

ВЫДЕЛЕНИЕ АКТИВНЫХ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ КОТЛОВИН ЛАДОЖСКОГО И ОНЕЖСКОГО ОЗЕР ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА РЕЛЬЕФА И КОМПЬЮТЕРНОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.О. Агибалов¹, А.А. Сенцов¹, В.А. Зайцев²

¹*Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

В настоящее время разработаны разные схемы разрывных нарушений котловин Ладожского [Амантов, 2014; Анохин и др., 2016; Государственная..., 2014; Свириденко, Светов, 2008; Хазов и др., 2004] и Онежского [Онежская..., 2011; Бискэ и др., 1971] озер. Ранее проведенные нами анализ рельефа и тектонофизическое моделирование новейшей геодинамики акватории Ладожского озера показали, что по некоторым разрывным нарушениям могут происходить динамические подвижки в новейшем поле напряжений, оказывающие существенное влияние на облик рельефа [Агибалов и др., 2019]. В то же время представления разных исследователей о форме и расположении разрывных нарушений в пределах акваторий двух рассматриваемых озер во многом различаются. В этой связи задача выделения новейших активных разломов впадин Ладожского и Онежского озер и оценка их влияния на рельеф представляется актуальной и интересной. Для ее решения нами были составлены цифровые модели рельефа (ЦМР) на основе данных [Карта..., 2020; Ладожское..., 2002]. По ЦМР выделены линейные формы рельефа, разделяющие разновысотные блоки. Эти линейные зоны были проинтерпретированы нами как предполагаемые активные разрывные нарушения (рис. 1, 2). С целью оценки достоверности предложенной интерпретации проведены компьютерное геодинамическое моделирование и автоматизированный анализ ЦМР в программе «LESSA» [Златопольский, 2011]. Кроме того, конфигурация выделенных нами предполагаемых активных разломов сопоставлена с данными о современной и палеосейсмичности.

Компьютерное моделирование выполнено в программе «RMS 2013» компании «Rohar», в качестве исходных данных использовались ЦМР, схемы предполагаемых разрывных нарушений и осредненные физико-механические характеристики геолого-географической среды. При моделировании задана внешняя нагрузка — растяжение, ось которого ориентирована по азимуту 60°. Выбор этого типа напряженного состояния обусловлен тем, что обе озерные котловины приурочены к грабенам северо-западного простирания [Амантов, 2014; Онежская..., 2011]. Методика моделирования аналогична описанной в [Агибалов и др., 2019].

