ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПОЛЯ Г. СЫКТЫВКАРА

А. Н. Вихоть

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
vikhota.anna@mail.ru

В основе проведенного исследования лежат данные вибросейсмической съемки на урбанизированной территории Сыктывкара. Определены участки пересечения зон сверхнормативных значений виброскорости и виброускорения. В пределах таких зон велика вероятность последствий вибрационного воздействия в виде осадков фундамента зданий в слабых и плотных грунтах до 2 мм/год. Зарегистрированы максимальные среднеквадратичные значения виброускорения: по компоненте $x — 0.254 \text{ м/с}^2$, $y — 0.207 \text{ м/с}^2$, $z — 0.622 \text{ м/с}^2$ — и виброскорости: по компоненте $x — 1.195 \times 10^{-3} \text{ м/с}$, $y — 7.54 \times 10^{-3} \text{ м/с}$, $z — 1.318 \times 10^{-3} \text{ м/с}$. Указанные значения неоднократно выше нормативных. На схемах перемещения выделено 3 участка с высоким градиентом затухания колебаний. В результате внесены дополнения в схему сейсмического микрорайонирования г. Сыктывкара с точки зрения геоэкологических условий города по части вибросейсмической нагрузки на грунты — основания зданий. Эти условия создают дополнительное приращение к амплитуде возможных землетрясений. Сделано заключение о трансформации экологического состояния геологической среды в отмеченных зонах в условиях плотной городской застройки.

Ключевые слова: *вибрационное поле, вибросейсмическая съемка, геологическая среда, геоэкологические условия, урбанизированные территории.*

CHANGES OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE URBANIZED TERRITORY FROM THE INFLUENCE OF THE TECHNOGENIC GEOPHYSICAL FIELD OF SYKTYVKAR

A. N. Vikhot

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The study is based on the data of vibroseis survey in the urbanized area of Syktyvkar. Areas of above-norm velocity and acceleration vibration values zones intersection were determined. The vibrational impact consequences probability is high in the form of building base settlement up to 2 mm / year in weak and dense soils within such areas. The vibration acceleration maximum rms-root mean square values were recorded: for the component $x — 0.254 \text{ m/s}^2$, $y — 0.207 \text{ m/s}^2$, $z — 0.622 \text{ m/s}^2$; and vibration speed: for the component $x — 1.195 \times 10^{-3} \text{ m/s}$, $y — 7.54 \times 10^{-3} \text{ m/s}$, $z — 1.318 \times 10^{-3} \text{ m/s}$. These values are repeatedly higher than the normative ones. 3 areas with a high vibration damping gradient were contoured on the displacement schemes. As a result, additions were itemized to the Syktyvkar seismic microzoning map from the geoecological city conditions viewpoint in terms of vibroseis load on buildings foundation soils. These conditions create an additional increment to the amplitude of possible earthquakes. We made conclusion about the ecological geological environment state transformation in the contoured zones in restrained urban conditions.

Keywords: *vibroseis field, vibroseis survey, geological environment, geoecological conditions, urbanized area.*

Введение

Природные и техногенные геофизические поля тесно взаимодействуют друг с другом в геологической среде, в некоторой степени вызывая трансформацию геофизической экологической функции верхней части литосферы (первые десятки метров от земной поверхности). В условиях современной интенсивной урбанизации в части геоэкологических исследований особенное внимание заслуживает энергетически увеличивающееся вибрационное поле, которое формируется на территории городов. В данном случае источниками колебаний являются любые виды движущегося транспорта, машины и механизмы, строительная техника, промышленные предприятия и многие другие. Сила излучаемых ими вибраций аналогична землетрясениям 3—7 баллов на расстоянии в среднем до 25—40 м от источника колебаний [1]. Такое физическое загрязнение, осуществляющееся длительное время, может приводить к негативным изменениям в окружающей среде и, как следствие — к качественному изменению объектов техносферы, в частности инженерных сооружений с внешними проявлениями

