



ДОЛИННЫЕ ФОРМЫ В РЕЛЬЕФЕ ДНА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЕВРАЗИЙСКОГО БАССЕЙНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА (ПО ДАННЫМ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СЪЁМОК МЛЭ)

✉ Казбанова Ю.Н.^{1,2}

¹ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

²СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

✉ yu.kazbanova@vniio.ru

В работе представлены данные о морфологических характеристиках долинных форм в Евразийском бассейне Северного Ледовитого океана. Настоящая работа является продолжением предыдущего исследования на более локальном участке на континентальном склоне в море Лаптевых. Она расширяет область геоморфологического анализа и включает материалы экспедиций разных лет. Рассматриваются различные участки в области континентальной окраины. В ходе сопоставления характеристик долинных форм были выявлены их различия и сходства на разных участках дна Евразийского бассейна.

Ключевые слова: Евразийский бассейн, континентальная окраина, геоморфологический анализ, подводные склоновые процессы, эрозионные каналы, подводные долины, каньоны

Введение. Подводные долины являются сложными объектами исследования. На протяжении всей истории их изучения анализ данных форм сильно зависел от материалов съёмок рельефа морского и океанического дна. Представление особенностей подобных форм рельефа в Евразийском бассейне до относительно недавнего времени основывалось на данных батиметрических карт [Дибнер, 1965; Орографическая карта, 1995]. Те подводные долины, которые удавалось идентифицировать, отмечались на геоморфологических картах Евразийского бассейна отчасти условно ввиду слабой батиметрической изученности. Ранее на геоморфологических картах показывалась, как правило, одна категория долинных форм – подводные каньоны. За неимением детальных данных к этой категории относили сравнительно узкие линейные формы с односторонним уклоном и выраженным врезом. При этом на геоморфологической карте м-ба 1: 5 000 000 под редакцией В.Д. Дибнера 1965 г. [Дибнер, 1965] в Евразийском бассейне показаны лишь единичные каньоны в его прилаптевоморской части, причем только в пределах континентального склона и с верховьями, прорезающими бровку шельфа. На «Орографической карте Арктического бассейна» 1995 г. Г.Д. Нарышкин показывает их в значительно большем количестве по периферии всего бассейна, включая склон хребта Ломоносова, обращенный к котловине Амундсена [Орографическая карта, 1995]. При этом в прилаптевоморской части бассейна каньоны изображены пересекающими пространства, относимые, по современным данным, к континентальному подножию и достигающими абиссальных равнин.

В 2000-х гг. стали развиваться как аппаратурные средства батиметрических измерений, так и методы интерпретации полученных с их помощью данных. В отечественной практике стали широко применяться многолучевые эхолоты. Это позволило получить качественное и более подробное отображение долинных форм, количество и разнообразие которых по размерам, форме, продольному и поперечному профилю оказалось значительнее, чем считалось до этого.

Первый анализ подводных долинных форм на континентальном склоне в море Лаптевых проводился автором на основе материалов 2022 и 2024 гг., полученных в ходе батиметрической съёмки с океанографического исследовательского судна «Янтарь», оснащённого многолучевым эхолотом (МЛЭ). Данный полигон является единственным примером отечественной площадной съёмки подобной детальности в Евразийском

бассейне [Зинченко, 2024]. Результаты исследования долинных форм на полигоне батиметрических съёмок были представлены в 2025 г на IX молодёжной конференции во ВНИИОкеангеология [Казбанова, 2025]. Они заставили обратить внимание на долинные формы на прилежащих участках, которые пересечены отдельными профилями МЛЭ. Настоящая работа является продолжением исследования эрозионных долин в рассматриваемом бассейне.

Методика исследования. В данной работе предпринимается попытка анализа материалов нескольких экспедиций научно-исследовательских судов, оснащённых МЛЭ, разных лет. Дано описание морфологических характеристик долинных форм, которые были обнаружены в исследуемых областях на основе упомянутых материалов, анализ которых выполнялся в специализированной геоинформационной программе Geocap. С помощью инструментов этой программы было установлено положение долинных форм, батиметрический интервал, в котором они располагаются, их ориентировка, а также морфометрические характеристики их поперечного и продольного профиля. Особенности продольных полос съёмок МЛЭ заключаются в том, что они, как правило, не захватывают бровку шельфа, а следовательно, и голову каньона, а также ширина полосы промера сужается вверх по склону, в неё обычно попадают лишь фрагменты долинных форм.