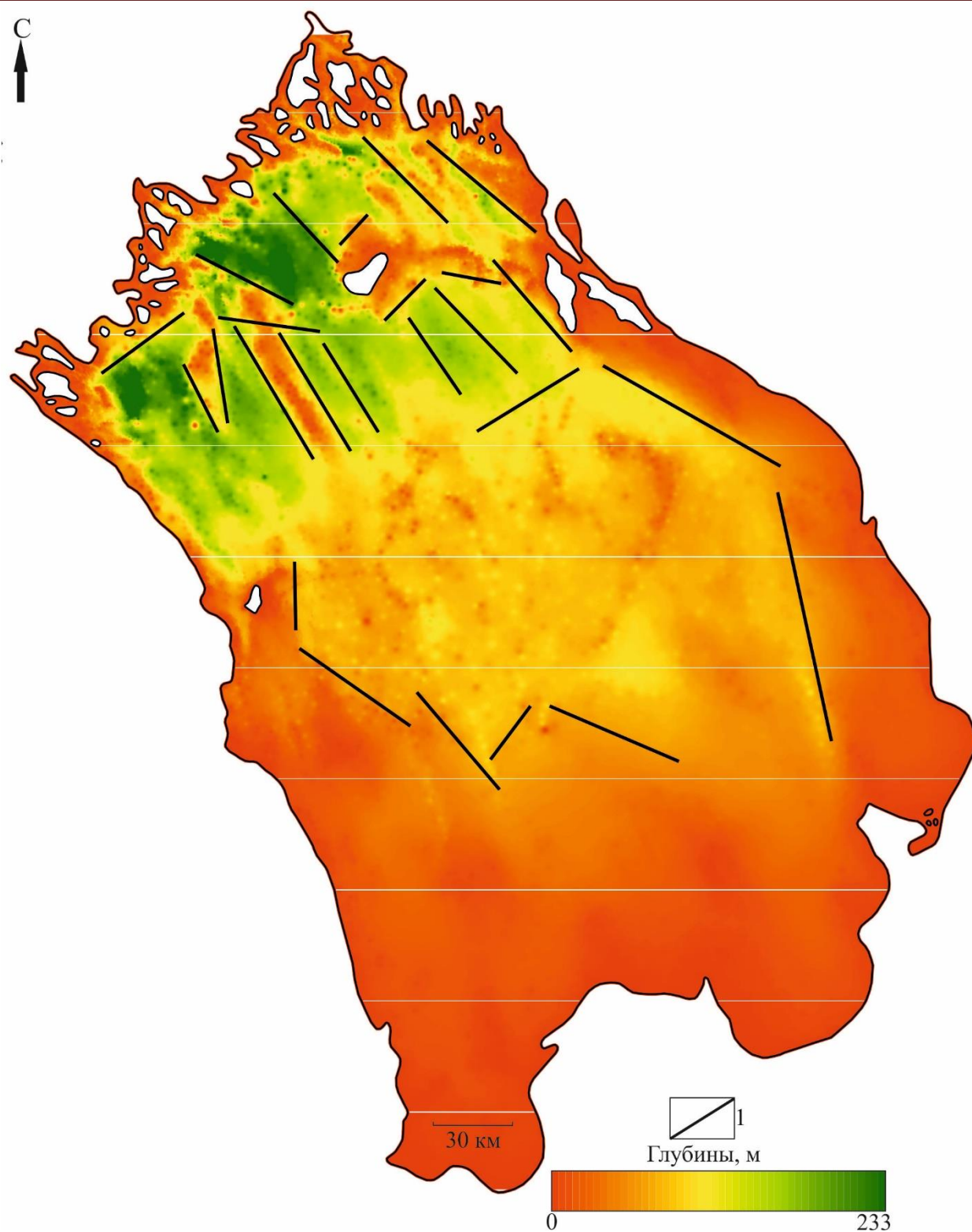


Рис. 1. Схема предполагаемых активных разрывных нарушений акватории Ладожского озера: 1 – предполагаемые активные разломы

