

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ВЫЯВЛЕНИЕ ПАЛЕОСЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ В РАЙОНЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

© 2021 г. С. Н. Неволин*

ООО “ЭкспертГаз”, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: geonec@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.08.2020 г.

Проведена оценка силы палеоземлетрясений территории двумя методами: по максимальному смещению четвертичных пород разрывами и параметрам кластических даек сейсмогенного генезиса. На основе использования архивных материалов космических съемок и изображений Google Earth обоснован метод поиска палеосейсмодислокаций. Проведены поиски сейсмических проявлений в пределах Южки-Токсовской зоны разломов. Обнаружено 40 сейсмогенных уступов, часть из них вскрыта канавами. Исследование уступов позволяет оценить силу землетрясений позднего и среднего голоцена данного района соответственно в 7.2 и 6.8 магнитуд. Изучено глубинное строение участка концентрации палеосейсмодислокаций методом спектрально-сейсморазведочного профилирования.

Ключевые слова: активные разломы, дистанционное зондирование, землетрясения, магнитуда, палеосейсмодислокации, спектрально-акустические измерения

DOI: 10.31857/S0205961421030064

ВВЕДЕНИЕ

Статья является логическим продолжением предыдущей (Неволин, 2015), в которой автор по материалам космической съемки выделил Южки-Токсовскую зону активных разломов и обосновал ее тектоническую активность в позднеплейстоценовое время. В настоящей статье приведены признаки тектонической активности данной территории в голоцене. Для поиска палеосейсмодислокаций используются материалы аэрокосмических съемок поверхности Земли.

Линеаментный анализ материалов аэрокосмических съемок является одним из методов выделения активных разломов. Анализ материалов космической съемки проводится по изменениям тона, различиям рисунка и структуры изображения. Одним из элементов изображения являются линеаменты — линейные градиенты плотности тона, часто представленные на снимке в виде нитевидных линий, имеющих ширину 20–30 м на местности. Линеаменты, как проявленные в ландшафте зоны трещиноватости, часто соответствуют разломам осадочного чехла и фундамента. Участки концентрации параллельных линеаментов образуют линеаментные зоны. Линеаменты служат каналами миграции подземных вод и газов и являются участками дислокации горных пород. Для выяснения природы линеаментов про-

водится анализ геолого-геофизических данных, полевые наблюдения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена на основе совместного использования архивных материалов космической фотосъемки и изображений Google Earth, где в основу цифровой модели рельефа положена информация миссии SRTM. Вначале на космических снимках выделяются линеаменты, концентрические структуры и другие детали изображения. В дальнейшем эти объекты сравниваются с данными Google Earth, детализируются и по характерным точкам привязываются к системе координат. Затем с помощью Google Earth, которая интегрирована с глобальной навигационной системой GPS, планируются наземные маршруты.

Исследованиями последних лет установлено, что на Балтийском щите и его юго-восточном склоне в голоцене происходили землетрясения с магнитудой $M = 7.0$ и более (Никонов, Шварев, 2014). Зоны концентрации землетрясений часто приурочены к крупным разломам северо-западной ориентировки. В то же время разломы северо-восточного простирания менее масштабны и недостаточно изучены. Один из разломов северо-восточного направления выделен автором как Южки-Токсовская (Охтинская) сейсмическая зо-

