ВЫЯВЛЕНИЕ УЧАСТКОВ ОПАСНОСТИ ОСАДОЧНО-ПРОСАДОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В ГРУНТАХ В УСЛОВИЯХ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ СЫКТЫВКАРА)

А. Н. Вихоть, В. А. Лютоев

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

В условиях интенсивного роста уровня урбанизации окружающая среда не способна воспринять полностью поступающую в избытке энергию техногенных физических полей. Происходит нарушение естественных геоэкологических условий. В качестве района исследований выбран г. Сыктывкар. В результате исследований методом вибросейсмической съемки с привлечением геологических и гидрогеологических данных выявлены участки, наиболее подверженные воздействию повышения значений амплитуд вибросейсмических колебаний в подстилающих грунтах-основаниях зданий непосредственно в условиях плотной городской застройки.

Ключевые слова: геологическая среда, вибросейсмическая съемка, деформационные процессы.

DETECTION OF HAZARDOUS AREAS OF SETTLEMENT-SUBSIDENCE PROCESSES IN SOILS UNDER CONDITIONS OF VIBROSEIS FIELD OF URBANIZED TERRITORIES (ON THE EXAMPLE OF SYKTYVKAR)

A. N. Vikhot, V. A. Lutoev

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The environment cannot completely absorb the technogenic physical fields energy that is abundant in conditions of an intensive urbanization level growth. Natural geoecological conditions are disrupted. Syktyvkar city was chosen as a research area. Our researches by vibroseis survey method determined areas most prone to increasing vibroseis amplitudes in building foundation soil in restrained urban conditions using geological and hydrogeological data.

Keywords: geological environment, vibroseis survey, deformation processes.

Введение

В последние годы в связи с интенсивным ростом уровня урбанизации все большее внимание уделяется изучению техногенного физического загрязнения городской среды: воздушной, водной, геологической. В таких условиях окружающая среда не способна воспринять полностью поступающую энергию техногенных физических полей, поэтому избыточную энергию она «расходует» на изменение своих свойств, активизацию и поддержание экзогенных геологических процессов, таких, например, как оползни и осадки/просадки грунтов под фундаментами зданий и инженерных сооружений. Оползневые процессы в долинах рек Вычегды и Сысолы в окрестностях города и их протекание под воздействием техногенной нагрузки в виде вибросейсмических колебаний были изучены ранее [9, 12].

Среди микросейсмических волновых полей особую значимость для оценки сейсмической опасности грунтов и сооружений имеют поля техно- и эндогенного происхождения в диапазоне 1—100 Гц. Микросейсмы эндогенного происхождения в диапазоне 1—20 Гц называют региональными высокочастотными сейсмическими шумами. Источники экзогенных микросейсм искусственного, или техногенного, происхождения — это движущийся транспорт, горно-рудные предприятия, предприятия энергосистемы и т. д. Сила таких вибраций аналогична землетрясениям 3—7 баллов на расстоянии до 25—40 м от источника колебаний [2]. Поэтому выявим последствия воздействия повышения значений амплитуд микросейс-

мических колебаний в подстилающих грунтах-основаниях инженерных сооружений и коммуникаций непосредственно в условиях плотной городской застройки.

Геологические и инженерно-геологические данные

В пределах территории плотной городской застройки четвертичные отложения залегают непосредственно на породах нижнего триаса, к востоку и юго-востоку от города — на породах средней и верхней юры.

В составе четвертичных отложений выделены неоплейстоценовые и голоценовые отложения. В основании разреза залегают осадки чирвинского межледниковья, реже — помусовского горизонта. В разрезе неоплейстоцена прослеживаются два ледниковых горизонта — вычегодский и печорский, отличающихся по положению в разрезе, литологическим особенностям, текстуре, окраске. Эти горизонты относятся к двум ледниковым периодам, а разделяющие их песчано-глинистые осадки — к межледниковому родионовскому. Верхняя часть неоплейстоцена сложена аллювиальными (озерно-аллювиальными) отложениями II и III надпойменных террас рек Вычегды и Сысолы. Разрез голоцена представлен аллювиальными отложениями пойм и I надпойменной террасы рек, отложениями долин мелких водотоков и болот. Мощность отложений достигает 60—87 м*. Схема инженерно-геологических условий района исследований представлена на рис. 1.

* Отчет о комплексной геолого-гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:50 000 для целей ме-
лиорации на Средневычегодском массиве / В. Ф. Лапицкая, В. Б. Зарудный, А. В. Король. Сыктывкар, 1990.