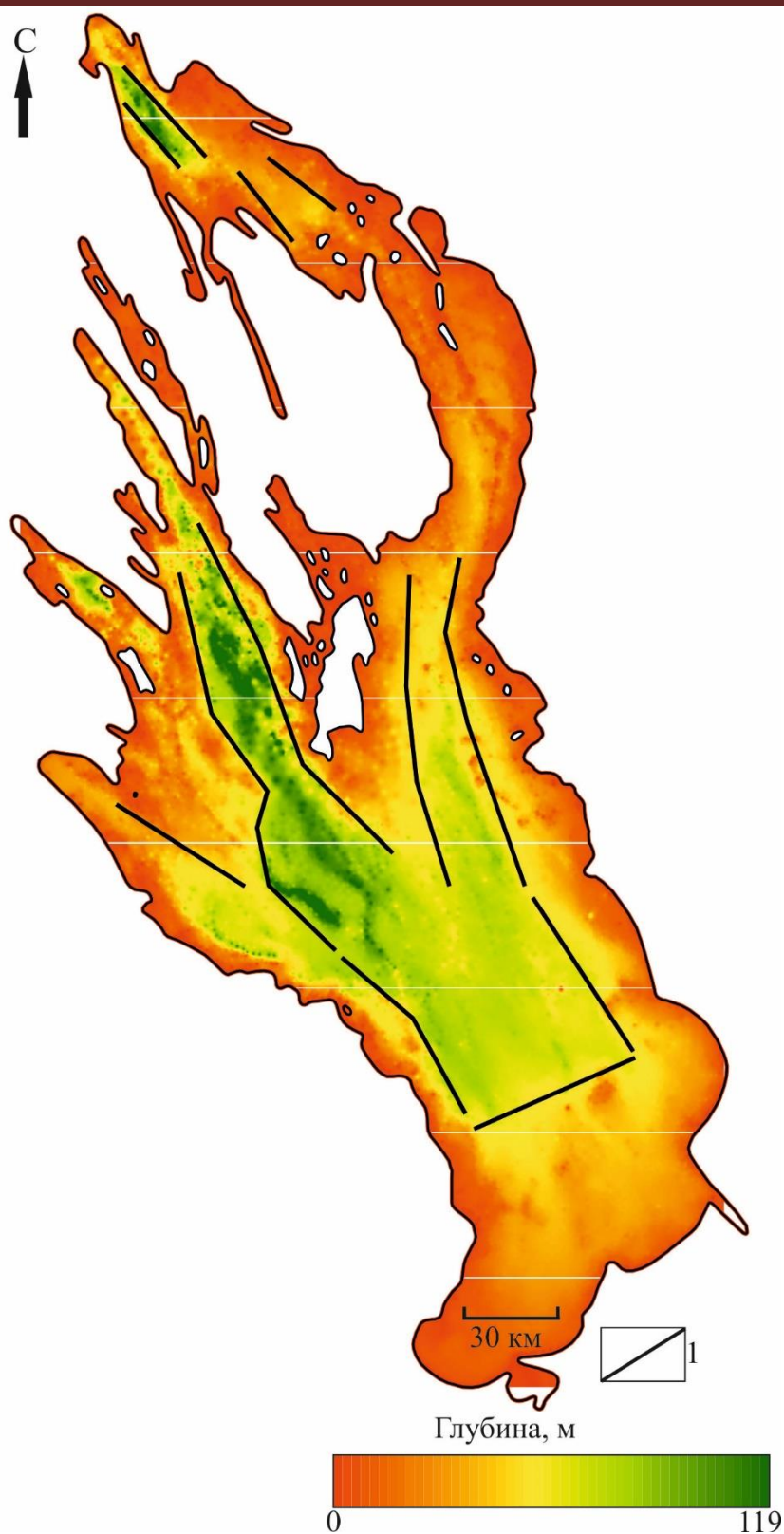


Рис. 2. Схема предполагаемых активных разрывных нарушений акватории Онежского озера: 1 – предполагаемые активные разломы

Основным результатом являются схемы относительных амплитуд вертикальных перемещений по предполагаемым активным разломам. Установлено, что коэффициент

ранговой корреляции Спирмена между значениями глубин и относительных амплитуд вертикальных перемещений равен 0,68 для Ладожского и 0,47 для Онежского озера. Выбор непараметрического коэффициента корреляции обусловлен тем, что характер распределения глубин озерных котловин отличается от нормального. На наш взгляд, проведенное моделирование показывает значимость неотектонических движений как важного фактора рельефообразования наряду с деятельностью ледника, гляциоизостазией и другими процессами [Спиридонов, 1978]. Большее значение коэффициента корреляции Спирмена для акватории Ладожского озера может быть связано с тем, что в ее пределах неотектонические процессы проявились более активно: об этом свидетельствует больший размер и глубина котловины, большее количество эпицентров современных землетрясений по сравнению с впадиной Онежского озера [Earthquake..., 2020].

Построенная с помощью программы «LESSA» схема плотности линеаментов-«штрихов» акватории Ладожского озера (рис. 3) подтверждает обоснованность выделения ряда предполагаемых активных разрывных нарушений. Расположенные вдоль северо-западного и северо-восточного побережий Ладожского озера максимумы плотности линеаментов приурочены к Северо-Западно- и Восточно-Ладожской сейсмогенерирующим структурам [Никонов, Шварев, 2015]. Смещение локальных максимумов плотности линеаментов вдоль активного разлома запад-северо-западного простирания, к которому приурочены 3 эпицентра современных землетрясений [Earthquake..., 2020], указывает на его правосдвиговую кинематику. Расположение большей части палесеисмодислокаций [Lukashov, 1995] и всех эпицентров современных землетрясений [Earthquake..., 2020] в северной части акватории Ладожского озера свидетельствует о ее большей сейсмотектонической активности по сравнению с южной, отличающейся меньшей плотностью линеаментов. Другим интересным результатом, полученным путем автоматизированного анализа ЦМР в программе «LESSA», является схема плотности линий вытянутости (рис. 4). На ней по максимальным значениями этого параметра выделяется линейная зона, вытянутая вдоль Восточно-Ладожского разлома, с которым связано самое сильное за исторический период наблюдений землетрясение в Приладожье с магнитудой $4,5 \pm 0,3$ [Никонов, 2005]. В целом, проведенный анализ ЦМР позволил установить взаимосвязь между определенными морфометрическими параметрами рельефа и особенностями новейших геодинамических (в том числе сейсмотектонических) процессов.

