

УДК 551.462

## МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДВОДНОГО СКЛОНА ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА ВАЛААМ

М. А. Науменко<sup>1,\*</sup>, В. В. Гузиватый<sup>1</sup>, Н. А. Нестеров<sup>1</sup>, Д. А. Субетто<sup>2</sup>

Представлено академиком РАН А.П. Лисициным 30.01.2017 г.

Поступило 18.04.2017 г.

На основе измерений глубин на юго-западном склоне острова Валаам эхолотом, совмещённым с гидролокатором бокового обзора и спутниковой навигационной системой, создана цифровая батиметрическая модель с пространственным разрешением 10×10 м. Выявлены уклоны дна с величинами до 60° со скальными структурами практически без современных донных отложений. Обнаружены крупные каменные глыбы и осыпи, которые при своём сползании по крутым склонам о. Валаам, могут вызывать подводные шумы.

*Ключевые слова:* глубина дна, цифровая батиметрическая модель, крутые склоны, Ладожское озеро.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524863371-374>

Морфоструктура острова в крупном озере, в том числе его подводная часть, отражает детали и общие особенности геологического строения самого острова и прилегающей к нему территории. Остров Валаам является крупнейшим островом одноимённого архипелага, расположенного в северной наиболее глубоководной части Ладожского озера (с максимальными глубинами свыше 200 м). Он принадлежит к Валаамско-Салминской островной гряде, вытянутой субмеридионально, геоморфологические особенности которой ещё слабо изучены. Геологическая история крупнейшего в Европе Ладожского озера представляет значительный интерес в связи с его географическим положением; расположением в зоне сочленения двух соседствующих геологических структур — Русской плиты и Балтийского кристаллического щита; вертикальными движениями суши после последнего оледенения. Эволюция геологического строения котловины рассматривается в работах [1–3]. История формирования озера на основе изучения донных отложений обсуждается в [4]. Цифровая батиметрическая модель Ладожского озера [5] с пространственным разрешением 500 м

позволила не только скорректировать основные морфометрические параметры котловины озера, но и оценить максимальные уклоны подводных склонов, что несомненно дало возможность сформулировать новые и подтвердить известные гипотезы о строении дна Ладожского озера.

Все острова Валаамско-Салминской островной гряды имеют общее происхождение и единство геологической основы — это интрузивный рифейский силл, тектонически раздробленный на разновеликие блоки. Общими особенностями систем трещиноватости и блокового строения габбро-долеритов определяется тип береговой линии и морфология береговых скальных уступов [6]. Остров Валаам имеет крутые подводные склоны и асимметричную форму. Окаймляющее подводное плато острова располагается на глубинах 50–70 м. С юго-запада и запада остров отделяется от наиболее глубоководного трога нешироким уступом-плато с глубинами 150–170 м.

Для более детальной количественной оценки расположения глубин и уклонов дна в районе острова Валаам в июле 2015 г. была проведена морфометрическая съёмка юго-западной части острова (рис. 1), что позволило улучшить пространственное разрешение батиметрической модели и уточнить значения максимальных уклонов дна, представить детальную картину распределения глубин. Съёмка выполнялась с надувной моторной лодки при штилевой погоде эхолотом, совмещённым с гидролока-

<sup>1</sup>Институт озероведения Российской Академии наук, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Российский государственный педагогический университет им. А.И.Герцена, Санкт-Петербург

\*E-mail: [naumenko@limno.org.ru](mailto:naumenko@limno.org.ru)