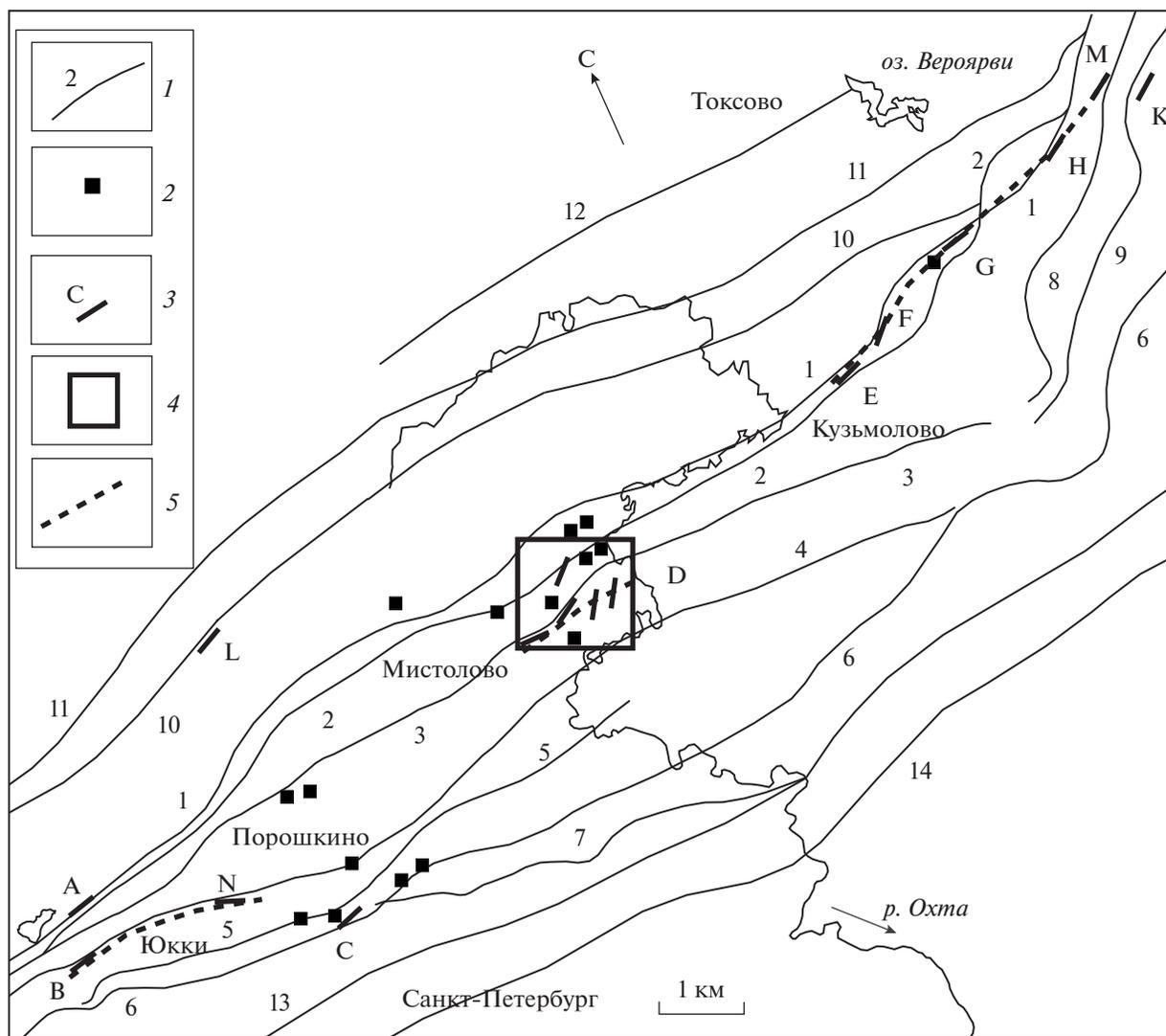


Рис. 1. Фрагмент Юки-Токсовской зоны разломов. 1 – разлом и его номер, 2 – обнажения с разрывами, 3 – группа уступов и ее обозначение, 4 – участок детальных работ, 5 – сейсмозоны.

на (Неволин, 2015), примыкающая к северной границе Санкт-Петербурга. Здесь обнаружены новые обнажения четвертичных пород с разрывными тектоническими нарушениями заметной амплитуды (рис. 1).

Максимальная сила палеоземлетрясений этого района оценивается в 7.0M и более согласно формулам (Стром, Никонов, 1999) по соотношению максимального смещения по разрывам и магнитуды (табл. 1).

В новейшем исследовании (Лунина, Гладков, 2017) предложен метод вычислений магнитуд землетрясений по параметрам кластических даек сейсмогенного генезиса. Получены формулы связи магнитуды с высотой и мощностью кластических даек. На площади Юки-Токсовской зоны выявлен ряд кластических даек в четвертич-

ных породах. Параметры даек можно использовать для оценки магнитуды палеоземлетрясений района исследования (табл. 2).

Для применения этого метода на данной территории следует учесть состав пород, трещиноватость, особенности гидрогеологии, для чего нужны специальные исследования. Отсюда следует неоднозначность оценок магнитуд для этого района по данному методу.

Возраст палеоземлетрясений этой территории оценивается как позднелейстоценовый–раннеголоценовый. В то же время нарушения рельефа в виде палеосейсмодислокаций позволяют выявить землетрясения более позднего возраста. С помощью программы Google Earth определяются высоты рельефа поперек осей разломов и линеаментов, по разнице высот вычисляются

Таблица 1. Обнажения четвертичных пород с тектоническими нарушениями.

№ обнажения	Координаты	Вид нарушения	Амплитуда, м	Магнитуда, <i>M</i>
1602	N 60.11343 E 30.36443	Сброс	1.2	7.2
1709	N 60.12270 E 30.44115	Взброс	0.8	7
1717	N 60.11903 E 30.42910	Сброс	1	7.1
1796	N 60.12265 E 30.44074	Сброс	1.6	7.3
1805	N 60.12263 E 30.43952	Взброс	1.75	7.4
1994	N 60.11530 E 30.42752	Сброс	0.8	7
2111	N 60.11374 E 30.36000	Сброс	1.1	7.2
2893	N 60.10054 E 30.37411	Сброс	0.8	7
3332	N 60.12527 E 30.43858	Сброс	1	7.1
3338	N 60.12478 E 30.43635	Сброс	1.1	7.2
K3	N 60.10042 E 30.36061	Сдвиг	1.2	6.8
K4	N 60.11679 E 30.43144	Сброс	0.4	6.7
K5	N 60.12972 E 30.51399	Сброс	0.6	6.9
K6	N 60.13337 E 30.53060	Сброс	0.3	6.5
K7	N 60.13337 E 30.53061	Взброс	0.15	6.2
K8	N 60.13900 E 30.58323	Сброс	0.1	6.1
K10	N 60.13027 E 30.35188	Сброс	0.8	7
K11	N 60.14394 E 30.58050	Сброс	0.4	6.7
K12	N 60.14288 E 30.58279	Взброс	0.1	6.1
K13	N 60.10694 E 30.33872	Сброс	0.2	6.2
K14	N 60.10680 E 30.32483	Сброс	0.7	7

Таблица 2. Параметры кластических даек в четвертичных породах

№ обнажения	Координаты	Высота, м	Мощность, м	<i>M</i> выс/моц	Тип дайки
623	N 60.13307 E 30.52893	2.3	0.7	7.1/7.2	Нептунический
751	N 60.12454 E 30.39976	1.4	0.7	6.6/7.2	Инъекционный
1372	N 60.09847 E 30.37349	1.5	0.2	6.7/6.1	Нептунический
1428	N 60.13312 E 30.52945	0.8	0.1	6.1/5.9	Нептунический
1508	N 60.12614 E 30.44220	1.3	1.1	6.6/7.7	Инъекционный
1709	N 60.12270 E 30.44115	0.8	1.2	6.1/7.8	Инъекционный
1805	N 60.12263 E 30.43952	1.4	0.4	6.6/6.1	Нептунический
2017	N 60.10009 E 30.35988	1.4	0.4	6.6/6.1	Нептунический
2018	N 60.10009 E 30.35990	1.7	1.4	6.9/7.9	Нептунический
2019	N 60.10011 E 30.35997	1.3	0.8	6.6/7.2	Нептунический
4104	N 60.12235 E 30.43170	0.7	0.95	5.9/7.2	Инъекционный
K2	N 60.10022 E 30.36027	1.1	0.7	6.3/7.2	Инъекционный
K7	N 60.11753 E 30.43536	0.55	0.4	5.7/6.5	Инъекционный
K9	N 60.13766 E 30.56217	1.2	0.5	6.4/6.8	Нептунический