в виде трещин на стыках панельных плит и в кирпичной кладке вследствие перераспределения напряжений в узлах строительных конструкций. При продолжительном действии вибрационных нагрузок основная опасность для геологической среды, в частности для грунтов в основаниях фундаментов зданий, и самих строительных конструкций исходит на расстоянии от источника в ближней зоне (5—12 м) при распространении объемных волн, в дальней зоне (от 100 м) при преобладающем распространении поверхностных волн. Наша работа ориентирована на изучение уровня воздействия микросейсмического поля техногенного происхождения на геологическую среду и частично на инициирование преждевременных деформаций и осадков зданий на примере Сыктывкара. Также составленные в 2000 г. В. А. Лютоевым карты-схемы сейсмического микрорайонирования города [7] требуют некоторых дополнений с точки зрения изучения воздействия повышения амплитуд микросейсмических колебаний природно-техногенного происхождения на грунты-основания зданий. Район исследований выбран не случайно: около 70 % территории городской застройки находится в условиях по-

вышенной вибронагрузки [2] при урбанизированности 22.95 % и при росте численности населения около 1 тыс. человек в год. В плане сейсмического районирования город находится в семибальной плейсто-сейстовой области Кировско-Кажимской сейсмогенной зоны [8]. Также здесь немаловажным фактором является увеличивающаяся нагрузка на грунты вследствие сноса малоэтажных аварийных домов и строительства на освобожденных территориях зданий повышенной этажности. В таком случае изменяются не только физико-механические и несущие свойства грунтов, но и геологическая среда, которая выступает носителем избыточной энергии колебаний, в результате чего претерпевает качественные изменения в неблагоприятную сторону.

Геологические и геоэкологические условия района исследований

В пределах района исследований строение верхней части геологического разреза представлено осадочными породами мезозойской группы: нижнего триаса, средней-верхней юры и четвертичными отложениями, которые представлены неоплейстоценовыми и голоценовыми осадками. В основании разреза залегают отложения чирвинского ($Q_{II}^{1\check{c}}$) и помусовского (Q_{I}^{6pm}) межледниковья [14]. Далее прослеживаются два ледниковых горизонта: вычегодский ($Q_{II}^{4v\check{c}}$) и печорский ($Q_{II}^{2p\check{c}}$) и разделяющий их межледниковый родионовский (Q_{II}^{3r}). Верхняя часть неоплейстоцена сложена аллювиальными и озерно-аллювиальными отложениями II и III надпойменных террас рек Вычегды и Сысолы. Голоцен представлен пойменными аллювиальными осадками, отложениями I надпойменной террасы рек, долин мелких водотоков и болот (рис. 1). Мощность отложений до 60—87 м [13].

По гидрогеологическому районированию территория исследований расположена в пределах Камско-Вятского бассейна подземных вод [10]. Основные водоносные горизонты: локально-водоупорный печорский горизонт ($lgPr\check{c}$), локально-водоносный печорский горизонт ($gPr\check{c}$), водоносный чирвинский горизонт ($aII\check{c}$, $laII\check{c}$), водоносный среднелепесточный-голоценовый горизонт ($aIII-IV$) (рис. 1). Постоянные горизонты грунтовых вод приурочены к русловым аллювиальным и ледниковым отложениям. К флювиогляциальным отложениям водоразделов и аллювиальным отложениям террас привязаны сезонно-водоносные горизонты.

В целом экологическая обстановка в Сыктывкаре оценивается как удовлетворительная [12]. Основным источником техногенного загрязнения геологической среды является промышленно-селитебная агломерация города. Что касается микросейсмических наблюдений, то фоновые значения амплитуд колебаний, зарегистрированных в ночное время, для города не опасны и составляют для горизонтальных компонент 2×10^{-9} м, для вертикальной — 10^{-9} м [7]. В пределах селитебной зоны точно эти показатели могут меняться в десятки раз в сторону увеличения, например вблизи крупного предприятия «Монди Сыктывкарский лесопромышленный комплекс» [3]. Региональные землетрясения в пределах

Рис. 1. Схема инженерно-геологических условий района г. Сыктывкара [13]:

1 — числитель — геологический индекс первого от поверхности стратиграфо-генетического комплекса, знаменатель — индекс второго комплекса, его мощность (м), знак дроби — литологический состав второго комплекса:

..... — пески, — o — — суглинки валунные, — — глины; глубина залегания грунтовых вод: состав и мощность (м) отложений первых от поверхности стратиграфо-генетических комплексов: 2 — пески, >10; 3 — пески, <10; 4 — суглинки, >5; 5 — суглинки, <5; 6 — суглинки валунные, >10; 7 — суглинки валунные, <10; 8 — суглинки с прослоями и линзами песков и супесей, >10; 9 — суглинки с прослоями и линзами песков и супесей, 5—10; 10 — территория вибросейсмической съемки

Fig. 1. Scheme of engineering-geological conditions of the Syktyvkar area [13]:

1 — numerator — a geological index of the first genetic stratigraphic sequence from a surface, denominator — an index of the second sequence, its thickness (m), fraction bar — a lithological composition of the second sequence:

..... — sands; — o — — boulder loams; — — clays; groundwater depth: sediments composition and thickness of (m) of first genetic stratigraphic sequences from a surface: 2 — sands, >10; 3 — sands, <10; 4 — loams, >5; 5 — loams, <5; 6 — boulder loams, >10; 7 — boulder loams, <10; 8 — loams with bands and lans of sands and sandy loams, >10; 9 — loams with bands and lans of sands and sandy loams, 5—10; 10 — vibroseis survey area

эпицентрального расстояния регистрируются эпизодически [11]:

— Ракпасское землетрясение, 17 сентября 2004 г., Княжпогостский район Республики Коми, к северу от Сыктывкара на 103—123 км: пгт. Емва, пос. Ракпас, пос. Тракт; интенсивность — 5.5 баллов, магнитуда — 3.9;

— Койгородское землетрясение, 22 сентября 2008 г., с. Койгородок Республики Коми к югу от Сыктывкара на 137 км, и Сыктывдинский район, также к югу до 50 км; магнитуда — 3.3;

— 19 января 2011 г., Корткеросский район Республики Коми, к северо-востоку от Сыктывкара на 20 км; магнитуда — 2.6;

— Первомайское землетрясение, 25 апреля 2011 г., Койгородский район Республики Коми, к югу от Сыктывкара, точное расстояние неизвестно; магнитуда — 2.3.

Техногенные землетрясения на территории Сыктывкара не были зарегистрированы более 50 лет. В 1968 г. в долине р. Сысолы, примыкающей к городской черте, сошел большой оползень блокового типа с объемом грунта 100 тыс. м³. Сила сотрясения была аналогичной землетрясению магнитудой 1.7 [16].

Методы исследований и аппаратное обеспечение

В системе наблюдений «грунт — сооружение» при регистрации вибродинамической нагрузки является достаточной регистрация амплитуды перемещения и/или ее производных — амплитуд виброскорости или виброускорения. Возможность использования сейсмометрических методов для оценки уровня вибрационных воздействий на грунты — основания зданий объясняется наличием связи между их сейсмическими параметрами и инженерно-геологическими свойствами [9]. Но не стоит упускать из внимания тот факт, что в региональных геологических и климатических условиях проявление усталостных повреждений зданий может быть связано с суффозией, вспучиванием грунта при отрицательных температурах воздуха и другими явлениями.

В зарубежной и отечественной литературе, строительных нормах и правилах основными параметрами допускаемой величины вибрации являются пиковое и среднеквадратичное значения виброскорости. При значениях виброускорения колебаний ≥ 0.03 м/с² [6, 17] и виброскорости $\geq 0.31 \times 10^{-3}$ м/с [15] считается, что окружающая среда находится в зоне экологического риска в условиях повышенных вибрационных нагрузок. При вибрациях со значениями виброскорости $(0.4\text{—}1.2) \times 10^{-3}$ м/с уже происходят сверхнормативные осадки фундамента зданий, возникают повреждения в старых зданиях, а при значениях скорости $(5\text{—}8) \times 10^{-3}$ м/с возможны серьезные повреждения зданий с бетонными перекрытиями [5]. Параметры амплитуд перемещения и характер их затухания несут информацию о возможности проявления деструкционных последствий в конструкциях зданий: если на схеме вибросейсмических параметров амплитуда затухания колебаний на том или ином участке незначительна, то ввиду высоких значений упругих сил восстановления первоначальных прочностных параме-

тров геологической среды негативные изменения от воздействия вибросейсмических колебаний не произойдут.