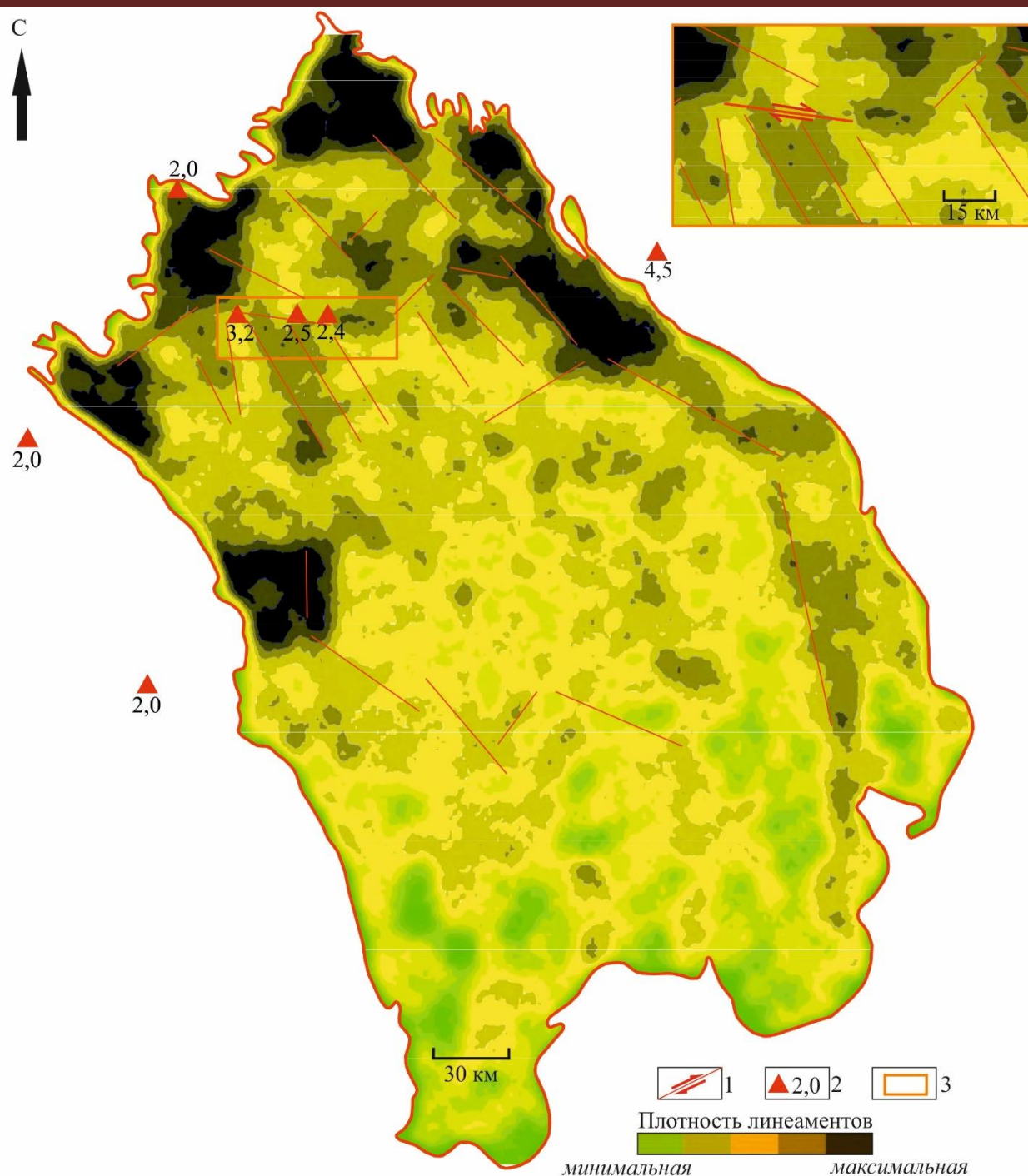


Рис. 3. Схема плотности линеаментов акватории Ладожского озера, составленная с помощью программы «LESSA» [Златопольский, 2011]: 1 – предполагаемые активные разломы и направления смещения по ним, 2 – эпицентры современных землетрясений и их магнитуды, по [Earthquake..., 2020], 3 – границы участка, показанного на врезке