Таблица 3. Параметры сейсмогенных уступов

№ уступа	Координаты	Высота, м	Уклон, °	Длина, м	№ канавы
Группа С 7	N 60.10028 E 30.36043	2.6	43	130	K1, K2, K3
Группа D 8	N 60.11660 E 30.43101	1.2	32	80	K4
11	N 60.11768 E 30.43567	1.2	35	90	K7
Группа F 4	N 60.12974 E 30.51401	1.8	43	55	K5
Группа G 18	N 60.13331 E 30.53043	0.6	34	40	K6
Группа H 25	N 60.13762 E 30.56196	1	36	60	K9
Группа K 26	N 60.13903 E 30.58329	1.5	36	30	K8
Группа L 27	N 60.13015 E 30.35151	1.6	46	136	K10
Группа M 33	N 60.14394 E 30.58050	1.6	38	80	K11
36	N 60.14288 E 30.58279	0.8	34	30	K12
Группа N 37	N 60.10694 E 30.33872	1	41	21	K13
40	N 60.10680 E 30.32483	1	38	54	K14

уклоны. Согласно измерениям на тестовых участках, палеосейсмодислокации развиты на склонах с крутизной более 10° – 15° , поэтому выделяются аналогичные площади.

Поиск сейсмодислокаций на этих участках выполняется путем геоморфологического профилирования вкрест простирающихся осей разломов и линейментов. Измерение сейсмодислокаций и прилегающих склонов выполняется с помощью электронного уклономера точностью 0.2° . Привязка точек наблюдения проводится посредством электронного навигатора GPSmap60CSX, точность которого достигает 2 м.

Всего обнаружено около 50 палеосейсмодислокаций, в том числе 40 сейсмогенных уступов, 12 из них вскрыты канавами (табл. 3). Одним из критериев выделения сейсмогенных уступов является положение их вблизи осей разломов в полосе шириной порядка 500 м. Также уступы имеют характерный продольный профиль с максимальной высотой в центре и минимальной по краям. Доказательством их сейсмогенной природы является вскрытие канавами и обнаружение разрывов со смещением пород (рис. 2).

Стенка канавы нарушена сбросом амплитудой 0.8 м, сместитель падает на юго-восток под углом 62° .

При работах погребенные почвы не встречены, поэтому возраст уступов оценивается на основании уменьшения их уклонов с течением времени.

Так, в Прибайкалье проведены исследования более 40 палеоземлетрясений с массовыми заме-

рами параметров уступов, проходкой их канавами и отбором проб на радиоуглеродное датирование. Это позволило установить градицию уклонов сейсмогенных уступов и связанных с ними возрастов (Чипизубов и др., 2009): 44° – 1315–1742 лет, 37° – 508–1071 лет, 32 – 36° – 3990–4840 лет, 31° – 4299 лет, 22° – 27° – 7668 лет, 24° – 9116–9305 лет.

В нашем случае есть два основных типа сейсмогенных уступов, крутые и относительно пологие, имеющие уклоны соответственно 38° – 46° и 32° – 36° (табл. 3). Используя данные (Чипизубов и др., 2009) в качестве ориентира, время образования крутых уступов можно отнести к позднему голоцену, пологих – среднему голоцену. Кроме того, обнаружены выпуклые перегибы склонов с уклонами 20° – 25° , которые рассматриваются как раннеголоценовые сейсмогенные уступы.

Следует учесть неопределенность данных оценок применительно к нашему району с иными геологическими и географическими особенностями.

Часто уступы образуют цепочки, обозначая поверхностный сейсморазрыв землетрясения.

Крутые уступы 7(С), 4(F), 27(L), 33(M), 37(N), 40(N) вскрыты канавами K1, K2, K3, K5, K10, K11, K13, K14. По данным измерений в этих канавах максимальных амплитуд перемещений пород сила землетрясения позднеголоценового возраста составляет 7.0M (табл. 1, K10, K14). Оценка магнитуды по параметрам кластических даек дает значение 7.2M (табл. 2, K2).