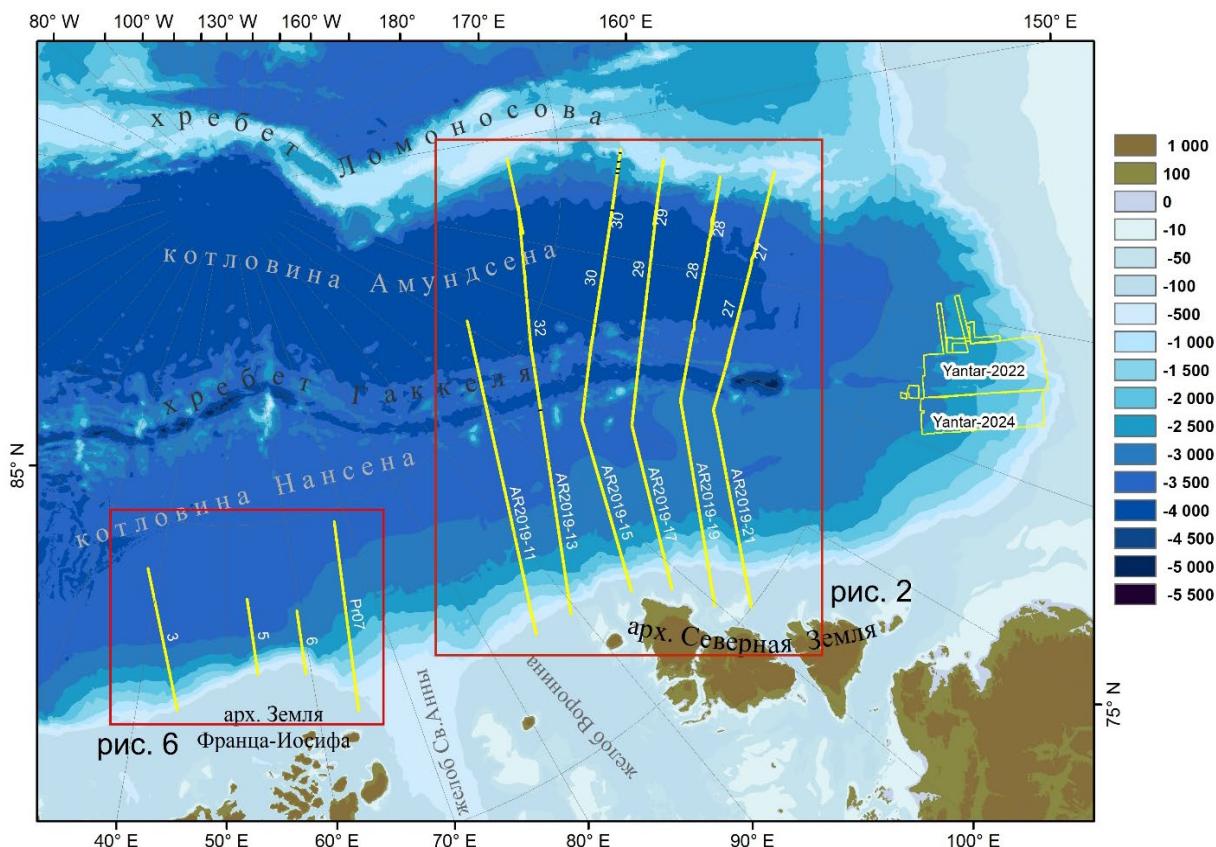


Рис. 1. Исследуемые батиметрические профили в Евразийском бассейне Северного Ледовитого океана (на основе батиметрической карты IBCAO v.4)/

Результаты. Для настоящего анализа было взято несколько участков континентальной окраины Евразийского бассейна, по которым проходят профили батиметрических съёмок, выполненные в разные годы (рис. 1). Рассматривались съёмки МЛЭ, выполненные государственным научно-исследовательским навигационно-гидрографическим институтом (АО "ГНИГИ") в 2010, 2011, 2019 и 2020 гг., Всероссийским научно-исследовательским геологическим нефтяным институтом (ФГБУ «ВНИГНИ») в 2022 и Всероссийским научно-исследовательским институтом геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга (ФГБУ

«ВНИИОкеангеологии») в 2024 гг. Полученные профили и полигон охватывают преимущественно континентальную окраину в море Лаптевых, а также континентальный склон вблизи архипелагов Северная Земля и Земля Франца-Иосифа.