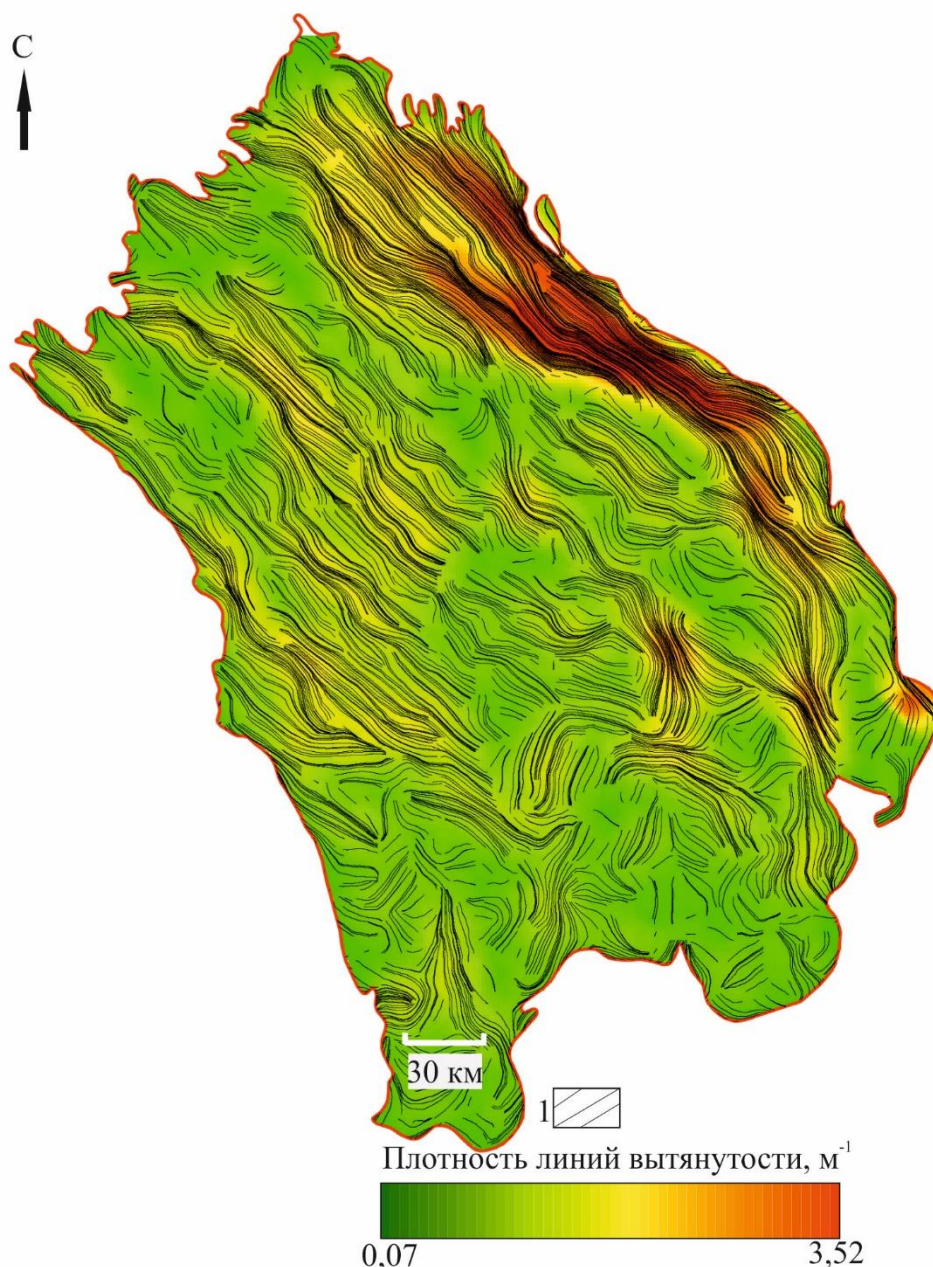


Рис. 4. Схема плотности линий вытянутости акватории Ладожского озера, составленная с помощью программы «LESSA» [Златопольский, 2011]: 1 – линии вытянутости