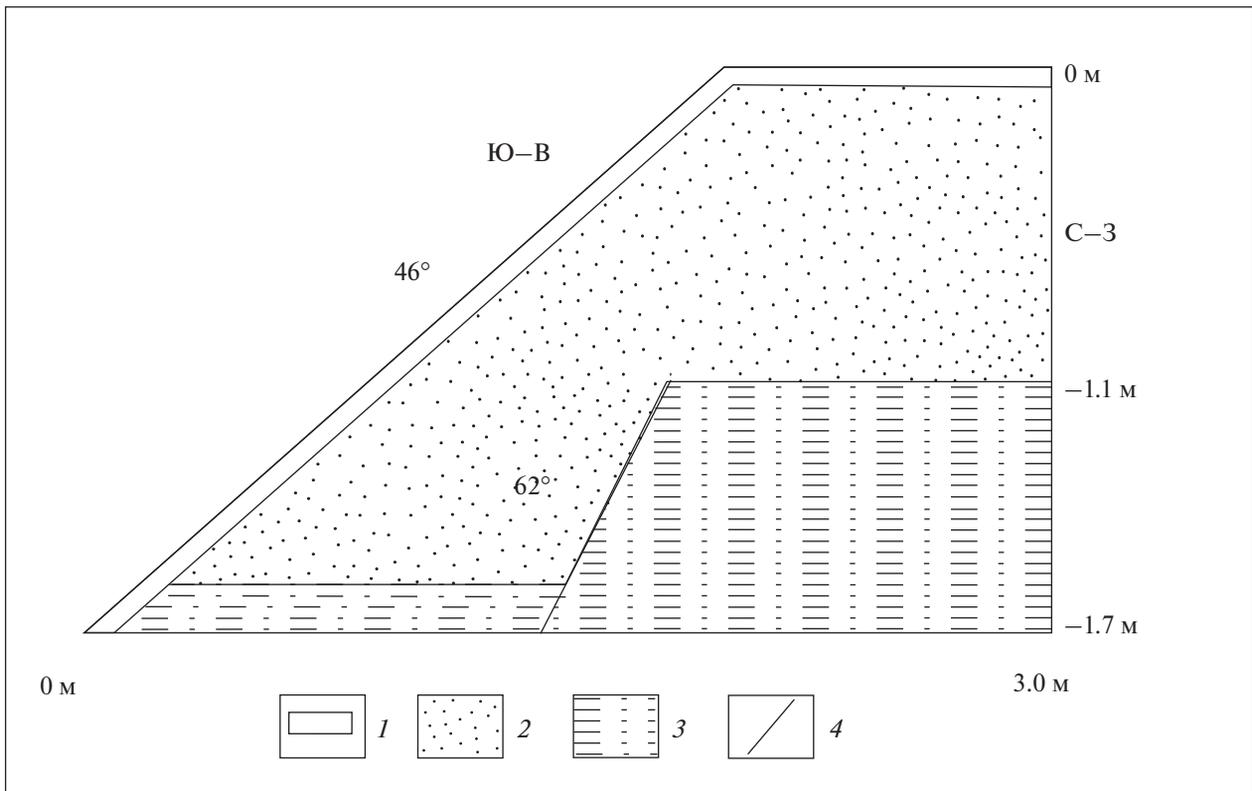


Рис. 2. Геологический разрез канавы К10. Условные обозначения: 1 – почва, 2 – песок, 3 – супесь, 4 – разрывное нарушение.

Возможно, данное землетрясение силой 7.0–7.2*M* приходится на период сейсмической активности Приладожья, где возраст Свирьско-Оятского палеособытия с магнитудой более 6 оценивается от 2.0 до 4.5 тыс. лет, более вероятно 2–3 тыс. лет (Бискэ и др., 2009; Шитов и др., 2010).

Пологие уступы 8, 11(D), 1 8(G), 25(H), 26(K), 36(M) пройдены канавами К4, К7, К6, К9, К8, К12. Анализ максимальных амплитуд разрывов пород в канавах дает оценку силы землетрясения среднеголоценового возраста в 6.7*M*. (табл. 1, К4). Аналогичный расчет по размерам даек показывает величину 6.8*M* (табл. 2, К9).

Известно, что 3–6 тыс. лет назад в центре Санкт-Петербурга было землетрясение силой 5–6 баллов (Аптикаев и др., 2011). Вероятно, эти сотрясения являются отголоском землетрясения среднеголоценового возраста в 6.7–6.8*M* в Юкки-Токсовской зоне, так как авторы указывают на горизонтальный импульс СВ–ЮЗ направления.

Значительная часть сейсмогенных уступов находится в районе п. Мистолово (рис. 3).

Участок “Мистолово” характеризуется относительно расчлененным рельефом и уникален размахом высот в 65 м на расстоянии 1 км. Имен-

но здесь сосредоточены обнажения с мощными взбросами (рис. 4).

На рис. 3 изображены два ромбовидных блока, выделенные по космическим снимкам и выраженные в рельефе. Согласно (Геодинамические..., 1989), характерной чертой строения сдвигов является наличие ромбических в плане блоков, примыкающих к разломам. В зонах сдвигов геологические тела имеет объемную конфигурацию, именуемую ромбоэдром или тектонической линзой.

На участке находится группа (D) из 14 сейсмогенных уступов, из них пологие уступы 8 и 11 вскрыты соответственно канавами К4 (рис. 5) и К7.

Стенка канавы нарушена сбросом амплитудой 0.4 м, сместитель падает на северо-запад под углом 53°.

Ареал крутых уступов 2, 6, 9, 10, 14, 19 указывает на эпицентр землетрясения позднеголоценового возраста. В южной части участка центры пологих уступов 1, 28, 8, 11, 12, 13 лежат на одной линии, фиксируя выход на поверхность сейсморазрыва землетрясения среднеголоценового возраста длиной 1 км. Кулисный ряд разломных уступов с запада ограничен п. Мистолово и возможное его продолжение уничтожено или завалуировано хо-