На рассматриваемых участках всего было обнаружено 98 долинных форм, 75 из которых – на профилях МЛЭ. При этом они были выявлены на всех рассматриваемых профилях. Далее будут изложены морфометрические характеристики форм, преимущественно выделенных на профилях МЛЭ. Более подробный анализ материалов площадной съёмки ОИС «Янтарь» изложен в предыдущей работе [Казбанова, 2025], но характеристики выделенных там форм будут упоминаться в рамках сравнения.

Из рассматриваемых профилей шесть простираются от бровки шельфа вглубь бассейна вблизи архипелага Северная Земля (AR2019-11 – AR2019-21-27). На рассматриваемых профилях не наблюдаются значительные долинные формы, однако они наиболее многочисленны среди представленных профилей и их количество составляет 43 формы, 13 из которых располагается на профиле AR2019-15-30 (рис. 2). Данные формы имеют протяжённость от 3 до 35 км и разнообразную форму поперечного профиля. Они пролеживают в широком батиметрическом интервале от 200 до 4500 м. Наблюдается как U-образное или корытообразное широкое русло, так и каньонообразное с крутыми склонами и выровненным дном, локально приближенное к V-образной форме. Глубина вреза преимущественно не превышает 50 м, локально доходя до 100 м, но на профиле AR2019-13-32 фиксируется каньонообразная долина с крутыми склонами и выровненным дном глубиной 300 м (рис. 3), что может говорить об интенсивном потоке вещества. На рассматриваемых участках это самая большая имеющаяся глубина вреза.

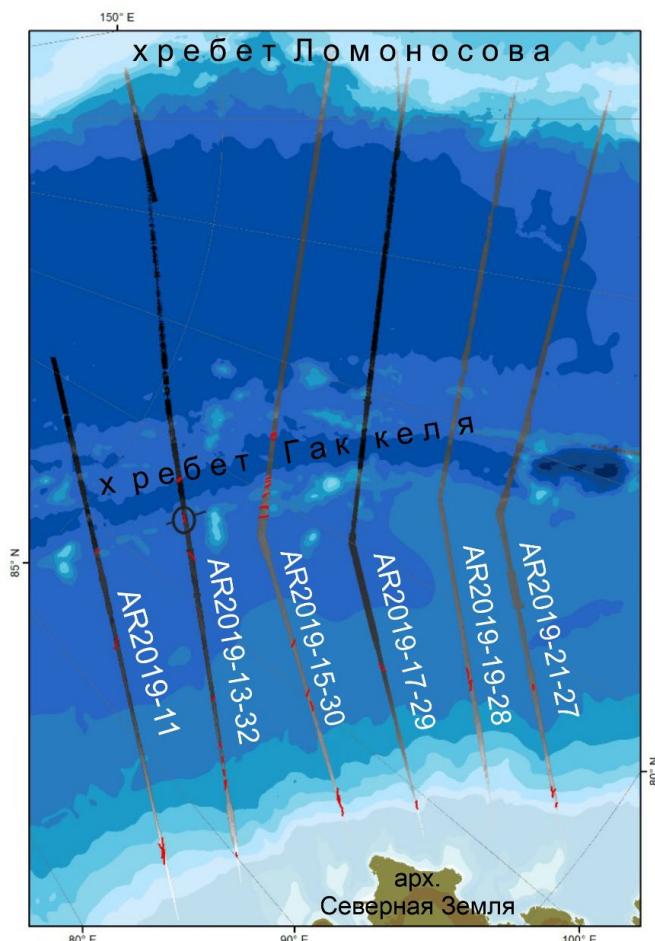


Рис. 2. Долинные формы на профилях съёмок 2010 и 2019 гг. на континентальной окраине вблизи архипелага Северная Земля

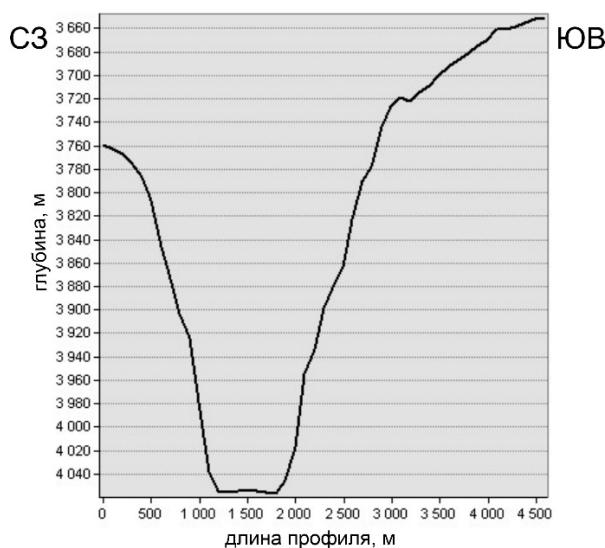


Рис. 3. Поперечный профиль долины на профиле AR2019-13-32.

