

УДК 551.24/432/462

ПОСЛЕЛЕДНИКОВЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УСТУПЫ НА ДНЕ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

© 2024 г. В. М. Анохин^{а, б, с, *}, Д. С. Дудакова^{а, **}

^аИнститут озероведения Российской академии наук — обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский
Федеральный исследовательский центр Российской академии наук»
(ИНОЗ РАН — СПб ФИЦ РАН), Санкт-Петербург, Россия

^бРоссийский Государственный Педагогический Университет им. А.И. Герцена,
Санкт-Петербург, Россия

^сЛенинградский Государственный Университет им. А.С. Пушкина, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: vladanokhin@yandex.ru

**E-mail: judina-d@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.03.2023 г.

После доработки 22.03.2023 г.

Принята к публикации 24.05.2024 г.

Последние несколько лет Институт озероведения РАН проводит геологические и геоморфологические исследования дна Ладожского озера. Начиная с 2018 г. в этих исследованиях стали использоваться подводные фото- и видеокамеры, созданные в ИНОЗ РАН. Использование этого нового исследовательского инструмента привело к открытию ряда новых фактов о структуре дна Ладожского озера. В частности, на дне северной части Ладожского озера обнаружены три субвертикальных уступа, сложенных коренными породами, высотой до 70–100 метров. По ряду признаков (коренной состав пород), морфологии (высокие субвертикальные линейно вытянутые уступы) и пространственному соответствию известным зонам разломов, данные уступы могут быть признаны морфологическими выражениями тектонических объектов — разломов предположительно сбросового типа. По отсутствию на блоках коренных пород видимых следов гляциальной обработки можно предположить голоценовый возраст образования этих уступов и, соответственно, существование современных активных тектонических движений в районе Ладожского озера.

Ключевые слова: донный рельеф, подводная фотовидеосъемка, уступ, тектоника, дизъюнктивная сеть, Голоцен

DOI: 10.31857/S0869607124010015, EDN: OCXKLN

ВВЕДЕНИЕ

Морфология дна Ладожского озера, самого большого озера в Европе, изучается много лет. В этих исследованиях участвовал ряд организаций, в числе которых значительный вклад внесли Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), НПО «Севзапгеология», ВНИИОкеангеология, Институт озероведения (ИНОЗ) РАН, Арктический и Антарктический институт (АНИИ), Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), Институт геологии Карельского научного центра РАН, Институт водных проблем РАН и многие другие.

Результаты исследований были опубликованы в многочисленных статьях и монографиях, в частности, таких, как работы С.В. Калесника [18], Г.С. Биске и др. [11],

Б.И. Кошечкина [19], А.В. Амантова [1, 2, 3], А.Д. Лукашова [23], А.П. Светова и Л.П. Свириденко [29], сборник ВНИИОкеангеология «Геоэкология Ладожского озера» [13], сборник под редакцией Г.С. Бискэ [21], один из томов многотомника «Истории озер СССР», посвященный Ладожскому озеру [17], ряд монографий и атласов, созданных ИНОЗ РАН, в т. ч. [20, 22], геоморфологическая и тектоническая схемы из комплекта ГГК-1000 [14], и другие работы, в т. ч. М.А. Наumenko [24], Aksenov et al. [32] и Lebas et al. [33]. Авторы также имеют ряд публикаций, относящихся к данной теме [4–8, 15, 16, 27, 31].

Несмотря на большой объем накопленного материала, последующие исследования, проводимые с применением новых инструментов, зачастую приводят к обнаружению новых данных о строении дна Ладоги.

Последние несколько лет Институт озероведения РАН (ИНОЗ РАН) проводит геологические и геоморфологические исследования дна Ладожского озера. Начиная с 2018 г. в этих исследованиях стали использоваться подводные фото- и видеокamеры, созданные в ИНОЗ РАН. Благодаря использованию этого нового исследовательского оборудования были обнаружены несколько интересных фактов строения дна, в частности, в северной части озера камера зафиксировала несколько подводных субвертикальных уступов, сложенных коренными породами, высотой в несколько десятков метров.

Данная публикация имеет основной целью охарактеризовать это явление, высказать предположения о его возрасте и генезисе, поскольку любые процессы, происходящие в Ладожском озере, влияют на качество его воды и нуждаются в идентификации, оценке и наблюдении.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА

Дно Ладожского озера (рис. 1) имеет довольно сложный рельеф, особенно в своей северной части, расположенной в пределах Балтийского кристаллического щита. Рельеф дна здесь имеет высокую степень расчлененности (перепады глубин 100–200 м) и характеризуется преобладанием линейновытянутых форм рельефа в основном северо-западного простирания. Все найденные субвертикальные уступы расположены в северной части озера, с высокой расчлененностью рельефа дна.

Южнее склоны балтийского щита полого погружаются под осадочный чехол Русской платформы, кристаллические породы перекрываются все более мощной толщей осадочных рифейских, вендских и фанерозойских отложений. Рельеф становится менее расчлененным (перепады глубин 1–10 м). Формы теряют четкую направленность и линейность.

Описываемые уступы были обнаружены в процессе ландшафтных донных исследований при подводной фотовидеосъемке дна с помощью подводного аппарата “Limnoscout-230”, сконструированного в ИНОЗ РАН специально для применения в Ладожском озере (рис. 2).