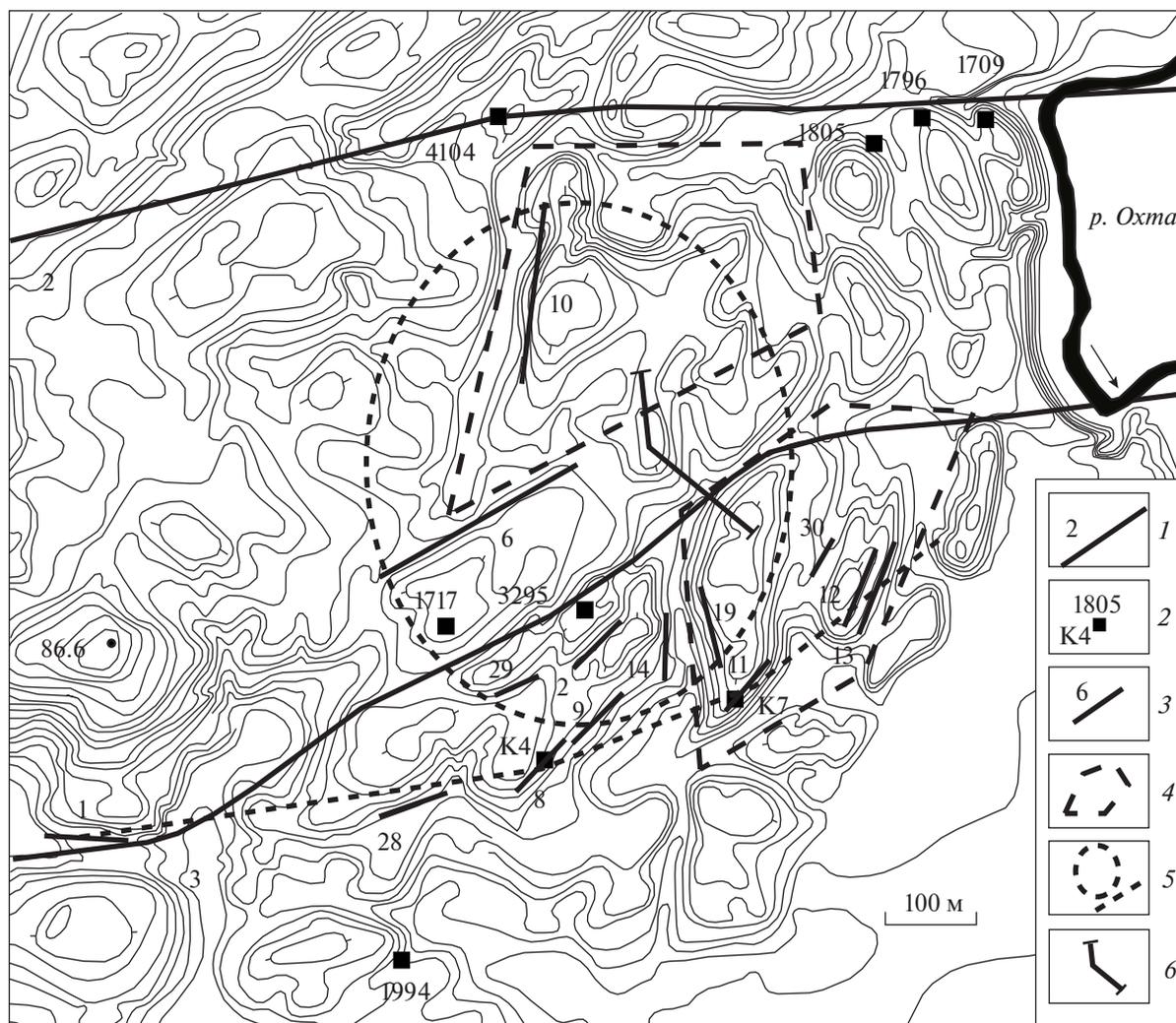


Рис. 3. Участок "Мистолово". 1 – разлом и его номер, 2 – обнажение и его номер, К – канава, 3 – уступ и его номер, 4 – ромбоэдр, 5 – эпицентр землетрясения и сейсморазрыв, 6 – положение спектрально-сейсморазведочного профиля.

зяйственной деятельностью. Аналогичная ситуация на востоке вблизи долины р. Охта.

Половина уступов приурочена к границам ромбоэдров.

В центре участка впадину на водоразделе занимает низинное болото, расположенное на оси разлома 3. Возможно, болото возникло на месте провала земной поверхности при землетрясении, поэтому в точке 3295 взят образец торфа с глубины 2.0 м. Калиброванный радиоуглеродный возраст образца ЛУ-9411 составляет 6130 ± 80 лет, что указывает на верхний предел возраста среднеголоценового землетрясения. Болотная низина ограничена с востока крутым уступом 2 длиной 80, высотой 1.3 м и уклоном 44° , отнесенным автором к

позднему голоцену. Вероятно, провал формировался в два этапа, в среднем и позднем голоцене.

Спектрально-сейсморазведочный профиль (ССП) пройден с северо-запада на юго-восток вкострости простираения разлома 3 (рис. 6).

При спектрально-акустических измерениях (Гликман, 2001) выявляются границы, по которым возможно взаимное проскальзывание соседствующих сред. ССП-аномалии имеют воронкообразный или V-образный характер, соответствуют областям повышенной трещиноватости пород и трактуются как разрывные тектонические нарушения.

На рисунке субвертикальные штриховые линии белого цвета обозначают разрывные наруше-



Рис. 4. Обнажение 1796. В правой части виден сброс амплитудой 1.6 м, сместитель падает на северо-запад под углом 44°.