Таким образом, по результатам проведенных исследований сделаны следующие выводы. 1. Разработаны схемы предполагаемых активных разрывных нарушений акваторий Ладожского и Онежского озер, большая часть которых, судя по характеру новейшего напряженного состояния и геоморфологическим данным, имеют сбросовую, реже – сдвиговую кинематику. 2. Предложен геодинамическая модель, объясняющая ряд особенностей морфологии рельефа обеих озерных впадин активизацией дизъюнктивных нарушений в обстановке северо-восточного растяжения. 3. Показана взаимосвязь

рассчитанных с помощью программы «LESSA» морфометрических параметров рельефа дна Ладожского озера с неотектоническими (в том числе сейсмотектоническими) процессами.

Исследование выполнено в рамках Государственного задания ИФЗ имени О.Ю. Шмидта РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агибалов А.О., Сенцов А.А., Зайцев В.А. Влияние активизированных докембрийских разрывных нарушений на рельеф котловины Ладожского озера // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2019. № 3. С. 99–105.

Амантов А.В. Геология дочетвертичных образований и тектоника Ладожского озера // Региональная геология и металлогения. 2014. № 58. С. 22–32.

Анохин В.М., Науменко М.А., Нестеров Н.А. Особенности направленности линейных форм рельефа дна Ладожского озера // География: развитие науки и образования. Часть I. Коллективная монография по материалам ежегодной Международной научно-практической конференции LXIX Герценовские чтения, посвященной 115-летию со дня рождения С.В. Калесника. СПб., 2016. С. 108–117.

Бискэ Г.С., Лак Г.Ц., Лукашов А.Д. и др. Строение и история котловины Онежского озера. Петрозаводск: «Карелия», 1971. 75 с.

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Карта дочетвертичных образований. Масштаб 1 : 1 000 000 (Балтийская серия). Лист Р-(35)-37 (Петрозаводск). СПб: ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2014.

Златопольский А.А. Новые возможности технологии LESSA и анализ цифровой модели рельефа. Методический аспект // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. № 3. С. 38–46.

Карта глубин Онежского озера. URL: <https://navionics.ru/katalog-kart/item/390-5g634s2-onezhskoe-ozero> (дата обращения 27.10.2020).

Ладожское озеро. Атлас. ГУНИО. 2002.

Никонов А.А., Шварев С.В. Сейсмолинеaments и разрушительные землетрясения в российской части Балтийского щита: новые решения для последних 13 тысяч лет // Мат-лы междунар. конф. «Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности». 23–25 сентября 2015 г. / Ред. В.С. Имаев. Нерюнгри: Изд-во Технического ин-та (ф) СВФУ, 2015. С. 243–251.

Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника и минерогения) / Отв. ред. Л.В. Глушанин, Н.В. Шаров, В.В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.

Свириденко Л.П., Светов А.П. Валаамский силл габбродолеритов и геодинамика котловины Ладожского озера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. 123 с.

Спиридонов А.И. Геоморфология европейской части СССР. М.: «Высшая школа», 1978. 335 с.

Хазов Р.А., Шаров Н.В., Исанина Э.В. Глубинное строение и металлогения Приладожья // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2004. Вып. 7. С. 55–74.

Earthquake database of the Institute of Seismology of the University of Helsinki. URL: <https://www.seismo.helsinki.fi/EQ-search/query.php> (дата обращения 27.10.2020).

Lukashov A.D. Paleoseisмотectonics in the northern part of lake Onega (Zaonezhskij peninsula, Russian Karelia). Petrozavbodsk: Karelian Scientific Centre in Russian Academy of Sciences, 1995. 38 p.