 на расстоянии 1 км от колонки V53-C2. Литостратиграфическое подразделение заверено датировками AMS ^{14}C .

Результаты

На основе данных высокоразрешающего профилирования дна в районе исследования выделено 13 эхо-типов. В северной пассивной долине ЧГ распространены эхо-типы с четкой акустической стратификацией и пологой ундуляцией рефлекторов. Поверхность дна осложнена осадочными волнами. В северном активном трансформе дно депрессии, вытянутой вдоль северного склона, характеризуется эхо-типами с хаотичным акустическим сигналом, что свидетельствует о преобладании турбидитов. Осадочное тело на террасе, примыкающей к южному склону долины, имеет характерную клиновидную форму и представлено стратифицированными ундуляционными эхо-типами. Дно южной активной долины характеризуется рассеянным акустическим сигналом, указывающим на отсутствие неконсолидированных осадков. В южной пассивной долине выявлены линзовидные аккумулятивные тела. Эти отложения, а также вершины и пологие склоны срединных хребтов представлены акустически стратифицированными эхо-типами. Эхо-типы с хаотичными рефлекторами широко распространены у подножий склонов долин и срединных хребтов во всех долинах разлома, что свидетельствует о наличии турбидитов. Севернее разлома, в изолированной впадине на восточном склоне хребта Рейкьянес выявлены акустически стратифицированное аккумулятивное тело и прилегающий к нему эрозионный канал, интерпретированные как контуритовые дрифт и канал.

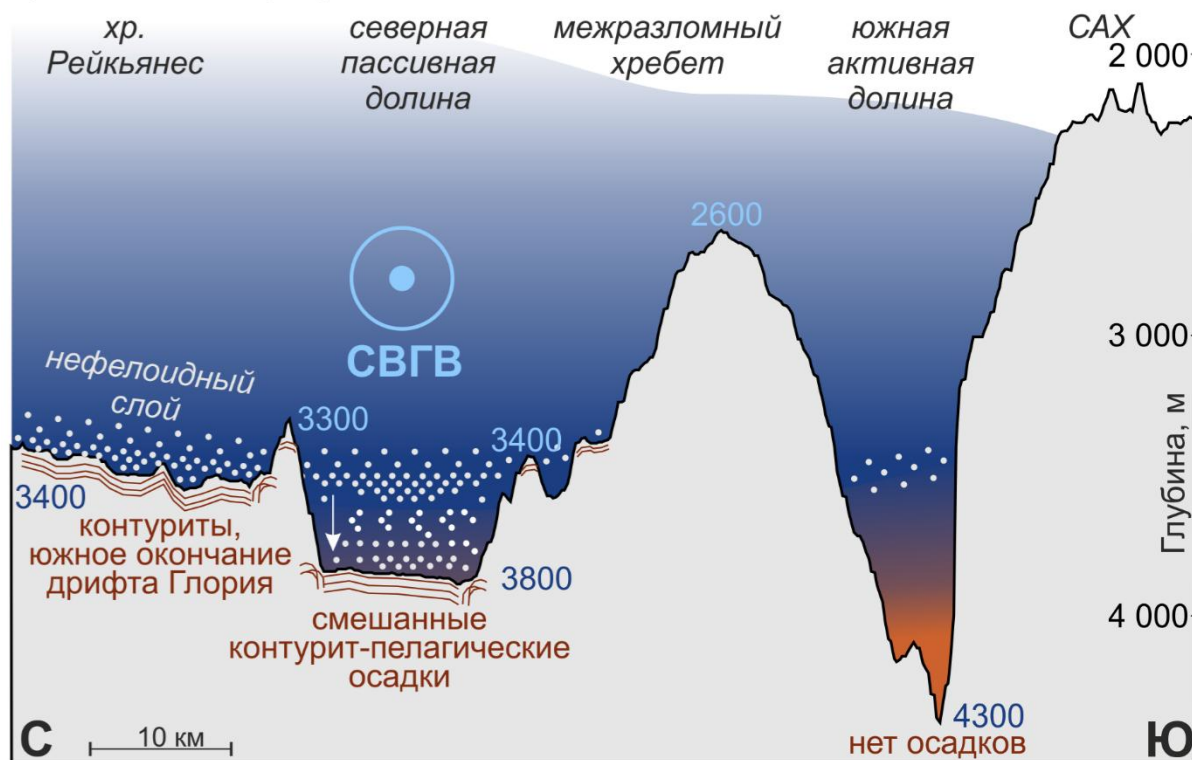
Согласно литостратиграфическому подразделению и полученным датировкам осадки двух исследованных колонок имеют позднечетвертичный возраст. Проведенные анализы позволили выделить шесть литофаций. Литофации F1 и F2 являются общими для двух колонок. Фация F1 относится к голоценовому периоду и интерпретирована как смешанная контурит-пелагическая. Фация F2 представлена гемипелагитами с высоким содержанием зерен ледового разноса и относится к позднему плейстоцену. В колонке V53-C1, отобранной на вершине аккумулятивного тела на террасе северной активной долины, в позднеплейстоценовых осадках выявлены литофации F3 и F4, интерпретированные как высококарбонатная гемипелагическая фация с высоким содержанием зерен ледового разноса и турбидит, соответственно. Колонка V53-C2, полученная в вершине контуритового дрифта в изолированной впадине хребта Рейкьянес, характеризуется двумя специфическими литофациями F5 и F6, интерпретированными как диатомовый мат и пепловый прослой, соответственно. Интервал пеплового прослоя (F6) соотнесен с пепловым слоем зоны 1 Северной Атлантики по аналогии с пепловым горизонтом, соответствующим позднему дриасу в соседней колонке JPC-13 (Hodell *et al.* 2010), что позволило получить дополнительную временную привязку.