Этот аппарат имеет ряд конструктивных особенностей, которые позволяют ему успешно (впервые в истории) осуществлять фотовидеосъемку дна Ладоги. Эти особенности перечисляются ниже:

- расчетная глубина погружения — 300 м и более;
- рабочая скорость буксировки 1–2 км/ч;
- высокое разрешение камер позволяет выделять мелкие детали рельефа, геологические образования, элементы биоты и т. д.;



Рис. 1. Обзорная схема района исследований. Красный контур соответствует схеме на рис. 3.

Fig. 1. Overview scheme of the study area. The red contour corresponds to the diagram in fig. 3.

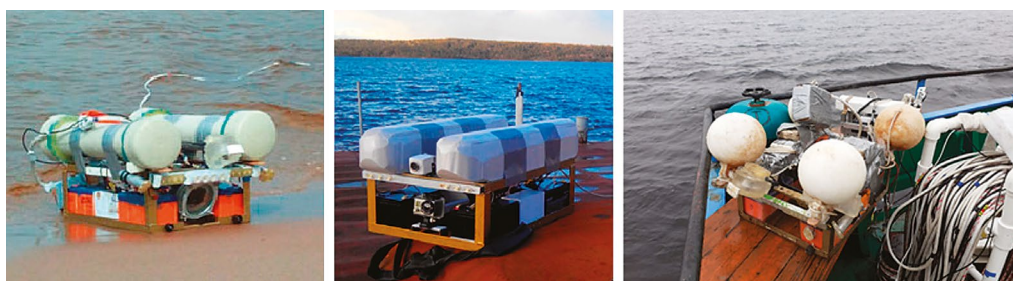


Рис. 2. Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат “Limnoscout-230” в различных модификациях 2018–2020 гг.

Fig. 2. Underwater vehicle “Limnoscout-230” in various modifications 2018–2020.

- система подсветки настраивается и позволяет работать с водой повышенной мутности;
- усиленная металлическая рамная конструкция в совокупности с установкой основных функциональных узлов аппарата на упругих элементах позволяют выдерживать столкновения со скальными выходами и каменистыми обломками на рабочих скоростях;
- наличие эффективной системы освобождения из рыболовных сетей;

- высокая устойчивость на рабочих скоростях;
- возможна работа с корабля, катера или автономно;
- высокая мобильность и ремонтпригодность [15].

Аппарат буксировался на высоте около 0.5 м над дном вкрест простирания структур рельефа. При столкновении с уступом в нижней его части аппарат начинал подъем с одновременной фотовидеосъемкой уступа. При этом буксировочный катер стоял на одном месте, а камера поднималась вертикально вверх с глубин около 100–120 м до глубин 20–30 м при непрерывном визуальном контакте с уступом. Во время подъема камера фиксировала вертикальную стенку, сложенную коренными породами, иногда с отрицательными углами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все обнаруженные уступы расположены в северной части озера, в 3-х районах: на борту впадины вблизи г. Питкяранта, на склоне островной гряды Мустасаари и на западном подводном склоне острова Валаам (рис. 3).

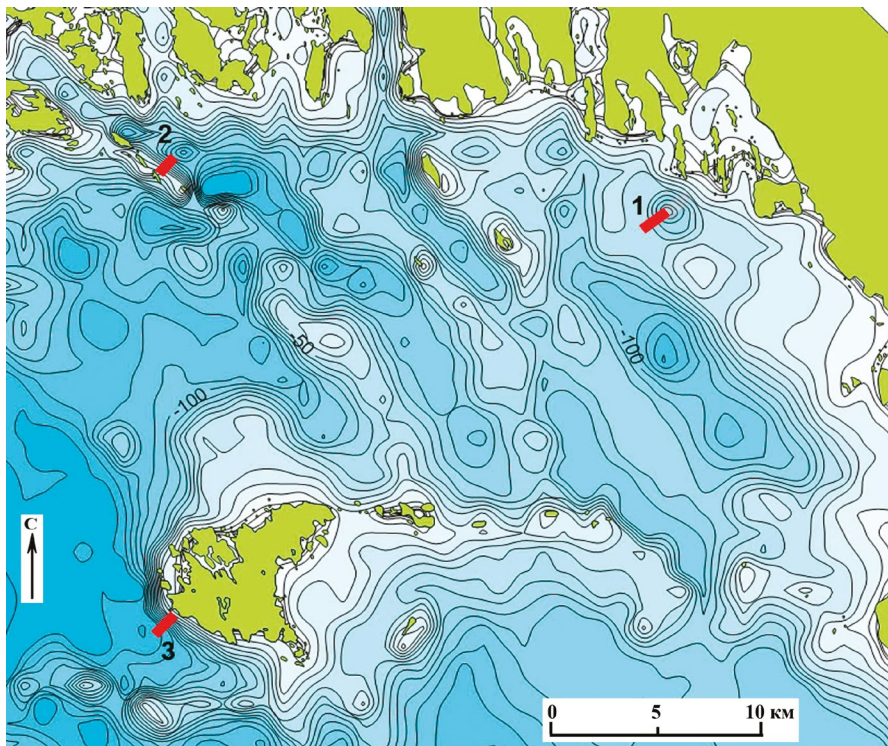


Рис. 3. Положение профилей донной фотовидеосъемки, обнаруживших субвертикальные уступы, на батиметрической схеме северной части Ладожского озера (батиметрия построена на основе цифровой модели рельефа С.Н. Юдина и Д.С. Дудаковой [16], изобаты через 10 м). 1 – профиль в районе Питкяранта, 2 – профиль в районе Мустасаари, 3 – профиль в районе Валаам.