Все измерения проводились в частотном диапазоне 0.3—200 Гц в соответствии с ГОСТом [6]. Применялась 24-разрядная цифровая сейсмическая станция ZET 048-С. Как отмечено выше, оценочными параметрами являлись пиковые значения скорости, ускорения и перемещения волн сдвига, т. к. именно они влияют на несущие свойства грунтов. Измерения проводились в направлении трех взаимно перпендикулярных осей x , y (имели горизонтальные направления NS и EW соответственно) и z (направление вертикально вниз). Обработка сигналов осуществлялась с применением программы ZETLab SEISMO, а именно: в ходе работы регистрировались значения виброускорения, параметры виброскорости и виброперемещения были получены автоматически расчетным путем. В связи с плотностью застройки города и расположением зданий шаг измерений составлял от 20 до 200 м.

При интерпретации соотношений данных вибросейсмической съемки будем опираться на сводную таблицу А. Д. Жигалина и Г. П. Локшина [5], в которой приведены последствия вибрационного воздействия на грунтовую толщу и инженерные сооружения по соотношению среднеквадратичных значений виброскорости и виброускорения по Восточно-Европейской платформе. Эти соотношения будем принимать во внимание с учетом геологических и других условий района исследований.

Результаты

На схемах изображения пиковых значений амплитуды виброускорения способом изолиний превышение значения 0.03 м/с² более всего по площади отображено по компоненте z и менее всего по компонентам x и y (рис. 2). Соответствующие максимальные значения: $Az_{\max} = 0.622$ м/с², $Ax_{\max} = 0.254$ м/с², $Ay_{\max} = 0.207$ м/с² — в разы превышают нормативные. Зоны превышения пиковых значений виброскорости $(0.31\text{—}0.4) \times 10^{-3}$ м/с существенно отображаются по компоненте y и весьма незначительно по компонентам x и z (рис. 2). Максимальные значения: $Vy_{\max} = 7.54 \times 10^{-3}$ м/с, $Vx_{\max} = 1.195 \times 10^{-3}$ м/с, $Vz_{\max} = 1.318 \times 10^{-3}$ м/с — неоднократно выше нормативных.

На рис. 3 отображены зоны со сверхнормативными значениями параметров вибросейсмических колебаний. На участках пересечения зон сверхнормативных значений виброскорости и виброускорения велика вероятность проявления последствий вибрационного воздействия в виде осадок фундаментов в слабых и плотных грунтах до 2 мм/год в соответствии с данными [5].

На схемах перемещения выделено 3 участка с высоким градиентом затухания колебаний (рис. 3). При этом участок У1 обозначается по всем трем компонентам, У2 — по одной горизонтальной (x) и вертикальной компонентам, У3 — также по одной горизонтальной (y) и вертикальной компонентам. Пиковые значения амплитуды перемещения на выделенных участках в ближней зоне зафиксированы в условиях различных значений виброускорения и виброскорости, сверх-

Рис. 2. Схема вибросейсмических параметров: ускорения (А) и скорости (V) — способом изолиний, Сыктывкар

Fig. 2. Scheme of vibroseis parameters of: acceleration (A) and speed (V) by isolines, Syktyvkar

Рис. 3. Схема вибросейсмических параметров: скорости (V) и перемещения (S) — способом изолиний, Сыктывкар:

1 — участок с высоким градиентом затухания амплитуды колебаний; 2 — пункт наблюдения на выделенном участке; 3 — зоны пересечения участков сверхнормативных значений виброскорости и вибрускорения

Fig. 3. Scheme of vibroseis parameters of: speed (V) and displacement (S) by isolines, Syktyvkar:

1 — area with high attenuation gradients of vibration; 2 — observation point on the area; 3 — intersection of excess velocity and acceleration values

Значения вибрационного воздействия на грунтовую толщу на участках с высокими градиентами затухания амплитуд колебаний, Сыктывкар

Values of vibration impact on the ground layer on areas with high attenuation gradients of vibration amplitudes, Syktyvkar

ПН	A_x , м/с ²	V_x , 10 ⁻³ м/с	S_x , 10 ⁻³ м	A_y , м/с ²	V_y , 10 ⁻³ м/с	S_y , 10 ⁻³ м	A_z , м/с ²	V_z , 10 ⁻³ м/с	S_z , 10 ⁻³ м
У1									
1	0.018	0.015	0.149	0.003	0.051	1.822	0.32 (норм. 0.03)	0.047	0.379
2	0.012	0.008	0.057	0.003	0.011	1.219	0.219 (норм. 0.03)	0.008	0.038
3	0.01	1.195 (норм. 0.4)	0.218	0.006	0.078	0.005	0.006	0.007	0.003
У2									
1	0.069 (норм. 0.03)	0.011	0.078	0.004	0.012	0.328	0.055 (норм. 0.03)	0.037	0.415
2	0.003	0.004	0.024	0.003	0.002	0.027	0.003	0.004	0.031
3	0.006	0.03	0.003	0.007	0.045	0.004	0.014	0.068	0.012
У3									
1	0.028	0.089	0.006	0.006	0.028	2.052	0.364 (норм. 0.03)	0.079	0.263
2	0.012	0.042	0.003	0.017	1.934 (норм. 0.4)	0.343	0.019	0.091	0.004
3	0.035 (норм. 0.03)	0.096	0.003	0.059 (норм. 0.03)	7.54 (норм. 0.4)	1.326	0.027	0.106	0.003

Примечание: ПН — номер пункта наблюдения; А — виброускорение; V — виброскорость; S — виброперемещение; заливкой в ячейках отмечены сверхнормативные значения параметров колебаний.

Note: ПН — number of observation point; A — vibration acceleration; V — vibration velocity; S — vibration displacement; fill in the cells marked suprastandard values of vibration parameters.

нормативных и ниже нормы. Эти значения приведены в таблице.

Сводные данные вибросейсмической съемки свидетельствуют о том, что наиболее всего негативным изменениям от воздействия вибросейсмических колебаний подвержен У3. Особенно четко это видно по компоненте у. Здесь высокий градиент затухания колебаний наблюдается наряду с повышенной вибросейсмической нагрузкой на грунты от автотранспорта и сверхнормативными значениями V_y (см. таблицу). При соотношении с инженерно-геологическими данными У3 находится в зоне геолого-генетического комплекса аллювиальных и озерно-аллювиальных отложений чирвинского, полярного, бызовского, лайского и сулинского горизонтов, в частности III надпойменной террасы р. Сысолы. Осадки представлены разнозернистыми и гравийными песками и супесями, могут присутствовать линзы и прослои глин и суглинков печорского и чирвинского горизонтов (рис. 4, а). Осложняющим фактором на данном участке считаем неглубокое залегание грунтовых вод чирвинского горизонта, местами первые метры, в виду того что с уве-

личением степени водонасыщения песков аллювиального и озерно-аллювиального генезиса динамическая устойчивость этих грунтов падает [4].

На У1 и У2, находящихся в зоне моренных, часто валунных, суглинков и супесей мощностью более 10 м (gIIpč), отмечаются редкие превышения сверхнормативных значений виброскорости и виброускорения. В целом эти отложения являются надежным основанием для фундаментов зданий, но нередко, в частности на У1 и У2, присутствует осложняющий фактор в виде включений в моренной толще водонасыщенных песков озерно-ледникового генезиса (lgIIpč). Прослой и линзы песков понижают динамическую устойчивость массива включающих их грунтов. Подстилающие осадки чирвинского горизонта (laIIč) не оказывают влияния на устойчивость грунтов — оснований зданий в виду глубокого их залегания (рис. 4, б). Аналогично проводилась интерпретация данных для района Эжвы. Выделенный на рис. 5 участок аналогично находится в зоне горизонта gIIpč мощностью до 80 м, и осложняющим фактором также выступают песчаные линзы горизонта lgIIpč.