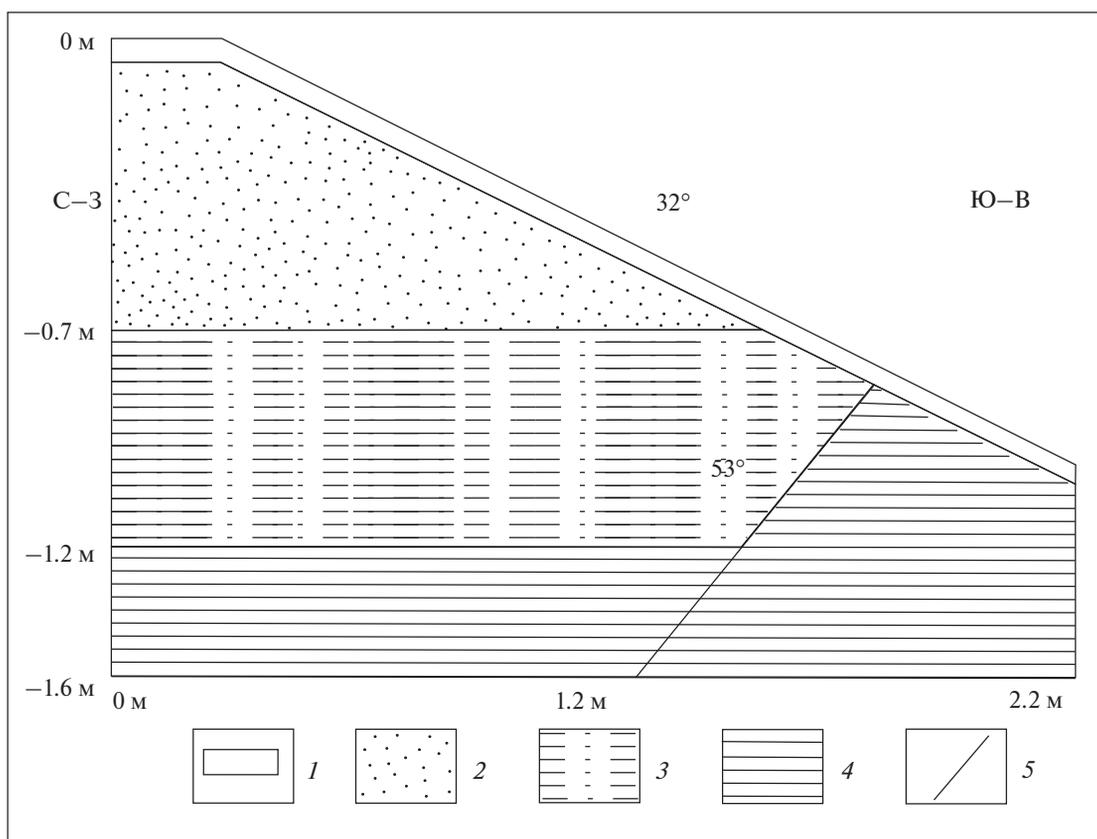


Рис. 5. Геологический разрез канавы К4. Условные обозначения: 1 – почва, 2 – песок, 3 – супесь, 4 – суглинок, 5 – разрывное нарушение.

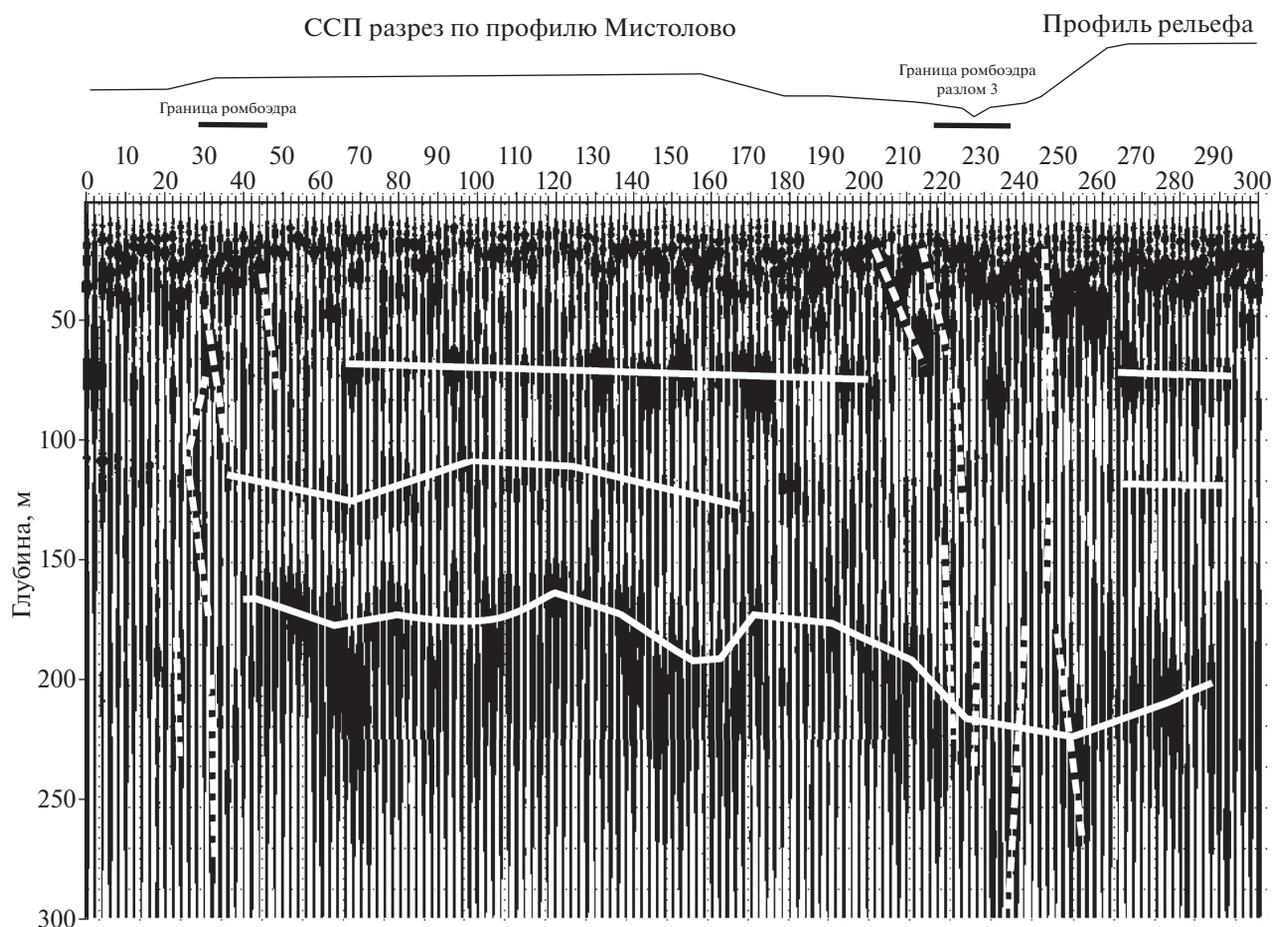


Рис. 6. Спектрально-сейсморазведочный профиль (объяснения в тексте).

ния. Сплошные линии белого цвета соответствуют поверхностям раздела акустических сред. Горизонтальная линия на глубине 60–70 м приходится на зону увеличения плотности четвертичных отложений. Волнистая линия в интервале глубин 110–130 м отвечает кровле котлинских отложений. Ломаная линия, объединяющая мощные аномалии, лежащие на одном глубинном уровне, соотносится с изрезанной поверхностью фундамента. По геологическим данным фундамент в этом районе находится на глубине 150–160 м. На ССП разрезе поверхность фундамента залегает в интервале глубин 170–225 м. Поверхности раздела акустических сред характеризуются областями потери сплошности. К этим участкам приурочены зоны разрывных нарушений, которые отвечают точкам перегиба рельефа земной поверхности. Так, на 20–50 м профиля наблюдается группа разрывов, достигающих глубины 280 м. Эти нарушения приурочены к границе северного ромбоэдра, которая в рельефе выражена заболоченной ложбиной. Таким образом, граница ромбоэдра пред-

ставлена разрывным тектоническим нарушением, к нему же примыкает уступ 6.