Fig. 3. Position of profiles of bottom photo-video surveys, which revealed subvertical ledges, on the bathymetric scheme of the northern part of Lake Ladoga (bathymetry was built on the basis of a digital relief model by S.N. Yudin and D.S. Dudakova, isobaths every 10 m). 1 – profile in the Pitkäranta region, 2 – profile in the Mustasaari region, 3 – profile in the Valaam region.

На рис. 4 представлены фотографии обнаруженных уступов в границах площади захвата фотокамеры. Схожие картины наблюдались и фиксировались на протяжении всего подъема камеры с глубин, превышающих 100 м до 20–30 м.

На фотографиях можно видеть обнажающиеся в субвертикальном уступе коренные породы, разбитые на блоки системами трещин. Блоки имеют острые края без следов обработки волновыми процессами. Следов ледниковой обработки также не обнаружено.

На рис. 5 изображены профили, построенные поперек всех трех уступов на основании комбинированных данных эхолота и спутникового позиционирования контактов аппарата со стенкой.

На рис. 5а показан профиль дна в районе ЮЗ склона подводной долины около о. Мустасаари. На этом профиле можно видеть ступенчатый склон с двумя субвертикальными стенками, нижней высотой до 50 м (глубины 100–150 м) и верхней высотой 20 м (глубины 70–90 м). Кроме того, ближе к берегу имеется впадина с корытообразным поперечным профилем глубиной 30 м (глубины 40–70 м) с весьма крутыми склонами, 50–70°.

ЮЗ склон о. Валаам (рис. 5б) представлен серией субвертикальных уступов с высотами до 10 м, разделенных субвертикальными провалами, общей высотой около 100 м. Суммарный уклон в наиболее крутой части склона составляет около 90°.

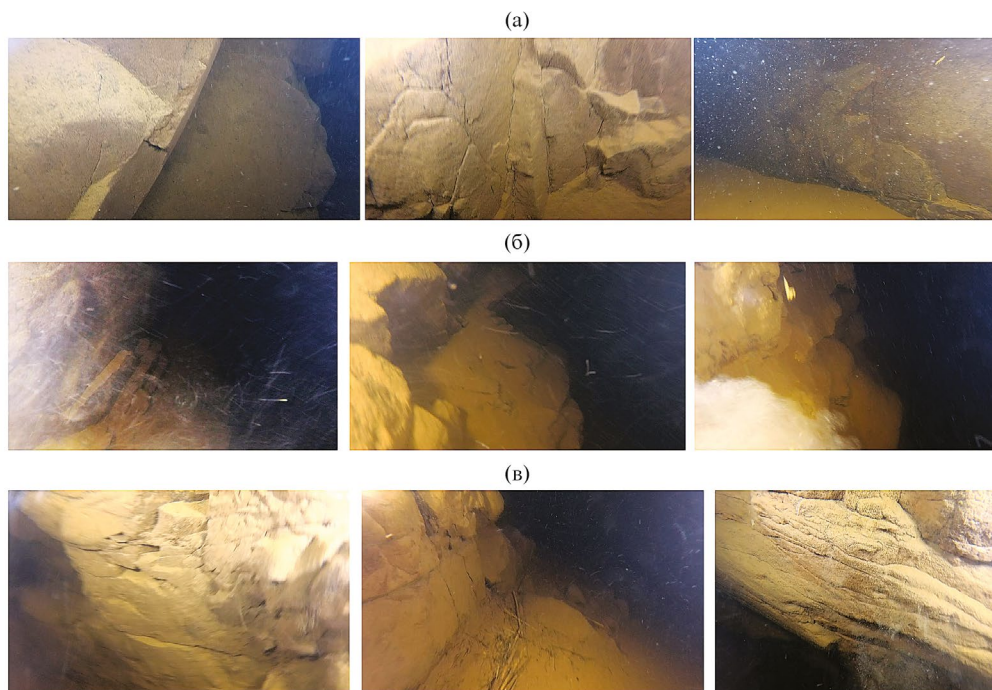


Рис. 4. Фотографии фрагментов субвертикальных уступов. а – в районе Питкяранта, б – в районе Муста-саари, в – в районе Валаам.

Fig. 4. Photographs of fragments of subvertical ledges. (a) – in the Pitkäranta region, (б) – in the Mustasaari region, (в) – in the Valaam region.