Рис. 4. Геологические разрезы к рис. 1 [13]: а — по линии А — А1; б — по линии Б — Б1: 1 — пески; 2 — суглинки; 3 — глины четвертичного генезиса; 4 — глины дочетвертичного генезиса; 5 — уровень грунтовых вод

Fig. 4. Geological sections for fig. 1 [13]: а — by the line А — А1; б — by the line Б — Б1: 1 — sands; 2 — loams; 3 — quaternary clays; 4 — antequaternary clays; 5 — ground water level

По полученным данным вибросейсмической съемки внесены дополнения в схему микросейсмрайонирования Сыктывкара В. А. Лютоева с геоэкологической точки зрения (рис. 5): на выделенных участках неблагоприятные факторы, представленные песчаными и супесчаными отложениями, вносят свой вклад в приращение к амплитуде возможных землетрясений.

Выводы

Проведенные исследования по выбранной методике доказывают ее эффективность в получении информации о техногенном вибрационном поле города, в выделении участков, потенциально подверженных проявлению последствий от вибрационного воздействия на грунты-основания и здания. Данные позволили наглядно представить зоны пересечения участков сверхнормативных значений виброскорости и виброускорения на урбанизированной территории на

примере г. Сыктывкара. В отмеченных зонах имеет место техногенное нарушение естественных геоэкологических условий или, иными словами, нарушение экологического состояния геологической среды в районе размещения зданий в условиях плотной городской застройки. А именно под воздействием вибросейсмических нагрузок на протяженном временном интервале произошло и происходит снижение устойчивости массивов горных пород (в нашем случае несвязных грунтов) и, как следствие, увеличение риска возникновения экзогенных геологических процессов, например суффозии и оползнепроявления. Наличие таких процессов и снижение динамической устойчивости вносят свой вклад в приращение к амплитуде возможных землетрясений и их балльности и требуют дополнительного изучения в области их физико-механических и сейсмических свойств грунтов.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН №15-18-5-11.

Рис. 5. Схема микросейсмрайонирования г. Сыктывкара [8] с дополнениями А. Н. Вихоть: приращение балльности: 1 — 0.0—0.5; 2 — 0.5—1.0; 3 — 1.0—1.3; 4 — 1.3—1.5; 5 — 1.5—2.0; 6 — зоны дополнительных неблагоприятных геоэкологических факторов для приращения к амплитуде возможных землетрясений

Fig. 5. Microzonation scheme of Syktyvkar [8] with additions by A. N. Vikhot: intensity moveout: 1 — 0.0—0.5; 2 — 0.5—1.0; 3 — 1.0—1.3; 4 — 1.3—1.5; 5 — 1.5—2.0; 6 — zones of additional disadvantage geo-ecological factors for increment to the amplitude of possible earthquakes