Рис. 1. Схема инженерно-геологических условий района г.Сыктывкара*:

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 виброрейсейсмической съемки

Fig. 1. Scheme of engineering-geological conditions of the Syktyvkar area*:

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

Постоянные горизонты грунтовых вод в основном приурочены к русловому аллювию и ледниковым отложениям. К аллювиальным отложениям террас и флювиогляциальным отложениям водоразделов привязаны сезонно-водоносные горизонты, которые формируются под влиянием атмосферных осадков.

Методология

Возможность использования сейсмометрических методов для оценки степени вибрационных воздействий на грунты-основания зданий объясняется существованием связи между их сейсмическими параметрами и основными инженерно-геологическими свойствами [1, 5, 10, 11, 13].

В системе наблюдений «грунт — сооружение» при регистрации вибродинамической нагрузки является достаточным регистрация амплитуды смещения частиц и/или ее производных — амплитуд виброскорости или виброускорения [4, 7]. Однако для грунтов в настоящее время не существует однозначного критерия соотношения этих показателей, определяющего предельные значения данных параметров и зафиксированного в каких-либо нормативных документах. Также не стоит забывать, что проявление усталостных эффектов зданий может быть дополнительно связано с суффозией, вспучиванием грунта и др. явлениями. В зарубежной литературе и строительных нормах и правилах говорится о том, что основным параметром допускаемой величины вибрации являются пиковое и среднеквадратичное значения скорости. Если значение скорости колебаний 0.4×10^{-3} м/с и выше и значение амплитуды смещения и коэффициент затухания колебаний на данном участке незначительны, то ввиду высоких значений упругих сил восстановления первоначальных прочностных параметров горной породы участок явления осадки/просадки не подвержен. Более подробно алгоритм выделения таких зон как наиболее опасных, влияющих на скорость износа жилых зданий, приведен А. Н. Вихоть и В. А. Лютоевым [3]. В ISO 4866:1990 (он же ГОСТ Р52892-2007) для зданий второй категории (жилые здания и здания, имеющие аналогичную конструкцию или назначение) предельное значение виброскорости на фундаменте составляет 5 мм/с. При ускорениях, превышающих значение $0.003g$, строительные конструкции зданий и сооружений считаются эксплуатируемыми в условиях повышенных вибрационных нагрузок; при вибрациях со скоростью перемещения частиц грунта $(0.4—1.2) \times 10^{-3}$ м/с уже происходят сверхнормативные осадки фундаментов, возникают повреждения в старых зданиях, а при скорости $(5—8) \times 10^{-3}$ м/с возможны серьезные повреждения зданий с бетонными перекрытиями. Иными словами, ввиду изменения эпюры напряжения в конструкции зданий идет перераспределение моментов сил в узлах конструкции с внешними проявлениями в виде трещин на стыках панельных плит и в кирпичной кладке. В более менее полной степени А. Д. Жигалин и Г. П. Локшин (см. таблицу) приводят последствия вибрационного воздействия на грунтовую толщу и инженерные сооружения по соотношению среднеквадратичных значений виброскорости и виброускорения в целом по Восточно-Европейской платформе. На эти соотношения будем опираться при интерпретации данных виброрейсейсмической съемки.

* Отчет о комплексной геолого-гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:50 000 для целей ме-
лиорации на Средневычегодском массиве / В. Ф. Лапицкая, В. Б. Зарудный, А. В. Король. — Сыктывкар, 1990.

Последствия вибрационного воздействия на грунтовую толщу и инженерные сооружения [6]

Consequences of a vibration impact on soils and engineering constructions

Уровень вибрации Vibration level		Последствия вибрационного воздействия Consequences of vibration impact
Виброскорость Vibrospeed, 10^{-3} м/с	Виброускорение Vibroacceleration, м/с ²	
0.4	0.05	Незначительные (до 2 мм/год) осадки фундаментов зданий в слабых грунтах
1.2	0.15	Незначительные (до 2 мм/год) осадки фундаментов в плотных грунтах. Возможны легкие повреждения старых зданий
2.4	0.3	Незатухающие осадки (3—5 мм/год) фундаментов в слабых грунтах
3.0	0.4	Превышение допустимой вибрации для особо нуждающихся в виброзащите зданий
4.0	0.5	Значительные (более 5 мм/год) незатухающие осадки в слабых грунтах и незатухающие осадки (3—5 мм/год) фундаментов в плотных грунтах
5.0	0.6	При превышении этого уровня вибрации возможны повреждения зданий с деревянными перекрытиями
8.0	1.0	При превышении этого уровня вибрации возможны повреждения каменных зданий с бетонными перекрытиями
12.0	1.5	При превышении этого уровня вибрации возможны повреждения зданий из железобетона

