

УДК 624.131

DOI: 10.23671/VNC.2015.1.55233

УТОЧНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСЕЙСМ (НА ПРИМЕРЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ)

© 2015 Заалишвили В.Б., д.ф.-м.н., проф., Джгамадзе А.К., Мельков Д.А.,
к.т.н., Дзеранов Б.В., к.г.-м.н., Габараев А.Ф., Габеева И.Л., Дзэбоев Б.А.,
Кануков А.С., Шепелев В.Д.

Геофизический институт ВНЦ РАН, Россия, 362002,
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а

Карты инженерно-геологического районирования являются основой для проведения работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР). Результаты инженерных изысканий позволяют формировать карты инженерно-геологического районирования. В последние годы, целенаправленные детальные изыскания для целей СМР рутинных урбанизированных территорий из-за отсутствия необходимого финансирования, как правило, не проводятся. Большой частью для решения проблемы используются результаты прошлых изысканий для различного рода проектируемых зданий и сооружений, разнесенные по времени. В работе предлагается использовать способ регистрации микросейсм, позволяющий достаточно надежно дифференцировать участки с различными грунтовыми условиями. При необходимости разрезы уточняются сейсморазведочными методами.

В результате проведения исследований современными геофизическими методами подобным образом были уточнены карты инженерно-геологического районирования гг. Владикавказ, Беслан, Ардон и Алагир.

Ключевые слова: инженерно-геологическое районирование, категории грунтов, скорости сейсмических волн, микросейсм.

ГФИ ВНЦ РАН, начиная с 2009 года, активно проводит работы по составлению карт инженерно-геологического районирования населенных пунктов Республики Северная Осетия-Алания, как основы сейсмического микрорайонирования. Уже составлены карты территорий гг. Владикавказ, Беслан, Ардон, Алагир, Дигора.

Проведенные исследования являются одним из разделов (этапов) «Работы по обследованию и паспортизации территорий, разработке стратегий реализации дополнительных мероприятий по повышению защищенности объектов массовой застройки». Проведен анализ большого количества освещающих эту проблему печатных и фондовых материалов и имеющихся в них физико-механических анализов.

В соответствии с принципами крупномасштабного инженерно-геологического картирования, материалы исследований, составляющие инженерно-геологическую основу карты сейсмического микрорайонирования, были представлены в виде набора карт, содержащих информацию, необходимую и достаточную для выделения однородных в инженерно-сейсмогеологическом отношении территориальных единиц.

В состав инженерно-геологических исследований вошли: сбор и обобщение материалов прошлых лет, комплексная инженерно-геологическая съемка соответ-

ствующего масштаба, включающая инженерно-геологическое рекогносцировочное обследование территории, а также камеральные и картосоставительские работы.

В результате работ по сбору и систематизации материалов исследований прошлых лет был составлен комплект инженерно-геологических разрезов и карт, отражающих различные аспекты строения районированных территорий.

Поскольку вся информация, собранная и далее обработанная, послужившая основой для построения карт инженерно-геологического районирования, в свое время не предназначалась для нашей конечной цели – сейсмического микрорайонирования территорий, полнота материалов, характеризующих горных пород при проходке горных выработок различных назначений, не всегда отвечала современным требованиям для создания карт сейсмического микрорайонирования территорий.

На рис. 1-4 приводятся карты инженерно-геологического микрорайонирования гг. Владикавказ, Беслан, Ардон и Алагир, созданные по результатам обработки фондовых материалов.

В процессе работы было выявлено отсутствие детальности в данных для построения карты инженерно-геологического районирования. В частности, содержание песчано-глинистого заполнителя было указано только для ряда скважин. С 2009-го по 2013 год ГФИ ВНИЦ РАН проводились работы по уточнению инженерно-геологических условий территорий указанных городов республики современными геофизическими методами: сейсморазведки методом преломленных волн и спектральных Н/V-отношений по записям микросейсм.

Из существующих инструментальных способов, позволяющих в кратчайшие сроки обследовать значительную площадь территории, таким является способ микросейсм.

Согласно РСН 65-87 способ микросейсм считается вспомогательным. Действительно, амплитудный уровень микросейсмических колебаний в значительной степени определяется близостью к источникам колебаний и временем записи.

Анализ вариация максимальных амплитуд микросейсм на сейсмических станциях сети «Владикавказ» показывает суточные колебания уровня сейсмических шумов: наибольшие амплитуды наблюдаются в полдень, минимальные в период с полуночи до шести часов утра. Особенно четко отмечается на вертикальной компоненте снижение уровня микросейсм в выходные дни.

В то же время способ, основанный на записи микросейсм и построении спектральных Н/V отношений, в настоящее время используется во многих работах для определения собственных частот колебаний грунтовой толщи.