Литература

1. Башилов И. П., Манукин А. Б., Попов Е. И. Комплекс аппаратуры для изучения деформационных процессов в геофизической среде и инженерных сооружениях // Докл. РАН. 1995. Т. 34. № 4. С. 539—541.
2. Вихоть А. Н., Лютоев В. А. Влияние гравитационных процессов и природно-техногенной микросейсмичности на геологическую среду г. Сыктывкара: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск, 2017. 22 с.
3. Вихоть А. Н. Выявление участков опасности осадочно-просадочных процессов в грунтах в условиях вибросейсмического поля урбанизированных территорий (на примере Сыктывкара) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 6. С. 20—26. doi: 10.19110/2221-1381-2017-6-20-26.
4. Вихоть А. Н. Сравнение влияния вибродинамических воздействий на несущие свойства грунтов некоторых территорий Республики Коми // Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления: Материалы всерос. науч. конф. с междунар. уч. Сыктывкар: Геопринт, 2017. С. 36—37.
5. Жигалин А. Д., Локшин Г. П. Формирование вибрационного поля в геологической среде // Инженерная геология. 1987. Вып. 8. С. 86—92.
6. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. М.: Изд-во стандартов, 2008. 16 с.
7. Лютоев В. А. Сейсмическое районирование Республики Коми и микросейсмрайонирование г. Сыктывкара: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Сыктывкар, 2000. 169 с.
8. Лютоев В. А. Сейсмогенные зоны Республики Коми и микросейсмрайонирование города Сыктывкара. Сыктывкар: Геопринт, 2001. 32 с.
9. Ляховицкий Ф. М. Инженерная геофизика. М.: Недра, 1989. 252 с.
10. Николаев Ю. Д. Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Мезенская серия. Лист Р-39 XXI. М.: Недра, 1979.
11. Носкова Н. Н., Михайлова Р. С. Республика Коми и Кировская область // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 228—238.
12. О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2016 году: Государственный доклад / Министерство промышленности, природных ресурсов, энергетики и транспорта Республики Коми, ГБУ РК «ТФИ РК». Сыктывкар, 2017. 179 с.
13. Отчет о комплексной геолого-гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:50 000 для целей мелиорации на Средне-Вычегодском массиве / В. Ф. Лапицкая, В. Б. Зарудный, А. В. Король. Сыктывкар, 1990.
14. Решение 2-го Межведомственного стратиграфического совещания по четвертичной системе Восточно-Европейской платформы / Ред. И. И. Краснов, Е. П. Заррина. Л.: ВСЕГЕИ, 1986. 156 с.
15. Трофимов В. Т., Жигалин А. Д. Трансформация геофизической экологической функции абиотических сфер земли под влиянием техногенеза и ее последствия // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2014. № 2. С. 44—49.
16. Шушкова (Вихоть) А. Н. Склонные гравитационные процессы г. Сыктывкара // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Северорусского сегмента:

Материалы 20-й науч. конф. Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 218—223.