Формирование осадочной толщи в ЧГ

Анализ имеющихся материалов позволил реконструировать механизмы формирования осадочной толщи ЧГ в позднечетвертичный период. В течение теплого голоценового интервала отложения в долинах разлома накапливались под влиянием течения СВГВ, причем ее наибольшее влияние выявлено в северной долине и в изолированной впадине на восточном склоне хребта Рейкьянес (Рисунок 2). Поскольку дно северной пассивной долины с глубинами

3800-3900 м находится глубже, чем нижняя граница современной СВГВ (~3500 м, (Bower and Furey 2017)), предположено, что придонное течение непосредственно не взаимодействует с отложениями, что приводит к смешанному контурит-пелагическому типу осадконакопления. Контуритовый компонент обусловлен взвешенным веществом, переносимым внутри нефелоидного слоя придонного течения СВГВ. Вертикальное осаждение из нефелоидного слоя способствует формированию акустически слоистой осадочной толщи. Широко распространенные осадочные волны указывают на увеличение гидродинамической активности в долинах из-за увеличения скорости придонных течений в ограниченном пространстве.

а) восточный профиль I



б) западный профиль II

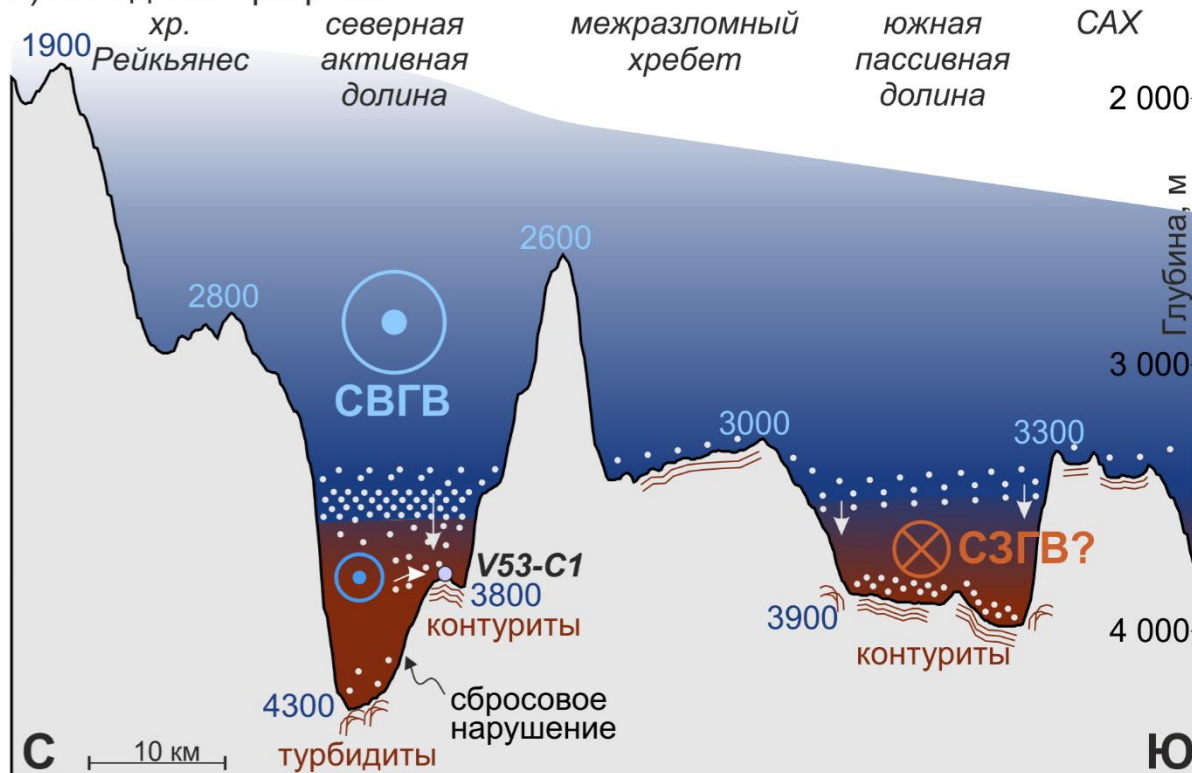


Рисунок 2. Схема процессов осадконакопления в ЧГ в современный (голоценовый) период. Сокращения расшифрованы на Рисунке 1. Синие цифры – глубины дна на ключевых геоморфологических точках.

В активной части северной долины тектонические процессы определяют положение эрозионного канала вдоль северного склона долины, тогда как на террасе вдоль южного склона развивается тектонически контролируемый контуритовый дрейф под влиянием течения СВГВ. Формирование контуритовых дрейфов на террасе на глубине практически нулевых значений скорости СВГВ по данным (Bower and Furey 2017) можно объяснить локальным увеличением скорости придонного течения при прохождении узкой вытянутой впадины активного разлома. Увеличение скорости потока топографически обусловлено сужением впадины согласно закону Бернулли (Whitehead 1998) и может оказывать значительное влияние на латеральный перенос взвеси и формирование контуритовых дрейфов (Rebesco *et al.* 2014).

В западной (пассивной) части южной долины образование русловых контурных дрейфов, вероятно, обусловлено течением Северо-западной глубинной воды, подстилающей СВГВ и распространяющейся в восточном направлении.