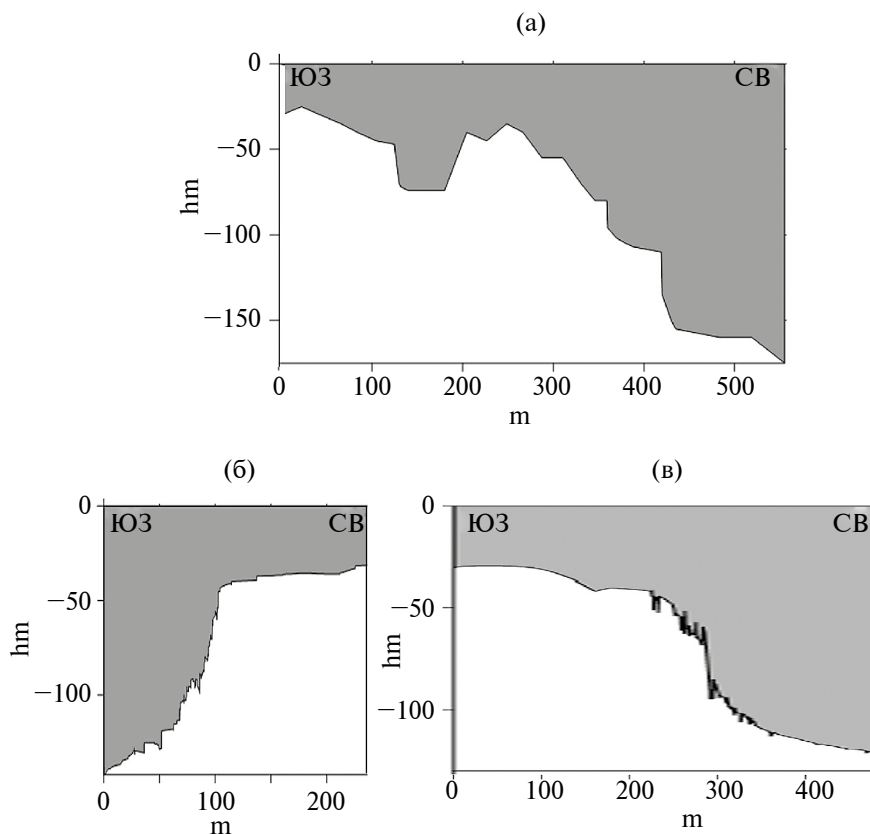


Рис. 5. Поперечные профили дна в районах субвертикальных уступов. а – Мустасаари, б – Валаам, в – Питкяранта.

Fig. 5. Transverse profiles of the bottom in the areas of subvertical ledges. (a) – Mustasaari, (б) – Valaam, (в) – Pitkyaranta.

На профиле Питкяранта (рис. 5В) виден ЮЗ борт небольшой протяженной впадины СЗ простираения, СВ борт которой имеет довольно пологий уклон, а представленный на рис. 5а ЮЗ борт представляет собой отвесный уступ общей высотой около 70 м; собственно отвесная часть имеет высоту 30 м. К подножию на глубине около 125 м уступ выполаживается, вероятно, за счет коллювиальной осыпи, при сочленении с ровным дном угол не превышает 10° . В верхней части выполаживание уступа происходит в виде ступеней, разделяемых провалами с вертикальными стенками глубиной до 10 м.

Размеры и форма всех трех уступов свидетельствуют об их тектоническом происхождении.

ОБСУЖДЕНИЕ

При сопоставлении пространственного положения обнаруженных уступов с существующими тектоническими схемами, обнаруживается их хорошее совпадение по позиции и простираению с известными зонами разломов (рис. 6).

При сопоставлении пространственного положения обнаруженных уступов с существующими батиметрическими картами обнаружено их совпадение с линейно-вытянутыми склонами СЗ простираения на бортах впадин, которые, считаясь крутыми, не превышают по уклону $40\text{--}50^\circ$. По всей вероятности, обнаруженные уступы соответствуют по простираению этим склонам и могут быть трассированы вдоль них.

Сведения о тектоническом строении шхерного района Северного Приладожья и, в частности, о признаках неотектонических движений на участках вблизи описываемых профилей приведены в публикациях Л.П. Свириденко, А.П. Светова (2008). При детальном исследовании, выполненном указанными авторами, на береговых уступах о. Валаам выявлены многочисленные признаки разломообразования: зоны милонитизации, катаклаза, зеркала скольжения. Здесь также зафиксированы зияющие трещины с расхождением стенок на $0.5\text{--}1.5$ м, вертикальные блоковые перемещения, сопровождаемые малоамплитудными сдвиговыми дислокациями. На других островах Валаамского архипелага установлена амплитуда вертикального перемещения блоков в первые десятки метров. В работе приводятся данные по сейсмодислокациям, отмечены эпицентры землетрясений на острове Валаам, а также на островах гряды Маркатсимансаари-Мустасаари.

На тектонической схеме из комплекта Государственной геологической карты $1:1\,000\,000$ [14] в районе обнаруженного нами уступа у г. Питкяранта отмечаются мощные зоны катаклаза, что также является признаком разломообразования.