17. BS 7385-1: 1990. ISO 4866:1990. Evaluation and measurement for vibration in buildings. BSI, 1990. 40 p.

References

1. Bashilov I. P. *Kompleks apparatury dlya izucheniya deformatsionnykh protsessov v geofizicheskoy srede i inzhenernykh sooruzheniyakh* (Equipment to study deformation processes in geophysical environment and constructions). I. P. Bashilov, A. B. Manukin, Ye. I. Popov. Doklady Earth Sciences, 1995, V. 34, No. 4, pp. 539—541.
2. Vikhot A. N. *Vliyaniye gravitatsionnykh protsessov i prirodno-tekhnogennoy mikroseymsichnosti na geologicheskuyu sredu g. Syktyvkara* (Influence of gravitation processes and natural technogenic microseismicity on geological environment of Syktyvkar City). Extended abstract of PhD dissertation. Tomsk, 2017, 22 p.
3. Vikhot A. N. *Vyyavleniye uchastkov opasnosti osadochno-prosadochnykh protsessov v gruntakh v usloviyakh vibroseysmicheskogo polya urbanizirovannykh territoriy (na primer Syktyvkara)* (Identification of hazardous areas of sedimentary-subsidence processes in soils under the conditions of a vibroseis field of urbanized territories (on the example of Syktyvkar)) A. N. Vikhot', V. A. Lyutoyev. Vestnik of institute of geology Komi SC UB RAS, 2017, No.6, pp. 20—26. doi: 10.19110/2221-1381-2017-6-20-26.
4. Vikhot A. N. *Sravneniye vliyaniya vibrodinamicheskikh vozdeystviy na nesushchiye svoystva gruntov nekotorykh territoriy Respubliki Komi* (Comparison of the influence of vibrodynamic effects on the bearing properties of soils of some territories of the Komi Republic). Geodinamika, veshchestvo, rudogenez Vostochno-yevropeyskiye platformy i yeye skladchatogo obramleniya: Proceedings of conference. Syktyvkar: Geoprint, 2017, pp. 36—37.
5. Zhigalin A. D. *Formirovaniye vibratsionnogo polya v geologicheskoy srede* (Formation of the vibrational field in the geological environment). A. D. Zhigalin, G. P. Lokshin. Inzhenernaya geologiya, 1987, 8, pp. 86—92.
6. GOST R52892-2007. *Vibratsiya i udar. Vibratsiya zdaniy. Izmereniye vibratsii i otsenka yego vozdeystviya na konstruktsiyu* (Vibration and shock. Vibration of buildings. Measurement of vibration and evaluation of its impact on the structure). Moscow: Publishing of standarts, 2008, 16 p.
7. Lyutoyev V. A. *Seysmicheskoye rayonirovaniye Respubliki Komi i mikroseymsmorayonirovaniye g. Syktyvkara* (Seismic zoning of the Komi Republic and microseis zonation of the city of Syktyvkar). Dissertation. Syktyvkar, 2000, 169 p.
8. Lyutoyev V. A. *Seysmogennyye zony Respubliki Komi i mikroseymsmorayonirovaniye goroda Syktyvkara* (Seismic zones of the Republic of Komi and microseis zonation of the city of Syktyvkar). Syktyvkar: Geoprint, 2001, 32 p.
9. Lyakhovitskiy F. M. *Inzhenernaya geofizika* (Engineering geophysics). Moscow: Nedra, 1989, 252 p.
10. Nikolayev YU. D. *Gidrogeologicheskaya karta SSSR masshtaba 1 : 200 000. Mezenskaya seriya. List R-39 XXI*. (Hydrogeological map of the USSR, scale 1: 200 000. Mezen series. Sheet P — 39 XXI). Moscow: Nedra, 1979.
11. Noskova N. N., Mikhaylova R. S. *Respublika Komi i Kirovskaya oblast'* (Komi Republic and Kirov region) Zemletryaseniya Severnoy Yevrazii (Earthquakes of North Euroasia), 2011. Obninsk: YEGS RAN, 2017, pp. 228—238.
12. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii okruzhayushchey sredy Respubliki Komi v 2016 godu»* (State report «On the state of the environment of the Komi Republic in 2016»). Ministry of Industry, Natural Resources, Energy and Transport of the Republic of Komi. Syktyvkar, 2017, 179 p.
13. *Otchet o kompleksnoi geologo-gidrogeologicheskoi i inzhenerno-geologicheskoi semke masshtaba 1:50 000 dlya tselei melioratsii na Sredne-Vychegodskom massive* (Report on complex geological and hydrogeological and engineering geological survey with scale 1:50000 for melioration in Middle Vycheгда massif). V. F. Lapitskaya, V. B. Zarudny, A. V. Korol. Syktyvkar, 1990.
14. *Resheniye 2-go Mezhdedomstvennogo stratigraficheskogo sobraniya po chetvertichnoy sisteme Vostochno-Yevropeyskoy platformy* (Decision of the 2nd Interdepartmental Stratigraphic Meeting on the Quaternary System of the East European Platform). Ed. I. I. Krasnov, Ye. P. Zarrina. Leningrad: VSEGEI, 1986, 156 p.
15. Trofimov V. T. *Transformatsiya geofizicheskoy zashchity funktsiy abioticheskikh sfer zemli pod dog tekhnogeneza i yeye posledstviya* (Transformation of the geophysical ecological function of abiotic spheres of the earth under the influence of technogenesis and its consequences). Vestnik of Moscow University, Ser. 4. Geologiya, 2014, No.2, pp. 44—49.
16. Shushkova (Vikhot') A. N. *Sklonovyye gravitatsionnyye protsessy g. Syktyvkara* (Slope gravitational processes in the city of Syktyvkar). *Struktura, veshchestvo, istoriya litosfery Timano-Severoural'skogo segmenta* (Structure, substance, history of the lithosphere of the Timan-Northern Ural segment): Proceedings of conference. Syktyvkar: Geoprint, 2011, pp. 218—223.
17. BS 7385-1: 1990. ISO 4866:1990. Evaluation and measurement for vibration in buildings. BSI, 1990, 40 p.