Смешанный контурит-пелагический и контуритовый типы осадконакопления в голоцене способствовали формированию отложений с высокими скоростями осадконакопления (в среднем 19-24 см/тыс. лет), которые позволяют проводить палеоокеанологические реконструкции с высоким разрешением. На основе данных минералогического анализа выявлено постепенное исчезновение амфибола из осадков колонки V53-C2 с нижней части колонки до горизонтов раннего голоцена и до среднего голоцена в более южной колонке V53-C1. Это указывает на последовательное уменьшение поступления амфибола из Северо-Западной Атлантики из-за возрастающего влияния направленного на запад течения СВГВ в период раннего-среднего голоцена.

Во время ледникового периода позднего плейстоцена в обеих долинах преобладало гемипелагическое осадконакопление. Сопоставление осадочных разрезов колонок с сейсмоакустическими данными показало, что осадки с высоким содержанием материала ледового разноса совпадают с интенсивными акустическими рефлекторами. Таким образом, акустически слоистая структура отложений, заполняющих трансформные долины, обусловлена чередованием ледниковых и межледниковых интервалов, по крайней мере в верхней части осадочной толщи.

Тектонические деформации, нарушающие акустическую слоистую структуру осадочных толщ, были обнаружены в ЧГ как в пределах активных трансформных разломов, так и в долинах пассивных разломов и за пределами зоны разломов. Они представлены штамповыми складками, взбросовыми и сбросовыми нарушениями, а также структурами протыкания, в основном связанными с современной тектонической активностью, носящей, вероятно, сдвиговый характер.

Выводы

На основе данных высокоразрешающего профилирования дна, а также комплексного анализа осадочных разрезов реконструированы условия формирования осадочной толщи ЧГ в позднечетвертичный период. В позднем плейстоцене в обеих долинах мегатрансформа ЧГ преобладало гемипелагическое осадконакопление. В голоцене выявлены смешанный контурит-пелагический и контуритовый типы накопления материала, способствующие высоким скоростям осадконакопления. В данный период в северной долине и во впадине на восточном склоне хребта Рейкьянес осадки накапливались под влиянием течения СВГВ. Результаты минералогического анализа указывают на постепенное усиление интенсивности течения СВГВ, начиная с раннего-среднего голоцена. Контуритовые дрейфы в южной пассивной долине, вероятно, образовались под действием СВГВ. В акустически слоистой структуре отложений, обусловленной чередованием ледниковых и межледниковых интервалов, выявлены деформации, обусловленные современной тектонической активностью.