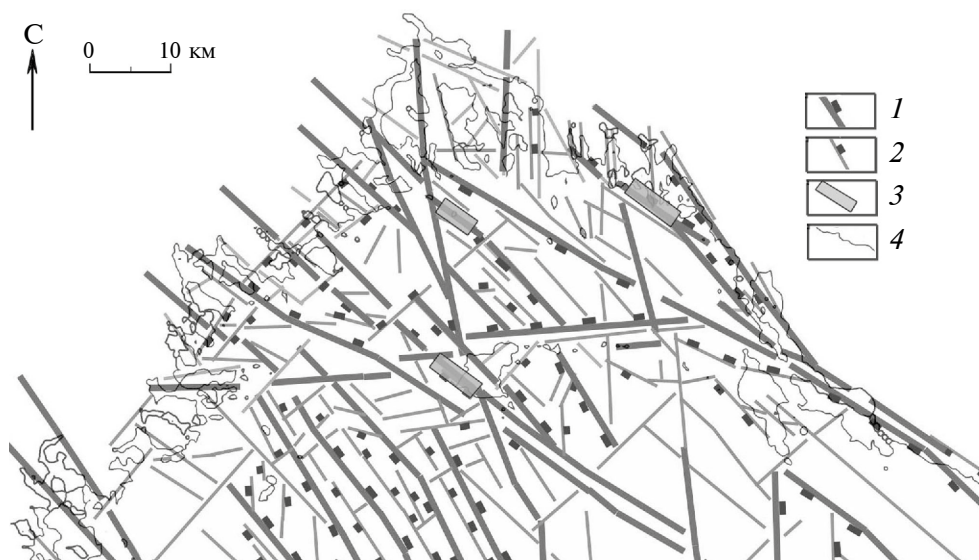


Рис. 6. Положение изучаемых субвертикальных уступов в сети разломов северной части Ладожского озера (рисовка сети разломов – В.М. Анохин и др. [8], с использованием [1, 27]: 1 – разломы 1-го порядка с указанием направления сброса, 2 – разломы 2-го порядка с указанием направления сброса, 3 – положение изучаемых уступов, 4 – береговая линия.

Fig. 6. The position of the studied subvertical ledges in the fault network of the northern part of Lake Ladoga (drawing of the fault network by V.M. Anokhin et al. [8], using [1, 27]: 1 – faults of the 1st order with indication of the direction of fault, 2 – faults of the 2nd order with indication of the direction of fault, 3 – position of the studied ledges, 4 – coastline.

Результаты сейсмологических и палеосейсмологических исследований говорят о существенной сейсмической активности в районе Ладожского озера в голоценовое время, включая исторический период [9, 10, 12, 26, 30].

Обобщая вышеизложенное, можно сказать следующее. По составу (коренные породы), морфологии (высокие субвертикальные линейно вытянутые уступы) и пространственному соответствию известным зонам разломов и явлениям, связанным с разломообразованием, данные уступы могут быть признаны морфологическими выражениями тектонических объектов — разломов существенно сбросового типа. Отсутствие на блоках коренных пород видимых следов гляциальной обработки может говорить об очень молодом, послеледниковом возрасте образования этих уступов и, соответственно, о довольно мощных голоценовых тектонических движениях в районе Ладожского озера.

О возможности существования подобных уступов на дне северной части Ладожского озера писали несколько авторов [1, 25, 28]. Однако в перечисленных публикациях речь шла о единичных уступах высотой до нескольких десятков метров и с уклонами склонов до 60° . Действительно, примененные в этих исследованиях геофизические методы исследования дна не позволили обнаружить вертикальные стенки. Эхолотное профилирование дна, многократно проведенное авторами поперек обнаруженных уступов, также не дало значимых результатов — над вертикальной стенкой эхолоты 2-х разных типов показали лишь потери корреляции. Таким образом, лишь визуальное изучение дна с помощью подводного аппарата позволило увидеть реальную картину наличия на дне Ладожского озера ряда крупных молодых тектонических уступов. В дальнейшем это изучение будет продолжено, в том числе в районах, где возможно обнаружение новых уступов, или иных геоморфологических объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов данного исследования авторы сочли себя вправе сделать несколько следующих выводов:

- на дне северной части Ладожского озера с помощью подводной фотовидеосъемки обнаружены три субвертикальных уступа, сложенных коренными породами, высотой до 70–100 м;
- по составу (коренные породы), морфологии (высокие субвертикальные линейновытянутые уступы) и пространственному соответствию известным зонам разломов, данные уступы могут быть признаны морфологическими выражениями тектонических объектов — разломов предположительно сбросового типа;
- по отсутствию на блоках коренных пород видимых следов гляциальной обработки можно предположить голоценовый возраст образования этих уступов и, соответственно, существование современных активных тектонических движений в районе Ладожского озера.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по теме № 0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов» № госрегистрации AAAA-A19-119031890106-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Амантов А.В.* Геология дочетвертичных образований и тектоника Ладожского озера // Региональная геология и металлогения. 2014. № 58. С. 22–32.
2. *Амантов А.В.* Этапы геологического развития Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. СПб.: Русское географическое общество, 1993. С. 5–13.
3. *Амантов А.В., Амантова М.Г.* Развитие котловины Ладожского озера с позиций ледниковой теории // Региональная геология и металлогения. 2014. № 59. С. 5–14.
4. *Анохин В.М., Дудакова Д.С., Дудаков М.О.* Геоморфология и типизация берегов Ладожского озера по данным съемки беспилотного летательного аппарата // Геоморфология. 2019. № 1. С. 25–38. <https://doi.org/10.31857/S0435-42812019125-37>
5. *Анохин В.М., Дудакова Д.С., Дудаков М.О., Рыбакин В.Н.* Результаты геолого-геоморфологических исследований дна и берегов Ладожского озера в 2015–2019 гг. // Материалы Международной конференции (Школы) морской геологии. М.: ИОРАН, 2019. С. 23–26.
6. *Анохин В.М., Науменко М.А., Нестеров Н.А.* Рельеф дна Ладожского озера и его связь с дизъюнктивами // Известия РГО. 2016. Т. 148. Вып. 2. С. 44–51.
7. *Анохин В.М., Науменко М.А., Субетто Д.А., Нестеров Н.А., Рыбакин В.Н.* Особенности геоморфологического строения дна Ладожского озера // География: развитие науки и образования: коллективная монография по материалам Международной научно-практической конференции LXXI Герценовские чтения. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2018. Т. 1. С. 442–448.
8. *Анохин В.М., Петухов С.И., Науменко М.А.* Сеть разломов дна Ладожского озера // Геология морей и океанов: материалы XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ИОРАН, 2021. Т. 4. С. 180–185.
9. *Ассиновская Б.А.* Сейсмические события на Ладоге в XX веке // Известия РГО. 2005. Т. 137. Вып. 4. С. 70–76.
10. *Ассиновская Б.А., Карпинский В.В.* Ладожские сейсмические явления. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2020. 46 с.
11. *Биске Г.С., Лукашов А.Д., Экман И.М.* Ладожское озеро: Развитие рельефа и условия формирования четвертичного покрова котловины. Петрозаводск: Карелия, 1978. 205 с.
12. *Биске Ю.С., Сумарева И.В., Шитов М.В.* Позднеголоценовое сейсмическое событие в юго-восточном приладожье I Принципы исследования и деформационные текстуры // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2009. Вып. 1. С. 18–26.
13. *Геоэкология Ладожского озера* / под ред. В.Л. Иванова, В.И. Гуревича. СПб.: ВНИИ-Океангеология, 1995. 210 с.
14. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1 : 1 000 000. Листы Р-35,36. Третье поколение. Балтийская серия. СПб.: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2015.
15. *Дудакова Д.С., Анохин В.М., Дудаков С.М.* Использование необитаемого подводного аппарата для исследования бентофауны сублиторали и абиссали Ладожского озера // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование» – MARESEDU (Москва, 28–31 октября 2019). М.: ИОРАН, 2019. Т. 2. С. 420–423.
16. *Дудакова Д.С., Юдин С.Н.* Цифровая модель подводных ландшафтов Ладожского озера как источник интегрированной информации о состоянии дна // Геоморфология. 2022. № 2. С. 13–26. <https://doi.org/10.31857/S0435428122020055>
17. История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки (Серия: История озер СССР) / под ред. Д.Д. Квасова, Г.Г. Мартинсона, А.В. Раукас. Л.: Наука, 1989. 280 с.
18. *Калесник С.В.* Ладожское Озеро. Система Великих озер Европы. Бассейн Ладожского озера. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 149 с.

19. Кошечкин Б.И. Голоценовая тектоника восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1979. 158 с.
20. Ладога / под ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. 468 с.
21. Ладожское озеро (развитие рельефа и условия формирования четвертичного покрова котловины) / под ред. Г.С. Бискэ. Петрозаводск: Карелия, 1978. 208 с.
22. Ладожское озеро и достопримечательности его побережья. Атлас / под ред. В.А. Румянцева, А.И. Сорокина, Н.А. Нестерова. СПб.: Нестор-История, 2015. 199 с.
23. Лукашов А.Д. Геодинамика новейшего времени // Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / под ред. Н.В. Шарова. Петрозаводск, 2004. С. 150–191.
24. Науменко М.А. Анализ морфометрических характеристик подводного рельефа Ладожского озера на основе цифровой модели // Известия РАН. Серия географическая. 2013. № 1. С. 62–72. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-62-72>
25. Науменко М.А., Гузиватый В.В., Нестеров Н.А., Субетто Д.А. Морфометрические особенности подводного склона юго-западной части острова Валаам // Доклады Академии наук. 2019. Вып. 486. № 3. С. 103–106. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524863371-374>
26. Никонов А.А. Восточно-Ладожское землетрясение 30 ноября 1921 года // Физика Земли. 2005. № 7. С. 1–5.
27. Петухов С.И., Анохин В.М., Науменко М.А. Первый опыт морфотектонического моделирования района Ладожского озера // География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. С. 147–151.
28. Румянцев В.А., Рыбакин В.Н., Токарев И.В. Распространение вод притоков и подземных вод в Ладожском озере по данным изотопных индикаторов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2017. № 48. С. 94–109.
29. Свириденко Л.П., Светов А.П. Валаамский силл габбро-долеритов и геодинамика котловины Ладожского озера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. 125 с.
30. Шитов М.В., Биске Ю.С., Сумарева И.В. Позднеголоценовое сейсмическое событие в юго-восточном приладожье II Параметры // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2010. Вып. 3. С. 18–26.
31. Anokhin V., Dudakova D., and Dudakov M. Tectonic ledges at the bottom of Lake Ladoga // EGU General Assembly – EGU21-1789. 2021 (online, April 19–30, 2021). <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-1789>, 2021
32. Aksenov A.O., Rybalko A.E., and Naumenko M.A. Geomorphology of Lake Ladoga basin // Limnology and Freshwater Biology. 2020. № 4. P. 492–494. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-4-492>
33. Lebas E., Gromig R., Krastel S., Wagner B., Fedorov G., Gortz C., Avers T., Subetto D., Naumenko M., and Melles M. Pre-glacial and post-glacial history of the Scandinavian Ice Sheet in NW Russia – Evidence from Lake Ladoga // Quaternary Science Reviews. 2021. V. 251. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106637>