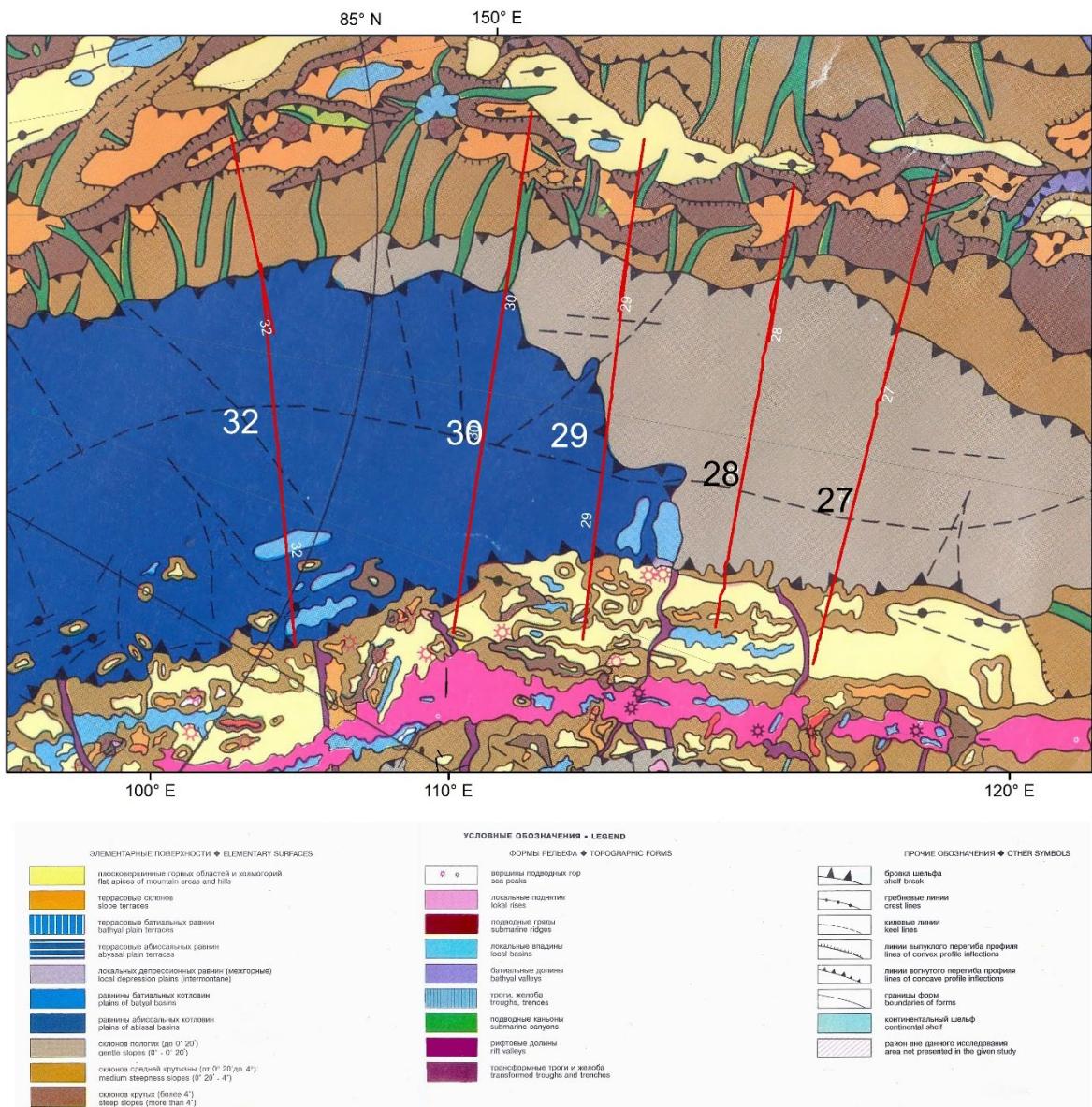


Рис. 4. Расположение профилей 2010 г. на «Орографической карте Арктического бассейна» (1995).