С зоной разлома 3, которая является и границей южного ромбоэдра, совпадает долина ручья с крутым северо-западным склоном. Здесь на 200–250 м профиля имеется система разрывных нарушений, пронизывающих весь разрез. Амплитуда прогиба по поверхности фундамента составляет 50 м. Таким образом, разлом 3 является долгоживущим и активизированным в новейшее время.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сильные инструментальные и исторические землетрясения в этом районе не зарегистрированы, однако история Санкт-Петербурга охватывает чуть более 300 лет. Известно, что период повторяемости сильных землетрясения с магнитудой более 6 в ближайших Западно-Ладожской и Вуоксинской зонах составляет 2000–3000 лет (Никонов, Шварев, 2015).

Выше оценка магнитуд проводилась по величине максимального смещения пород (параметр

D_{\max}) в канавах, вскрывших уступы, этот метод считается более надежным. В то же время для оценки палеомагнитуд используют метод определения длины (параметр L) поверхностных разрывов, при котором длина разрыва пропорциональна силе вызвавшего его землетрясения (Палеосейсмология, 2011).

На площади работ обнаружен сейсмогенный поверхностный разрыв длиной 4.3 км, включающий ряд пологих уступов 21(Е), 16, 17(F), 18(G), 25(Н), 32(М) (рис. 1). Оценка магнитуды по длине разрыва здесь составит 5,8М. Кроме того, выделен разрыв длиной 1.9 км, проходящий через крутые уступы 20(В), 37, 38, 40(Н). Действительно, расчетные магнитуды по длинам разрывов значительно ниже, чем магнитуды по величинам перемещения пород.

Но как считает Чипизубов (2009), “что касается палеосейсмодислокации, представленной отдельными фрагментами, то ее сохранившаяся общая длина определенно меньше возникшей при землетрясении. Поэтому параметр D_{\max} должен отражать величину землетрясения намного ближе к истинной, поскольку в сохранившихся фрагментах палеосейсмодислокаций ее можно установить”.

Как ранее показал автор (Неволин, 2015), Юкки-Токсовская зона имеет характер правого сдвига и является частью Балтийско-Мезенской зоны. Балтийско-Мезенская сдвиговая зона, как долгоживущая структура, испытывала несколько стадий активизации с образованием сейсмодислокаций и горизонтов сейсмиков, в том числе и на новейшем этапе, в голоцене (Колодяжный, 2020а).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Выделен район, примыкающий к Санкт-Петербургу, где предполагается возникновение сильных землетрясений в голоцене.

Обнаружены палеосейсмодислокации, что указывает на сейсмическую активность Юкки-Токсовской зоны разломов в позднем и среднем голоцене.

Исследование сейсмогенных уступов позволяет оценить силу землетрясений позднего и среднего голоцена данного района соответственно в 7.0–7.2М и 6.7–6.8М.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит директора фирмы “Геофизпрогноз” А.Г. Гликмана за проведение спектрально-сейсморазведочного профилирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аптикаев Ф.Ф., Воронков О.К., Моторин Г.А., Никонов А.А., Эртелева О.О. Оценка сейсмических воздействий при строительстве особо ответственных объектов в г. Санкт-Петербурге // Инженерные изыскания. 2011. № 10. С. 4–18.

Бискэ Ю.С., Сумарева И.В., Шитов М. В. Позднеголоценовое сейсмическое событие в юго-восточном Приладожье. 1. Принципы исследования и деформационные текстуры // Вестн. ЛГУ, сер. 7, геология и география. 2009. № 1. С. 3–25.

Геодинамические реконструкции. Л. Недра, 1989, 278 с.

Гликман А.Г. Применение спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП) для картирования месторождения полезных ископаемых // Региональная геология и металлогения. 2001. № 13–14. С. 34–44.

Колодяжный С.Ю. и др. Структурно-кинематические парагенезисы и динамическая модель Балтийско-Мезенской сдвиговой зоны в фанерозое, Северо-запад Восточно-Европейской платформы // Геотектоника, 2020. № 2. С. 48–72.

Лунина О.В., Гладков А.С. Граничные условия связи параметров землетрясений и кластических даек сейсмогенного генезиса (по мировым данным) // Докл. АН. 2017. Т. 476. № 1. С. 68–71.

Неволин С.Н. Обнаружение активных разломов земной коры в окрестностях Санкт-Петербурга по материалам космической съемки // Докл. АН. 2015. Т. 462. № 2. С. 190–196.

Никонов А.А., Шварев С.В. Активные разломы и очаги сильнейших землетрясений восточной Фенноскандии. Активные разломы и их значение для оценки сейсмической опасности // Мат. 19 науч.-практич. конференции / Ред. Е.А. Рогожин. Воронеж, 2014. С. 275–279.

Никонов А.А., Шварев С.В. Сейсмолинементы и разрушительные землетрясения в российской части Балтийского щита: новые решения для последних 13 тысяч лет // Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности. Мат. межд. конф. Нерюнгри, 2015. С. 243–251.

Стром А.Л., Никонов А.А. Распределение смещений вдоль сейсмогенных разрывов и учет неравномерности подвижек при палеосейсмологических исследованиях // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С. 47–59.

Чипизубов А.В., Смекалин О.П., Семенов Р.М., Имаев В.С. Палеосейсмичность Прибайкалья // Вопросы инженерной сейсмологии. 2009. Т. 36. № 1. С. 7–22.

Шитов М.В., Бискэ Ю.С., Сумарева И.В. Позднеголоценовое сейсмическое событие в юго-восточном Приладожье. 2. Параметры. // Вест. СПбГУ. С.7. 2010. № 3. С. 18–28.