Исследование подчеркивает важность зон океанических трансформных разломов для палеорекоkonструкций, поскольку они могут служить глубоководными проходами для придонных течений, которые оставляют заметный седиментологический след при прохождении через такие проходы. Его расшифровка способствует реконструкции параметров палеотечений, что позволяет получить важную информацию для изучения климата прошлого.

Благодарность

Авторы благодарят Ласкину Дарью Николаевну за выполнение гранулометрического анализа и Добролюбову Ксению Олеговну за составление батиметрической схемы.

Финансирование

Исследование колонок донных осадков выполнено при поддержке РФФИ, проект № 22-17-00170, <https://rscf.ru/project/22-17-00170/>. Интерпретация сейсмоакустических профилей выполнена в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0012).

Список литературы:

1. Сколотнев, С.Г., Санфилиппо, А., Пейве А.А. и др. 2021. Геолого-геофизические исследования разломной зоны Чарли Гиббс (Северная Атлантика). *Доклады Российской Академии Наук. Науки О Земле*, 497, 5–9.
2. Bianchi, G.G. and McCave, I.N. 2000. Hydrography and sedimentation under the deep western boundary current on Bjorn and Gardar Drifts, Iceland Basin. *Marine Geology*, 165, 137–169.
3. Borisov, D.G., Frey, D.I., Ivanova, E. V., Dmitrevskiy, N.N., Levchenko, O. V., Fomin, V. V. and Ligi, M. 2023. Unveiling the contourite depositional system in the Vema Fracture Zone (Central Atlantic). *Scientific Reports*, 13, 1–12.
4. Bower, A. and Furey, H. 2017. Iceland-Scotland Overflow Water transport variability through the Charlie-Gibbs Fracture Zone and the impact of the North Atlantic Current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122, 6989–7012.
5. Broecker, W.S., Peteet, D.M. and Rind, D. 1985. Does the ocean-atmosphere system have more than one stable mode of operation? *Nature*, 315, 21–26.
6. Daniault, N., Mercier, H., et al. 2016. The northern North Atlantic Ocean mean circulation in the early 21st century. *Progress in Oceanography*, 146, 142–158.
7. Fagel, N. and Mattielli, N. 2011. Holocene evolution of deep circulation in the northern North Atlantic traced by Sm, Nd and Pb isotopes and bulk sediment mineralogy. *Paleoceanography*, 26, 1–15.
8. Glazkova, T., Hernández-Molina, F.J., et al. 2021. Sedimentary processes in the Discovery Gap (Central–NE Atlantic): An example of a deep marine gateway. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 180, 103681.
9. Heaton, T.J., Köhler, P., et al. 2020. Marine20 - The Marine Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55,000 cal BP). *Radiocarbon*, 62, 779–820.
10. Hernández-Molina, F.J., Maldonado, A. and Stow, D.A.V. 2008. Chapter 18 Abyssal Plain Contourites. *Developments in Sedimentology*, 60.

11. Hodell, D.A., Evans, H.F., Channell, J.E.T. and Curtis, J.H. 2010. Phase relationships of North Atlantic ice-rafted debris and surface-deep climate proxies during the last glacial period. *Quaternary Science Reviews*, 29, 3875–3886.
12. McCave, I.N., Thornalley, D.J.R. and Hall, I.R. 2017. Relation of sortable silt grain-size to deep-sea current speeds: Calibration of the ‘Mud Current Meter’. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 127, 1–12.
13. Rebesco, M., Hernández-Molina, F.J., Van Rooij, D. and Wåhlin, A. 2014. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations. *Marine Geology*, 352, 111–154.
14. Skolotnev, S.G., Sanfilippo, A., et al. 2023. Crustal Accretion Along the Northern Mid Atlantic Ridge (52°-57°N): Preliminary Results From Expedition V53 of R/V Akademik Sergey Vavilov. *Ofioliti*, 48, 13–30.
15. Whitehead, J.A. 1998. Topographic control of oceanic flows in deep passages and straits. *Reviews of Geophysics*, 36, 423–440.