Данные профили, в том числе, частично затрагивают западный склон южной части подводного хребта Ломоносова, где прежде выделялись глубоко врезанные долинные формы [Орографическая карта, 1995]. Все подобные формы классифицировались как подводные каньоны и выделялись в значительно большем диапазоне глубин преимущественно на основе батиметрических карт или профилей однолучевого эхолота. Данные по полигону ОИС «Янтарь» показали, что такие формы в действительности являются более сложным комплексом образований, которые как правило приурочены к более крутой части склона, часто переходя в более мелкие формы на пологих участках. Также изменилось представление о морфологии самих каньонов, в которых стало возможным выделять особенности и отдельные составные элементы. Подробные исследования позволили выделить формы разных порядков с иными морфологическими показателями. К сожалению, рассматриваемые профили практически не затрагивают выделенные в ранних исследованиях каньоны, за исключением профиля AR2019-15-30, который идёт вдоль одного из них (рис. 4). В батиметрическом интервале от 2700 до 3000 м, где можно предполагать наличие каньона, наблюдается выраженный уклон, что даёт возможность предположить, что профиль AR2019-15-30 в этой части захватывает южный борт каньона, который действительно присутствует на склоне хребта Ломоносова (рис. 5). В остальном долинных форм на данном участке по материалам МЛЭ не выявлено.

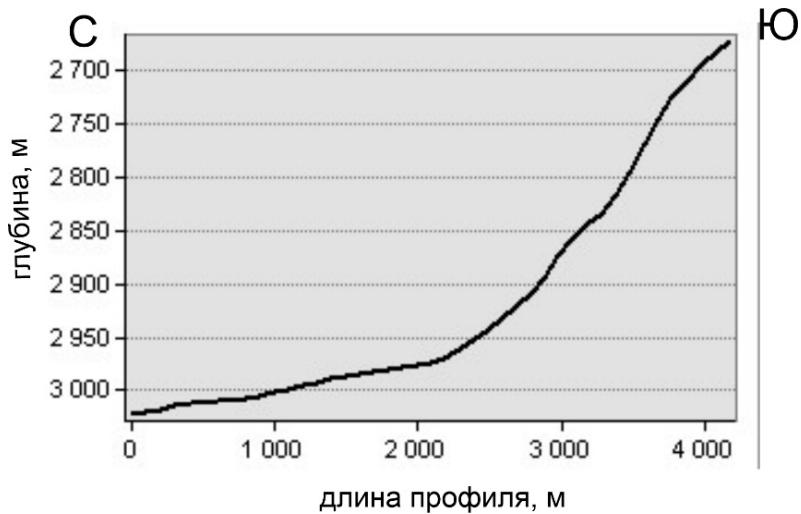


Рис. 5. Склон каньона на профиле, пересекающем полосу AR2019-15-30.

Следующие четыре профили пересекают континентальную окраину вблизи архипелага Земля Франца Иосифа (рис. 6). На трёх из них в батиметрическом интервале от 1000 до 3000 м находятся немногочисленные (12) и короткие (от 3 до 10 км), но чётко выраженные долинные формы с ровной скруглённой U-образной формой поперечного профиля и глубиной вреза от 20 до 80 м (рис. 7а). В свою очередь, на профиле Pr-07 удалось выделить наибольшее на рассматриваемых участках многообразие различных долинных форм практически на всей его длине в широком батиметрическом интервале от 1000 до 4000 м. Всего на данном профиле их выделено 20. Эти каналы демонстрируют несколько отличающуюся картину: долины на профиле Pr-07 имеют поперечный профиль суженной U-образной формы с глубиной вреза не более 25 м (рис. 7б), но при этом они многочисленны. Их протяжённость варьируется от 3 км до 40 км, причём на исследуемых участках наиболее протяжёнными являются именно долины, отмеченные на профиле Pr-07.