Аппаратурное обеспечение

По ГОСТ Р52892-2007 измерения проводились в частотном диапазоне 0.3—200 Гц с помощью 24-разрядной цифровой сейсмической станции ZET 048-С. Основным оценочным параметром являлось пиковое значение скорости, измеряемое в направлении трех взаимно перпендикулярных осей x , y (имели горизонтальные направления N—S и E—W соответственно) и z (была направлена вертикально вниз). Обработка вибросейсмических сигналов осуществлялась с помощью программы ZETLab SEISMO. Блок программы «Виброметр» позволял измерять среднеквадратичные и пиковые значения ускорения, создавать виртуальные каналы мгновенных значений виброскорости и виброперемещения. Выходные сигналы для этой программы получены с трехкомпонентного акселерометра BC-1313 с максимальной возможностью измерения ускорения 10 м/с^2 при чувствительности $0.53 \text{ В/(м/с}^2\text{)}$. В блоке «Параметры спектрального анализа» были заданы настройки регистратора, что давало возможность представлять результаты расчетов по спектральной плотности, спектральной мощности, сред-

не-квадратичным и пиковым значениям (в линейном масштабе — в выбранной единице измерения, в логарифмическом — в дБ).

Результаты

По принятой в сейсмологии классификации повреждения зданий на территории г. Сыктывкара и прилегающих населенных пунктов относятся ко всем трем группам по ГОСТ Р52892-2007: легкие, умеренные и тяжелые.

Для района исследований фоновые значения амплитуд смещения грунта, зарегистрированные в ночное время для горизонтальных компонент, составляют в среднем $2 \cdot 10^{-7}$ м, для вертикальной — 10^{-7} м [8]. Это относительно небольшие значения по отношению к шумам в дневное время, поэтому регистрацию природно-техногенных микросейсм осуществляли именно в дневное время. Фоновые значения уровня микросейсм служили отправной точкой сравнения кратности увеличения шумов в дневное время. Эти значения могут меняться в сторону уве-

Рис. 2. Диаграммы уровня амплитуд ускорения шумов:

а — для горизонтальной компоненты X ; б — для вертикальной компоненты Z

Fig. 2. Diagrams of a noise acceleration amplitudes level: а — for a radial component X ; б — for a vertical component Z

личения в десятки раз. На рис. 2 приведены уровни амплитуд ускорений шумов вблизи крупного предприятия, расположенного в зоне городской застройки, в дневное и ночное время.

Кроме постоянных наведенных микросейсмических дневных и ночных шумов были зафиксированы импульсные сигналы, излучаемые объектами строительства, на которых проводились работы по забивке свай. Такие воздействия имеют кратковременный сильный характер, проявляющийся в виде высоких значений амплитуды ускорения колебаний в грунтах, и могут наносить существенный вред стоящим вблизи зданиям. В зависимости от веса молота определяется предельное расстояние, на котором могут произойти негативные последствия для окружающих зданий и инженерных сооружений. Обычно эта дистанция выдерживается до 17–21 м. Нужно учитывать также и другие факторы: продолжительность действия колебаний, частотный спектр, грунтовые условия, тип строения, тип несущего фундамента и др. На рис. 3, а приведен импульсный сигнал от удара в ближней зоне воздействия — в радиусе 20 м от источника колебаний, когда основной импульс удара, имеющий относительно низкую преобладающую частоту, распространяется в условиях наложения высокочастотных сигналов, порождаемых ответной реакцией неоднородных грунтов в зоне удара.

Рис. 3, б показывает характер изменения импульсного сигнала с увеличением расстояния: амплитуды сигнала

ла в зависимости от категории грунта имеют разный характер затухания и поглощения средой; продолжительность действия в грунте самих колебаний зависит от добротности среды. В глинах и суглинках с увеличением расстояния от источника фиксируется более сильный и длительный сигнал, чем в песчаных грунтах. Таким образом, приходим к выводу, что в несвязных грунтах возникают свои амплитудно-частотные колебания, зависящие от глинистости, водонасыщенности и других инженерно-геологических показателей.