Revealing Paleoseismic Dislocations in the St. Petersburg Region Based on Remote Sensing Data

S. N. Nevolin

ООО "ЭкспертГаз", St. Petersburg, Russia

The intensity of paleoearthquakes in the territory was estimated by two methods: maximum displacement of Quaternary rocks by ruptures and by the parameters of clastic dikes of seismogenic genesis. Based on the use of archival materials from space surveys and Google Earth images, a method for searching for paleoseismic dislocations is substantiated. Searches for seismic manifestations within the Yukka-Toksovskaya fault zone were carried out. 40 seismogenic scarps were discovered, some of them were opened by ditches. The study of the scarps makes it possible to estimate the strength of the earthquakes of the late and middle Holocene in this area, respectively, at 7.2 and 6.8 magnitudes. The deep structure of the area of concentration of paleoseismic dislocations has been studied by the method of spectral-seismic profiling.

Keywords: active faults, remote sensing, earthquakes, magnitude, paleoseismic dislocations, spectral-acoustic measurements

REFERENCES

- Aptikaev F.F., Voronkov O.K., Motorin G.A., Nikonov A.A., Ehrteleva O.O.* Otsenka seismicheskikh vozdeistvii pri stroitel'stve osobo otvetstvennykh ob'ektov v g. Sankt-Peterburge [Assessment of seismic impacts during the construction of critical facilities in St. Petersburg] // *Inzhenernye izyskaniya*. 2011. № 10. P. 4–18.
- Biske Yu.S., Sumareva I.V., Shitov M.V.* Pozdnegolotsenoe seismicheskoe sobytie v yugo-vostochnom Priladozh'e. 1. Printsipy issledovaniya i deformatsionnye tekstury [Late Holocene seismic event in the southeastern Ladoga area. 1. Research principles and deformation textures] // *Vestn. LGU. Ser. 7. geologiya i geografiya*. 2009. № 1. P. 3–25.
- Geodinamicheskie rekonstruktsii [Geodynamic reconstruction]. L.: Nedra, 1989. 278 p.
- Glikman A.G.* Primenenie spektral'no-seismorazvedochnogo profilirovaniya (SSP) dlya kartirovaniya mestorozhdeniya poleznykh iskopaemykh [Application of spectral seismic profiling (SSP) for mapping mineral deposits] // *Regional'naya geologiya i metallogeniya*. 2001. № 13–14. P. 34–44.
- Kolodyazhnyi S.Yu. i dr.* Strukturno-kinematicheskie paragenezisy i dinamicheskaya model' Baltiisko-Mezenskoj sdvigovoi zony v fanerozoie, Severo-zapad Vostochno-Evropeskoj platformy [Structural-kinematic paragenezes and dynamic model of the Baltic-Mezen strike-slip zone in the Phanerozoic, Northwest of the East European platform] // *Geotektonika*. 2020. № 2. P. 48–72.
- Lunina O.V., Gladkov A.S.* Granichnye usloviya svyazi parametrov zemletryaseni i klasticheskikh daek seismogennogo genezisa (po mirovym dannym) [Boundary conditions for the relationship between the parameters of earthquakes and clastic dikes of seismogenic genesis (according to world data)] // *Dokl. AN*. 2017. T. 476. № 1. P. 68–71.
- Nevolin S.N.* Obnaruzhenie aktivnykh razlomov zemnoi kory v okrestnostyakh Sankt-Peterburga po materialam kosmicheskoi s'emki [Detection of active faults in the earth's crust in the vicinity of St. Petersburg based on satellite imagery] // *Dokl. AN*. 2015. T. 462. № 2. P. 190–196.
- Nikonov A.A., Shvarev S.V.* Aktivnye razlomy i ochagi sil'neishikh zemletryaseni vostochnoi Fennoskandii. Aktivnye razlomy i ikh znachenie dlya otsenki seismicheskoi opasnosti // *Mat. 19 nauch.-praktich. konferentsii* [Active faults and foci of the strongest earthquakes in eastern Fennoscandia. Active faults and their importance for seismic hazard assessment. Mat. of 19th scientific-practical conference] / Red. E.A. Rogozhin. Voronezh, 2014. P. 275–279.
- Nikonov A.A., Shvarev S.V.* Seismolineamenty i razrushitel'nye zemletryaseniya v rossiiskoi chasti Baltiiskogo shchita: novye resheniya dlya poslednikh 13 tysyach let // *Geologo-geofizicheskaya sreda i raznoobraznye proyavleniya seismichnosti. Mat. mezhd. konf. Neryungri* [Seismic lineaments and destructive earthquakes in the Russian part of the Baltic Shield: new solutions for the last 13 thousand years // Geological and geophysical environment and various manifestations of seismicity. Mat. of int. conf. Neryungri]. 2015. P. 243–251.
- Strom A.L., Nikonov A.A.* Raspredelenie smeshchenii vdol' seismogennykh razryvov i uchet neravnomernosti podvizhek pri paleoseismologicheskikh issledovaniyakh [Distribution of displacements along seismogenic faults and taking into account the non-uniformity of displacements in paleoseismological studies] // *Vulkanologiya i seismologiya*, 1999. № 6. P. 47–59.
- Chipizubov A.V., Smekalin O.P., Semenov R.M., Imaev V.S.* Paleoseismichnost' Pribaikal'ya [Paleoseismicity of the Baikal region] // *Voprosy inzhenernoi seismologii*. 2009. T. 36. № 1. P. 7–22.
- Shitov M.V., Biske Yu.S., Sumareva I.V.* Pozdnegolotsenoe seismicheskoe sobytie v yugo-vostochnom Priladozh'e. 2. Parametry [Late Holocene seismic event in the southeastern Ladoga area. 2. Parameters] // *Vestn. SPBGU. Ser. 7*. 2010. № 3. P. 18–28.