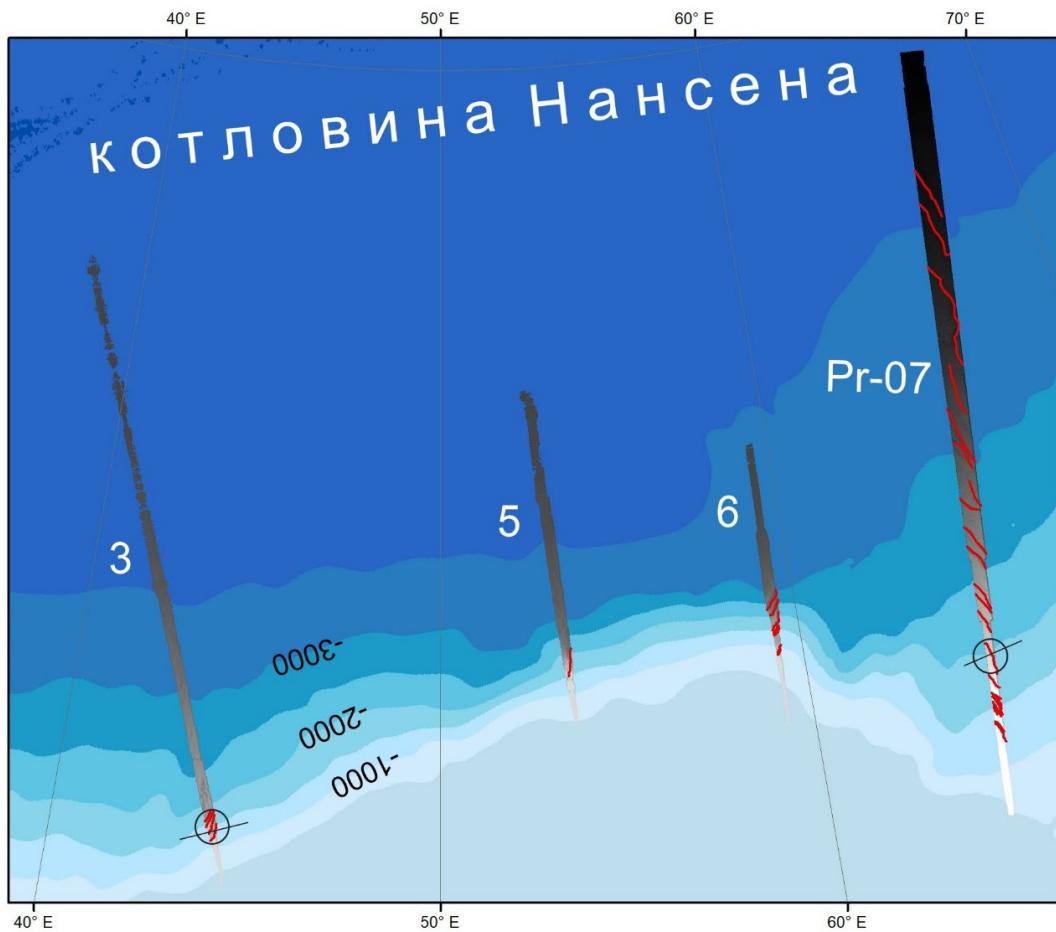


Рис. 6. Долинные формы на профилях 2011 и 2020 гг на континентальном склоне вблизи архипелага Земля Франца-Иосифа.