Tectonic Ledges at the Ladoga Lake Bottom

V. M. Anokhin^{1, 2, 3, *}, D. S. Dudakova^{1, *}

¹*Institute of limnology RAS, Saint-Petersburg, Russia*

²*Herzen state pedagogical university, Saint-Petersburg, Russia*

³*Pushkin Leningrad State University, Saint-Petersburg, Russia*

*E-mail: vladanokhin@yandex.ru

**E-mail: judina-d@yandex.ru

Abstract — For the past few years, the Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences has been conducting geological and geomorphological studies of the bottom of Lake Ladoga. Starting from 2018, underwater photo and video cameras developed at the Institute began to be used in these studies. The use of this new research tool led to the discovery of a number of new facts about the structure of the bottom of Lake Ladoga. In particular, at the bottom of the northern part of Lake Ladoga, three subvertical ledges were found, composed of bedrock, up to 70–100 meters high. According to a number of features, such as the bedrock composition of rocks, morphology and spatial correspondence to known fault zones, these ledges can be recognized as morphological expressions of tectonic objects — faults of presumably fault type. The absence of visible traces of glacial processing on the bedrock blocks suggests the Holocene age of the formation of these ledges and, accordingly, the existence of modern active tectonic movements in the area of Lake Ladoga.

Keywords: bottom relief, Lake Ladoga, remote-controlled uninhabited underwater vehicle, underwater photo and video recording, ledge, bedrock, fault

REFERENCES

1. Amantov A.V. Geologiya dochetvertichnyh obrazovaniy i tektonika Ladozhskogo ozera // Regional'naya geologiya i metallogeniya. 2014. № 58. P. 22–32.
2. Amantov A.V. Jetapy geologicheskogo razvitiya Ladozhskogo ozera // Jevoljucija prirodnih obstanovok i sovremennoe sostojanie geosistemy Ladozhskogo ozera. St. Petersburg: Russkoe geograficheskoe obshchestvo, 1993. P. 5–13.
3. Amantov A.V., Amantova M.G. Razvitie kotloviny Ladozhskogo ozera s pozicij lednikovoj teorii // Regional'naya geologiya i metallogeniya. 2014. № 59. P. 5–14.
4. Anokhin V.M., Dudakova D.S., and Dudakov M.O. Geomorphology and typification of the shores of Lake Ladoga according to the data of the unmanned aerial vehicle survey // Geomorphology. 2019. № 1. P. 25–38. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0435-42812019125-37>
5. Anokhin V.M., Dudakova D.S., Dudakov M.O. and Rybakov V.N. The results of geological and geomorphological studies of the bottom and shores of Lake Ladoga in 2015–2019 // Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii (Shkoly) morskoy geologii. Moscow: IORAN (Publ.), 2019. P. 23–26.
6. Anokhin V.M., Naumenko M.A., and Nesterov N.A. Relief of the bottom of Lake Ladoga and its connection with disjunctive // Izvestiya RGO. 2016. V. 148. № 2. P. 44–51. (in Russ.)
7. Anokhin V.M., Naumenko M.A., Subetto D.A., Nesterov N.A., and Rybakov V.N. Features of the geomorphological structure of the bottom of Lake Ladoga. Geografiya: razvitiye nauki i obrazovaniya: kollektivnaya monografiya po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii LXXI Gertsenovskiy chteniya. St. Petersburg: RGPU im. A.I. Gertsena (Publ.), 2018. № 1. P. 442–448. (in Russ.).