Схема расположения пунктов наблюдения (ПН) вибросейсмической съемки центральной части города представлена на рис. 4. Графическое выражение характеристик вибрационного поля и амплитуды колебаний методом изолиний представлено на рис. 5.

Рассматривая диапазон максимальных среднеквадратичных значений пиковых ускорений (рис. 5, А), можно утверждать, что территория города повсеместно, за исключением прибрежной зоны р. Сысолы, находится в условиях повышенной вибронагрузки. Точечно сверхнормативные значения амплитуд ускорения и скорости колебаний вибрационного воздействия зарегистрированы в ПН 1, 8, 11, 14, 18, 27, 29, 32, 42, 48, 58, 77, 82, 83, 97, 129, 133, 150, 155–157, 159, 160, 177, 204, 205, 207, 209, 210. Эти участки мы относим к умеренно опасным. Здесь в случае высоких значений амплитуды смещения имеют место вибрационные воздействия стационарных источников колебаний, расположенных внутри зданий.

Рис. 3. Акселерограммы колебаний в грунтах от удара сваебойной машины:
а — на удалении 20 м от источника; б — на удалении 50 м от источника (запись по вертикальной компоненте)

Fig. 3. Accelerograms of oscillations from a piling machine impact in soils:
а — at a distance of 20 m from the source; б — at a distance of 50 m from the source (recording of a vertical component)

Рис. 4. Схема пунктов наблюдения вибросейсмической съемки, г. Сыктывкар

Fig. 4. Scheme of vibroseis survey observation points, Syktyvkar

Рис. 5. Схема вибросейсмических параметров максимальных средневзвешенных значений ускорения (А), скорости (V) и смещения грунта (S) методом изолиний, г. Сыктывкар

Fig. 5. Scheme of vibroseis parameters of the maximum root-mean-square acceleration (A), speed (V) and displacement (S) values by isolines, Syktyvkar

В ПН 65 (пересечение улиц Кирова и Горького, гости-ница «Югор») и ПН 202 (пересечение ул. К. Маркса и Октябрьского пр-та) высокие значения амплитуды смещения зарегистрированы в условиях значений виброускорения и виброскорости ниже нормативных. Такие показатели могут характеризовать природные процессы в грунтах — в нашем случае движение грунтовых вод в условиях склонов.

Максимальные средневзвешенные значения амплитуды смещения зафиксированы на следующих участках как наиболее подверженных явлениям осадки/просадки в грунтах оснований фундаментов (рис. 5, S):

1. Участок № 1, ограниченный ПН 131, 134, 135 с севера ул. Оплеснина, с юга — ул. Коммунистической, с востока — ул. Старовского, с запада — Октябрьским проспектом.

2. Участок № 2: район ПН 171–173, пересечение ул. Старовского и Димитрова.

3. Участок № 3 — ПН 13, 43, 44, район ул. Куратова между ул. Ленина и Советской.

4. Участок № 4, ограниченный ПН 1, 4, 58, 59–61 с севера ул. Свободы, с юга — ул. Орджоникидзе, с востока — ул. Ленина, с запада — ул. Кирова.

Среднеквадратичные значения амплитуды смещения на выделенных участках в ближней зоне зафиксированы в условиях различных значений виброускорения и виброскорости, сверхнормативных и ниже нормы. От соотношения этих величин зависит степень опасности явления просадки.

Сводные данные свидетельствуют о неблагоприятной геологической и/или гидрогеологической обстановке:

1) на участках № 1 и 2, находящихся в зоне геологического комплекса ледниковых отложений, которые являются надежным основанием для строительства. Они представлены супесями и суглинками. Мощность достигает 20, в редких случаях 40 м. Деформации при умеренных нагрузках имеют упругий характер, при повышенных — пластический. Модуль деформации суглинков уменьшается от легких разностей к тяжелым и составля-

ет от 77 до 237 МПа. В нашем случае осложняющим фактором служат широко развитые прослой озерно-ледниковых песчаных отложений. Степень обводненности таких участков средняя и высокая. Глубина залегания грунтовых вод менее 2 м. Модуль деформации на порядок ниже — 51–65 МПа;

2) на участках № 3 и 4, находящихся в зоне геологического комплекса аллювиальных отложений, а именно II и III надпойменных террас р. Сысолы. Данные осадки служат удовлетворительным основанием для малоэтажного строительства. Они состоят из песков и супесей со средней и высокой степенью увлажнения. Мощность — до 27 м. Угол трения/откоса в сухих песках составляет 44–49°, в водонасыщенных — 27–31°. Модуль деформации — 45–63 МПа.