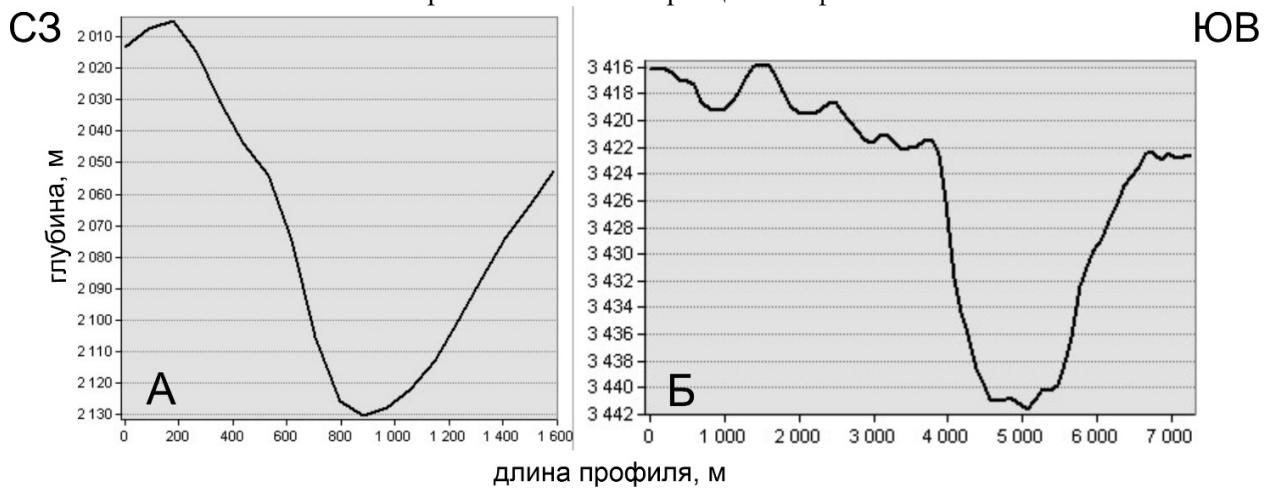


Рис. 7. Поперечные профили долин на профилях 3 (а) и Pr-07 (б).

Наконец, участок континентального склона в море Лаптевых представлен полигоном съёмки ОИС «Янтарь» (рис. 1), о котором шла речь в предыдущей работе. По материалам площадной съёмки 2022-2024 гг. было обнаружено 23 разнообразные долинные формы протяжённостью от 5 до 225 км с глубиной вреза от 2 до 100 м в широком батиметрическом интервале от 1000 до 3500 м. Было выделено четыре класса долинных форм. Первый из них был условно назван каньонами ввиду чёткого глубокого V-образного вреза 50-100 м. Также были выделены классы разветвлённых долин с плавным U-образным поперечным профилем глубиной не более 20-40 м и морфографически схожих с ними обособленных долин без разветвления и глубиной до 10 м. Наконец, в рельефе были отмечены самые незначительные каналы глубиной до 5 м, составляющие

веерные формы на поверхности оползневых тел и предположительно являющиеся временными водотоками в областях фронтальных гряд.

Выводы. Материалы по отдельным профилям, полученные с использованием МЛЭ, позволили существенно расширить район исследования долинных форм в рельефе дна Евразийского бассейна, которые сильно варьируются по морфологическим характеристикам, и выявить их большее разнообразие. Они были выявлены преимущественно на континентальном склоне, так как подводные долины неразрывно связаны со склоновыми процессами. Наибольшее количество долин наблюдается в тех частях профилей, где отмечается значительная крутизна склона (более 10°). Исключение составляет лишь профиль Pr-07, на котором долины равномерно распределены по всей длине профиля.

Важно уточнение, что рассуждать о протяжённости долинных форм так, как это применялось к долинам на полигоне измерений ОИС «Янтарь», а также провести какую-либо классификацию не представляется возможным ввиду того, что в настоящей работе идёт речь не о площадных, а полосовых съёмках. Ввиду этого выделенные формы практически во всех случаях представляются частями более протяжённых эрозионных форм, которые не были затронуты профилями. Наиболее релевантными показателями в данном случае являются само количество выделенных форм на профилях, а также глубина и форма их русла. Ввиду некоторой ограниченности узкими полосами батиметрических гридов, а также зачастую большой разницы в годах выполнения измерений, было решено рассматривать формы, которые прослеживаются на протяжении не менее километра и характеризуются врезом не менее 10 м глубиной.

Долины на рассматриваемых участках резко отличаются друг от друга по глубине вреза и форме поперечного профиля. Наблюдаются как небольшие ровные U-образные врезы глубиной 10-50 м, так и чётко выраженные V-образные каналы, морфологически похожие на каньоны, глубина которых достигает до 200-300 м. Долины континентальной окраины на разных профилях в целом демонстрируют схожесть с теми или иными классами долин, выделенными на полигоне измерений ОИС «Янтарь». На профилях AR2019-11 – AR2019-21-27 были выявлены глубоко врезанные крутосклонные долинные формы, которые обладают схожими чертами с долинами класса каньонов на полигоне ОИС «Янтарь», хоть и отличаются значительно большей глубиной. Каналы, обнаруженные на профиле Pr-07 вблизи архипелага Земля Франца Иосифа, демонстрируют особенное сходство с обособленными долинами на континентальном склоне в море Лаптевых. Формы на профиле также располагаются в широком батиметрическом интервале, не отличаются глубиной вреза и преимущественно имеют плавную скруглённую форму поперечного профиля, как на полигоне площадной съёмки.