8. Anohin V.M., Petuhov S.I., Naumenko M.A. Set' razlomov dna Ladozhskogo ozera // *Geologija morej i okeanov: materialy XXIV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Shkoly) po morskoy geologii*. Moscow: IORAN, 2021. V. IV. P. 180–185.
9. Assinovskaja B.A. Sejsmicheskie sobytija na Ladoge v XX veke // *Izvestija RGO*. 2005. V. 137. № 4. P. 70–76.
10. Assinovskaja B.A., Karpinskij V.V. Ladozhskie sejsmicheskie javlenija. St. Petersburg: Izd-vo VSEGEI, 2020. 46 p.
11. Biske G.S., Lukashov A.D., Jekman I.M. Ladozhskoe ozero (razvitie rel'efa i usloviya formirovaniya chetvertichnogo pokrova kotloviny) Ladoga Lake (Development of relief and conditions for the formation of the quaternary cover of the basin). Petrozavodsk: Karelia (Publ.), 1978. 208 p.
12. Biske Ju.S., Sumareva I.V., Shitov M.V. Pozdnegolocenovoe sejsmicheskoe sobytie v jugo-vostochnom priladozh'e I Principy issledovaniya i deformacionnye tekstury // *Vestnik SPBGU*. Series 7. 2009. № 1. P. 18–26.
13. Geoekologiya Ladozhskogo ozera. Ivanov V.L., Gurevich V.I. (Eds.) (Geocology of Lake Ladoga). St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya (Publ.), 1995. 210 p.
14. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF m-ba 1:1 000 000. Listy R-35,36. Geomorfologicheskaya skhema. Tret'e pokolenie. Baltijskaya seriya (State geological map of the Russian Federation scale 1:100 000. sheets P-35, 36. Geomorphological scheme. Third generation. Baltic series). St. Petersburg: FGBU VSEGEI (Publ.), 2015.
15. Dudakova D.S., Anokhin V.M., Dudakov S.M. The use of an uninhabited underwater vehicle for the study of the benthic fauna of the sublittoral and profundal areas of Lake Ladoga // *Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Morskie issledovaniya i obrazovaniye" – MARESEDU*. (Moscow, October 28–31, 2019). Moscow: IORAN (Publ.), 2019. P. 420–423.
16. Dudakova D.S., Judin S.N. Cifrovaya model' podvodnyh landshaftov Ladozhskogo ozera kak istochnik integrirovannoj informacii o sostojanii dna // *Geomorfologija*. 2022. № 2. P. 13–26. <https://doi.org/10.31857/S0435428122020055>
17. Istorija Ladozhskogo, Onezhskogo, Pskovsko-Chudskogo ozer, Bajkala i Hanki (Serija: Istorija ozer SSSR) / pod red. Kvasov D.D., Martinson G.G., Raukas A.V. Leningrad: Nauka, 1989. 280 p.
18. Kalesnik S.V. Ladozhskoe Ozero. Sistema Velikih ozer Evropy. Bassejn Ladozhskogo ozera (Lake Ladoga. The Great Lakes system of Europe. Lake Ladoga Basin). Leningrad: Hydrometeoizdat (Publ.), 1968. 149 p.
19. Koshechkin B.I. Golocenovaja tektonika vostochnoj chasti Baltijskogo shhita. Leningrad: Nauka, 1979. 158 p.
20. Ladoga (Ladoga) / pod red. Rumyantsev V.A., Kondratiev S.A. St. Petersburg: Nestor-History (Publ.), 2013. 468 p. (in Russ.)
21. Ladozhskoe ozero (razvitie rel'efa i usloviya formirovaniya chetvertichnogo pokrova kotloviny) / pod red. G.S. Biskje. Petrozavodsk: Karelija, 1978. 208 p.
22. Ladozhskoe ozero i dostoprimechatel'nosti ego poberezh'ya (Atlas Lake Ladoga and the sights of its coast. Atlas) / pod red. Rumyantsev V.A., Sorokin A.I., Nesterov N.A. (Eds.). Saint Petersburg: Nestor-Istoriya (Publ.), 2015. 200 p.
23. Lukashov A.D. Geodinamika novejshego vremeni // *Glubinnoe stroenie i sejsmichnost' Karel'skogo regiona i ego obramlenija* / pod red. Sharova N.V. Petrozavodsk, 2004. P. 150–191.
24. Naumenko M.A. Analysis of the morphometric characteristics of the underwater topography of lake Ladoga, on the basis of the digital model // *Regional Research of Russia*. 2013. № 1. P. 62–72. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-62-72>
25. Naumenko M.A., Guzivat'y V.V., Nesterov N.A., Subetto D.A. Morphometric features of the underwater slope of the southwestern part of Valaam Island // *Doklady Akademii nauk*. 2019. № 486 (3). P. 103–106. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869-56524863371-374>

26. Nikonov A.A. Vostochno-Ladozhskoe zemletrjasenie 30 nojabrja 1921 goda // Fizika Zemli. 2005. № 7. P. 1–5.
27. Petuhov S.I., Anohin V.M., Naumenko M.A. The first experience of morphotectonic modeling of the Ladoga Lake area. Geografiya: razvitiye nauki i obrazovaniya. Kollektivnaya monografiya po materialam yezhegodnoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. St. Petersburg: RGPU im. A.I. Gertsena (Publ.), 2020. P. 147–151.
28. Rumyantsev V.A., Rybakov V.N., Tokarev I.V. Distribution of tributary waters and groundwater in Lake Ladoga according to isotope indicators // Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. 2017. № 48. P. 94–109.
29. Sviridenko L. P., Svetov A. P. Valaamskij sill gabbro-doleritov i geodinamika kotloviny Ladozhskogo ozera. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2008. 125 p.
30. Shitov M.V., Biske Ju.S., Sumareva I.V. Pozdnegolocenovoe seismicheskoe sobytie v jugo-vostochnom priladozh'e II Parametry // Vestnik SPBGU. Series 7. 2010. № 3. P. 18–26.
31. Anokhin, V., Dudakova, D., and Dudakov, Moscow: Tectonic ledges at the bottom of Lake Ladoga // EGU General Assembly – EGU21-1789. 2021 (online, April 19–30, 2021). <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-1789>, 2021
32. Aksenov A.O., Rybalko A.E., and Naumenko M.A. Geomorphology of Lake Ladoga basin // Limnology and Freshwater Biology. 2020. № 4. P. 492–494. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-4-492>
33. Lebas E., Gromig R., Krastel S., Wagner B., Fedorov G., Gortz C., Avers T., Subetto D., Naumenko M., and Melles M. Pre-glacial and post-glacial history of the Scandinavian Ice Sheet in NW Russia – Evidence from Lake Ladoga // Quaternary Science Reviews. 2021. V. 251. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106637>