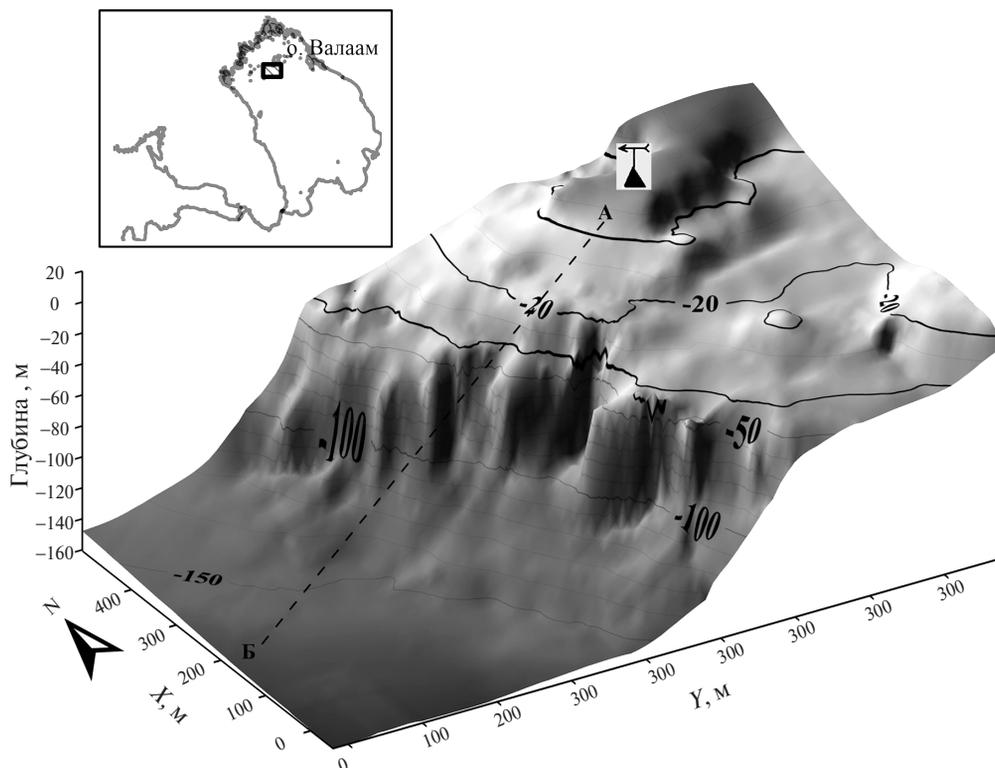


Рис. 1. Трёхмерное пространственное распределение глубин в юго-западной части побережья о. Валаам. На врезке — район исследований на акватории Ладожского озера.

тором бокового обзора Lowrance серии HDS и спутниковой навигационной системой (GPS), позволяющим получить гидролокационное изображение дна и измерять глубины через 0,2 метра при скорости хода 2–3 узла. Общая площадь покрытия составила  $4,5 \times 1,0$  км. Трансформация и географическая привязка гидролокационного изображения проводилась с использованием программы Sonar TRX фирмы “Leraand Engineering Inc.” (LEI) [8]. Максимальное удаление от берега (практически отвесной скальной стены высотой 12–17 м в районе метеостанции Валаам) не превышало одного километра.

По результатам съёмки была создана батиметрическая модель выбранного района с пространственным разрешением  $10 \times 10$  м, она представлена в виде трёхмерного пространственного распределения глубин. Ясно прослеживается резкое изменение глубин и уклонов дна. Уклоны на расстоянии первых ста метров составляют  $14^\circ$ . Хотя эта величина более чем в 70 раз превышает модальное значение для Ладожского озера [5], начиная с глубины 45–55 м максимальный наклон резко увеличивается, достигая  $60^\circ$ , т.е. увеличения глубины на этом участке составляет 17 м на расстоянии около 10 м (рис. 2).

В результате ледниковой активности в северной глубоководной части озера к северо-востоку от За-

падного архипелага возникли уступы, где местами обнажены как субвулканические тела, так и вмещающие терригенные породы. На гидролокационном изображении на глубине от 20 до 40 м в зоне уступа у мыса на расстоянии 50 м от уреза воды выявляются скальные структуры практически без современных донных отложений (рис. 3а).

Существенное значение при изучении рельефообразующих процессов в Ладожском озере приобретают наблюдения за местоположением отдельных донных объектов. Смещение и деформация мало-размерных форм рельефа (небольших каменных скоплений, отдельных валунов и гряд) позволяют охарактеризовать динамику процессов и оценить их степень интенсивности в зонах сейсмической активности, разломов и оползневых движений. Такие наблюдения в принципе осуществимы при разра-

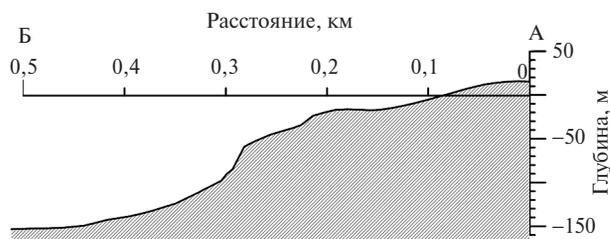
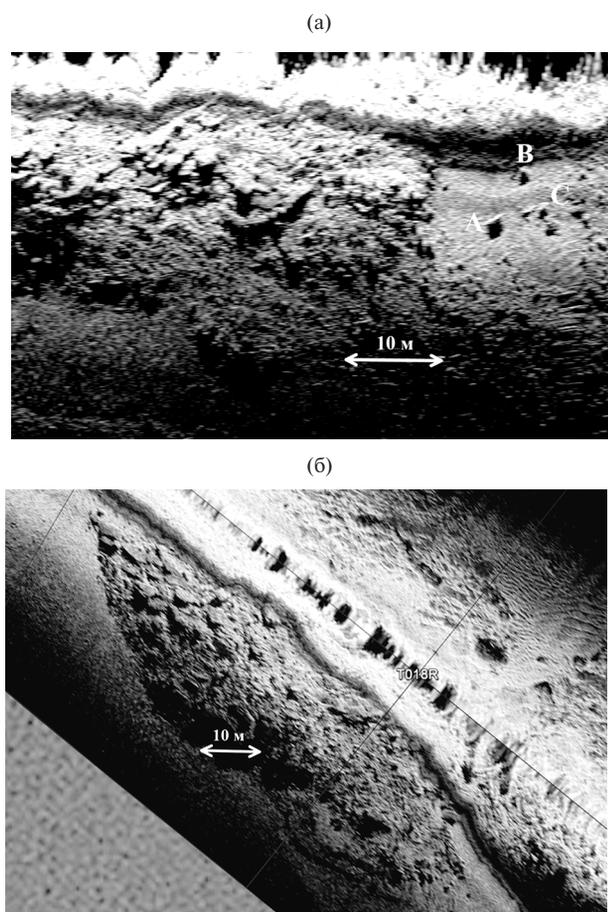


Рис. 2. Изменение глубины дна на разрезе А–Б.