Можно выделить следующие факторы сходства этих двух участков. Во-первых, они расположены в пределах крупных конусов выноса и обширных оползневых тел. Профиль Pr-07 расположен в области конуса выноса, приуроченного к устью желоба Воронина. Крупные оползневые тела также выражены повсеместно в четвертичных отложениях Евразийского бассейна в море Лаптевых в границах полигона площадной съёмки. Во-вторых, полигон ОИС «Янтарь» находится на достаточно пологом участке склона. Профиль Pr-07 также пересекает значительно более пологий участок континентальной окраины, чем соседние профили 3-6 (рис. 6) и профили AR2019-11 – AR2019-21-27. Этим, по всей видимости, обусловлены сходства морфологии долин на этих двух различных участках.

Помимо этого, были выявлены долинные формы, обладающие ранее не описанными характеристиками. Некоторые из долин на профилях AR2019-11 – AR2019-21-27 и долины на профилях 3-6 отличаются резко асимметричным врезом неправильной формы или широким врезом корытообразной формы, которых не наблюдалось на полигоне «Янтарь». Глубина вреза также, как правило, сильно превышает выявленную ранее.

Проведённое исследование долинных форм на евразийской континентальной окраине Северного Ледовитого океана показало, что данные об этих формах содержатся в материалах съёмок МЛЭ разных лет и на разных участках. По результатам проведённого анализа представляется возможным выделять характеристики эрозионных каналов по материалам не только площадных, но и полосовых съёмок, которые гораздо более распространены и охватывают значительные области дна.

ЛИТЕРАТУРА

Дибнер В.Д., Гаккель Я.Я., Литвин В.М. и др. Геоморфологическая карта Северного Ледовитого океана // Труды НИИГА. 1965. Т. 143. С. 341–345.

Зинченко А.Г., Егоров С.В., Фирсов Ю.Г., Иванов М.В., Колосков Е.Н. Новые данные о рельефе прилаптевоморского сектора континентального склона Евразийского бассейна (по результатам батиметрических съемок 2022 и 2024 гг.) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2024. Выпуск 11, с. 146-157. doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-146-157

Казбанова Ю.Н. Морфометрические характеристики подводных долин на континентальном склоне в море Лаптевых // Новое в геофизике Арктики, Антарктики и Мирового океана: материалы IX Молодёжной конференции во ВНИИОкеангеологии, 1-3 окт. 2025 г. Санкт-Петербург, 2025. с. 49-54.

Орографическая карта Арктического бассейна. Масштаб 1:5 000 000 / Отв. ред. И. С. Грамберг, Г. Д. Нарышкин. — Хельсинки, Карттакесус, 1995.

SUBMARINE VALLEYS OF ARCTIC OCEAN SEAFLOOR FROM SOUTH-EAST EURASIAN BASIN BASED ON RUSSIAN MULTIBEAM MEASUREMENTS DATA

Kazbanova Y.N.^{1,2}

¹VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia

²St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Current paper presents data on the morphological characteristics of valley formations in the Eurasian basin of the Arctic Ocean. This work is a continuation of previous studies conducted at a more local region on a continental slope in the Laptev Sea. It expands the field of geomorphological analysis and includes data from expeditions of different years. Different areas of continental slope are analyzed in the text. While comparing characteristics of the identified valley formations, differences and similarities of valleys in different parts of the underwater surface were noted.

Keywords: *Eurasian basin, continental slope, geomorphological analysis, submarine slope processes, erosional channels, submarine valleys, canyons*

REFERENCES:

Dibner V.D., Gakkel Ya.Ya., Litvin V.M. et al. Geomorphological map of the Arctic Ocean // Trudy NIIGA. 1965. Vol. 143. P. 341–345.

Zinchenko A.G., Egorov S.V., Firsov Yu.G., Ivanov M.V., Koloskov E.N. New data on the relief of the Laptev sea sector of the Eurasian basin continental slope (based on the results of bathymetric surveys in 2022 and 2024) // Relief and Quaternary deposits of the Arctic, Subarctic and North-West Russia. 2024. Issue 11. P. 146-157. doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-146-157

Kazbanova Yu.N. Morphometric characteristics of submarine valleys on the continental slope in the Laptev Sea // New in Geophysics of the Arctic, Antarctic, and the World Ocean: Proceedings of the IX Youth Conference at VNIIOkeangeologiya, October 1–3, 2025. St. Petersburg, 2025. P. 49–54.

Orographic map of the Arctic Basin. Scale 1:5,000,000 / Ed. I.S. Gramberg, G.D. Naryshkin. — Helsinki, Karttakesus, 1995.