Аналогично проводилась интерпретация данных для районов Орбита и Эжва.

По объединенным данным оценки рисков развития деформационных процессов в основаниях фундаментов инженерных сооружений в условиях вибросейсмического поля составлена схема зон ослабленных грунтов, подверженных осадочным/просадочным процессам вследствие воздействия вибросейсмических колебаний на грунты г. Сыктывкара и прилегающих территорий (рис. 6).

Выводы

Проведенные исследования иллюстрируют возможность применения метода вибросейсмической съемки в выделении и картировании зон грунтов в геологической среде урбанизированных территорий на примере г. Сыктывкара, в которых могут происходить и/или происходят процессы осадки/просадки фундаментов зданий и нарушения целостности строительных конструкций вследствие воздействия вибрационной нагрузки на эти грунты. К преимуществам применяемой современной геофизической аппаратуры можно отнести оперативность сбора данных и их обработки. Поэтому данный метод рекомендуется использовать как экспресс-метод для предварительной оценки устойчивости грунтов. Алгоритм получения результатов может быть использован:

— при геоэкологическом мониторинге района исследований и территорий с аналогичными условиями;

Рис. 6. Схема зон грунтов, подверженных осадочным/просадочным процессам вследствие воздействия вибросейсмических колебаний на территории г. Сыктывкара:

зоны грунтов: 1 — подверженные незначительным сверхнормативным осадкам фундаментов зданий; 2 — подверженные незатухающим значительным осадкам фундаментов зданий; 3 — главные улицы; 4 — территория вибросейсмической съемки

Fig. 6. Soils zones scheme subject to settlement/subsidence processes due to a vibroseis influence on the territory of Syktyvkar:

soils zones: 1 — subject to nonthreatening excess building bases settlements; 2 — subject to persistent threatening building bases settlements; 3 — main streets; 4 — vibroseis survey area

— при проектировании и последующем гражданском и промышленном строительстве, в частности на территории г. Сыктывкара и Республики Коми, что позволит научно обоснованно выбирать участки под строительные площадки в условиях минимальных рисков по осадке/просадке грунтов, продлить сроки эксплуатации строительных сооружений, а также в исключительных случаях в моменты землетрясений снизить балльность разрушений.

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

Литература

1. Антоновская Г. Н., Капустян Н. К., Баскина И. М. Сейсмометрические методы прогноза ударных и вибрационных воздействий на проектируемые или реконструируемые здания // Геотехнические проблемы мегаполисов: Труды Международной конференции по геотехнике. Москва, 2010. Т. 5. С. 1719—1727.
2. 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.
3. Вихоть А. Н., Лютоев В. А. Использование геофизических методов для обнаружения ослабленных зон Сыктывкара // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 4. С. 14—18.
4. Вознесенский Е. А. Энергетический подход в динамике грунтов // Вестник МГУ. 2001. Сер. 4. Геология. № 2. С. 76—78.
5. Вознюк А. Б., Капустян Н. К., Марченков А. Ю. Мониторинг грунтов оснований высотных зданий методом ветровых колебаний // Инженерно-экологические изыскания в строительстве: теоретические основы, методика, методы, практика. 2006. Вып. 8. С. 271—274.
6. Жигалин А. Д., Локшин Г. П. Формирование вибрационного поля в геологической среде // Инженерная геология. 1987. № 3. С. 86—92.
7. Капустин В. В., Монахов В. В. К вопросу об экспериментальной оценке вибрационных нагрузок на грунтовые массивы // Геотехника. 2012. № 3. С. 30—41.
8. Лютоев В. А. Сейсмическое районирование Республики Коми и микросейсмическое районирование г. Сыктывкара: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Сыктывкар, 2000. 169 с.
9. Лютоев В. А., Шушкова А. Н., Лютоева Н. В. Изучение оползней геофизическими методами // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. 2013. № 10. С. 21—23.
10. Ляховицкий Ф. М. Инженерная геофизика. М.: Недра, 1989. 252 с.
11. Острецов В. М. Высотные здания — активный элемент геологической среды города // Сергеевские чтения. 2004. Вып. 6. С. 417—421.
12. Шушкова А. Н. Распределение электрических полей внутри оползневых тел и оползневых склонов на р. Вычегде вблизи г. Сыктывкара // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. 2014. Т. 2. С. 94—96.
13. Юдахин Ф. Н., Капустян Н. К., Антоновская Г. Н. Инженерно-сейсмические исследования геологической среды и строительных конструкций с использованием ветровых колебаний зданий. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 153 с.