**Рис. 3.** Фрагменты гидролокационных изображений скальных структур, отдельных каменных глыб (а) и оползней (б).

ботке соответствующей технологии выполнения гидролокационной съёмки и обработке полученной информации [7]. На рис. 3а и 3б представлены изображения двух участков дна, на первом из них идентифицируются отдельные камни А, В, С размером несколько метров, на втором — каменно-песчаный оползень. Эти объекты располагались на расстоянии 110–190 м от уреза воды в диапазоне глубин от 10 до 22 м.

Динамика возможных смещений естественных подводных объектов может быть количественно оценена. Изменение геометрии взаимного расположения объектов-ориентиров позволит не только подтвердить факт их подвижки за некоторый промежуток времени, но и получить дополнительные данные о направлении смещений.

При наличии в обследуемом районе заметных протяжённых объектов, например, как на рис. 3б каменно-песчаный оползень, целесообразно использовать их наряду с характерно выраженными точечными объектами. Изменение границ протяжённых

ных объектов и их ориентации в пространстве позволит получить дополнительные данные о смещении грунта. Кроме того, протяжённые объекты также дают возможность оценить и степень накопления материалов за период наблюдений [7].

Новейшие и современные тектонические движения вдоль краевой части Фенноскандинавского щита наследуются по ранее сформировавшейся сети разломов или тектонических нарушений, что позволяет проследить их эволюцию. Умеренная сейсмическая активность такого района, как острова Валаам [3], не является чем-то необычным, и может приводить к движениям крупных каменных глыб по крутым склонам подводных окраин о. Валаам, которые, вероятно, будут вызывать подводные шумы.

Подводя итог анализу возможных причин движения по подводным склонам, следует указать на гляциоизостатическое послеледниковое поднятие о. Валаам [9], на сезонные, а также быстрые изменения уровня Ладожского озера, связанные с сейшевыми колебаниями и прохождением атмосферных вихрей [10].

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по теме № 0154-2019-0001.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амантов А. В., Спиридонов Т. А. Геология Ладожского озера // Сов. геология. 1989. № 4. С. 83–86.
2. История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки / Под ред. Д.Д. Квасова, Г.Г. Мартинсона, А.В. Раукаса. Л.: Наука, 1990. 280 с.
3. Амантов А.В. Геология дочетвертичных образований и тектоника Ладожского озера // Регион. геология и металлогения. 2014. № 58. С. 22–32.
4. Субетто Д.А. Донные отложения озер: Палеолимнологические реконструкции. СПб: Изд-во РГПУ им А. И. Герцена, 2009. 339 с.
5. Науменко М.А. Анализ морфометрических характеристик подводного рельефа Ладожского озера на основе цифровой модели // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 1. С. 62–72.
6. Свириденко Л.П., Светов А.П. Валаамский силл габбро-долеритов и геодинамика котловины Ладожского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 123 с.
7. Нестеров Н.А., Гузиватый В.В., Науменко М.А. Гидролокационный мониторинг донных объектов // Навигация и гидрография. 2016. № 44 ГНИНГИ МО РФ. С. 30–37.

8. <http://www.sonartrx.com>
9. Галаганов О.Н., Горшков В.Л., Гусева Т.В., Розенберг Н.К., Передерин В.П., Шербакова Н.В. Современные движения земной коры Ладожско-Онежского региона по данным спутниковых и наземных измерений // Совр. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. 2011. № 8 (2). С. 130–136.
10. Боков В.Н., Воробьев В.Н., Карлин Л.Н. Атмосферные вихри и сейсмичность на Ладоге // Уч. зап. РГГМУ. 2013. № 30. С. 41–49.

## MORPHOMETRIC FEATURES OF THE SUBMARINE SLOPE OF SOUTH-WEST PART OF ISLAND VALAAM

M. A. Naumenko<sup>1</sup>, V. V. Guzivaty<sup>1</sup>, N. A. Nesterov<sup>1</sup>, D. A. Sybetto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Lake Science, Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation*

<sup>2</sup>*A.I. Hertsen State Pedagogical University, Saint-Petersburg, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS A.P. Lisitsyn January 30, 2017

Received April 18, 2017

A digital bathymetric model with a spatial resolution of  $10 \times 10$  m have been created based on measurements of bottom depths on the Southwest slope of the Island Valaam (Lake Ladoga) by sidescan sonar combined with geo-referenced system. Bottom inclinations were recognized with magnitudes up to  $60^\circ$  with rock structures with virtually no modern sediments. Scree and large boulders have been found, which can cause underwater noise when sliding down the steep slopes of Island Valaam.

*Keywords:* bottom depth, digital bathymetric model, steep slopes, Lake Ladoga.