References

1. Antonovskaya G. N., Kapustyan N. K., Baskina I. M. *Seis-mometricheskie metody prognoza udarnykh i vibratsionnykh vozdeystvii na proektiruemye ili rekonstruirovannyye zdaniya* (Seismometric methods of prediction of impact and vibrational influence on projected or re-constructed buildings). *Geotekhnicheskie problemy megapolisov* (Geotechnical problems of megapolises): Proceedings. Moscow, 2010, V. 5, pp. 1719—1727.
2. Bashilov I. P., Manukin A. B., Popov E. I. *Kompleks apparatury dlya izucheniya deformatsionnykh protsessov v geofizicheskoi srede i inzhenernykh sooruzheniyah* (Complex of devices for study of deformation processes in geophysical environment and engineering constructions). *Dokl. RAN*. 1995, V. 34, No. 4, pp. 539—541.
3. Vihot A. N., Lyutov V. A. *Ispolzovanie geofizicheskikh metodov dlya obnaruzheniya oslablennykh zon Syktyvkara* (Application of geophysical methods for determination of weakened zones of Syktyvkar). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2015, No. 4, pp. 14—18.
4. Voznesenskii E. A. *Energeticheskii podhod v dinamike gruntov* (Energy approach in soil dynamics). *Vestnik MGU*, 2001, 4, *Geologiya*, No. 2, pp. 76—78.
5. Voznyuk A. B., Kapustyan N. K., Marchenkov A. Yu. *Monitoring gruntov osnovanii vysotnykh zdaniy metodom vetrovykh kolebaniy* (Monitoring of foundation soils of high buildings by the method of wind oscillations). *Inzhenerno-ekologicheskie izyskaniya v stroitelstve: teoreticheskie osnovy, metodika, metody, praktika* (Engineering ecological researches in building: theory, methods, practice). 2006, No. 8, pp. 271—274.
6. Zhigalin A. D., Lokshin G. P. *Formirovanie vibratsionnogo polya v geologicheskoi srede* (Formation of vibration field in geological environment). *Inzhenernaya geologiya*. 1987, No. 3, pp. 86—92.
7. Kapustin V. V., Monahov V. V. *K voprosu ob eksperimentalnoi otsenke vibratsionnykh nagruzok na gruntovye massivy* (Experimental assessment of vibration loads on soil massifs). *Geotekhnika*, 2012, No. 3, pp. 30—41.
8. Lyutov V. A. *Seismicheskoe raionirovanie Respubliki Komi i mikroiseimirovanie g. Syktyvkara* (Seismic zoning of Komi Republic and microzoning of Syktyvkar City). PhD Dissertation, Syktyvkar, 2000, 169 pp.
9. Lyutov V. A., Shushkova A. N., Lyutova N. V. *Izuchenie opolznei geofizicheskimi metodami* (Researches of landslides by geophysical methods). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2013, No. 10, pp. 21—23.
10. Lyahovitskii F. M. *Inzhenernaya geofizika* (Engineering geophysics). Moscow: Nedra, 1989, 252 pp.
11. Ostretsov V. M. *Vysotnye zdaniya — aktivnyi element geologicheskoi sredy goroda* (High buildings — active element of geological environment of city). *Sergeevskie chteniya*, 2004, No. 6, pp. 417—421.
12. Shushkova A. N. *Raspredelenie elektricheskikh polei vnutri opolznevykh tel i opolznevykh sklonov na r. Vychegde vblizi g. Syktyvkara* (Distribution of electrical fields inside landslide bodies and slopes on Vychegda river near Syktyvkar City). *Geologiya i mineralnye resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii* (Geology and mineral resources of European North-East of Russia). 2014, V. 2, pp. 94—96.
13. Yudahin F. N., Kapustyan N. K., Antonovskaya G. N. *Inzhenerno-seismicheskie issledovaniya geologicheskoi sredy i stroitelnykh konstrukttsii s ispolzovaniem vetrovykh kolebaniy zdaniy* (Engineering-seismic researches of geological environment and building constructions with use of wind oscillations of buildings). *Ekaterinburg: UB RAS*, 2007, 153 pp.