Суть метода заключается в записи вертикальных и горизонтальных компонент микросейсм. Спектральное отношение горизонтальной к вертикальной компоненте (Н/V) позволяет определить собственную частоту колебаний грунтовой толщи (Заалишвили, 1997, 2000), [Заалишвили, 2009; Nakamura, 1989; Duval et al., 1998;]. Предполагается, что микросейсм создаются поверхностными источниками, которые возбуждают в основном волны Рэлея. В горизонтальной структуре поляризация этих волн полностью зависит от частоты и максимальна для резонансной частоты толщи [Duval et al., 1994].

В процессе выполнения работы по сейсмическому микрорайонированию на территории г. Владикавказа были выполнены записи микросейсмических колебаний в различных участках города. Регистрация микросейсм производилась тремя мобильными сейсмическими станциями включающими регистраторы сейсмиче-

ских сигналов (РСС) «Дельта-Геон-02М», сейсмоприемники СК-1П и блоки питания БП-9/12) (рис. 5). Сейсмоприемники ориентировались по сторонам света: X-компонента была направлена на север, а Y-компонента – на восток.

Перед проведением полевых исследований на общем основании проверялась идентичность работы аппаратуры.

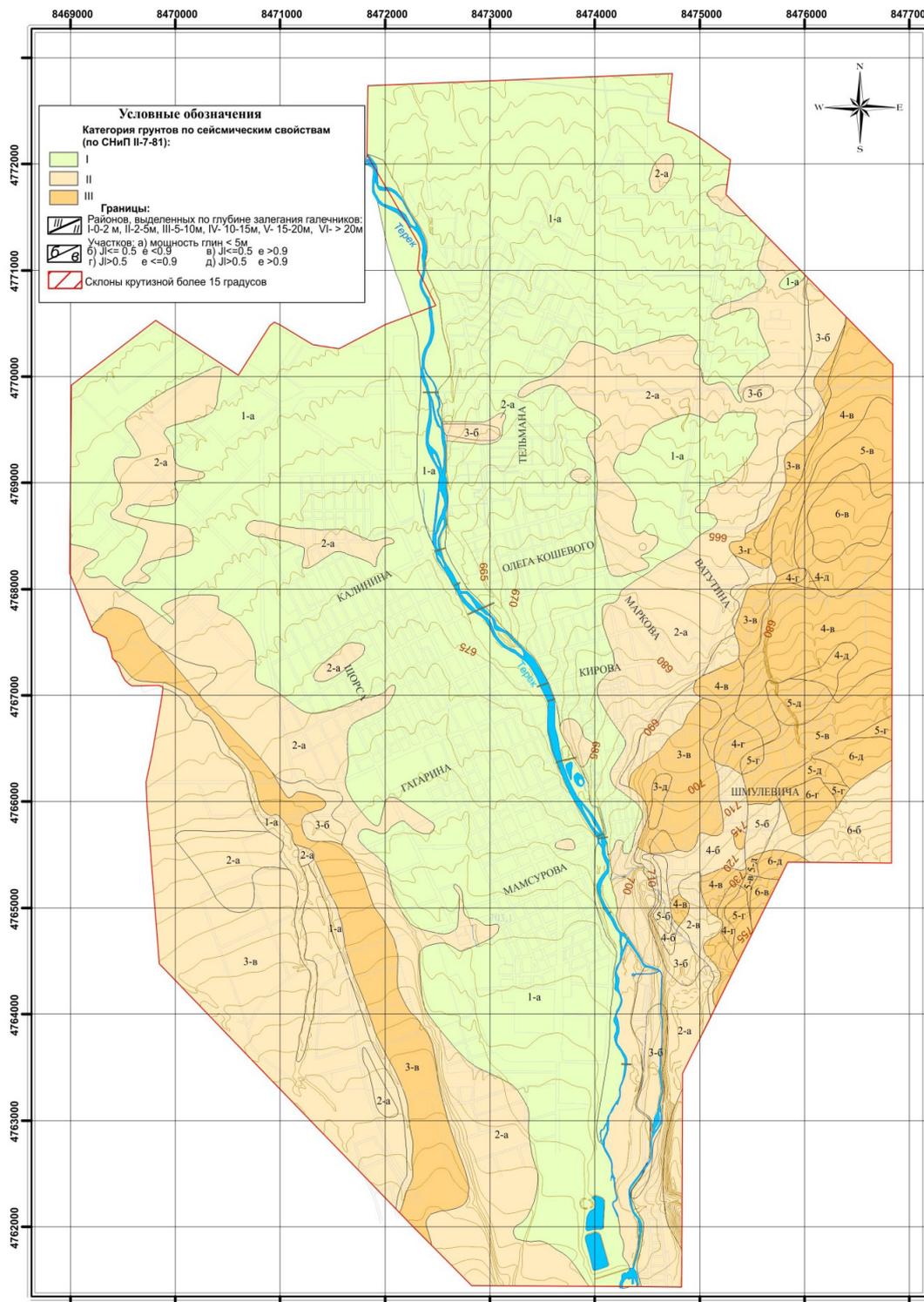


Рис. 1. Карта инженерно-геологического районирования г. Владикавказа

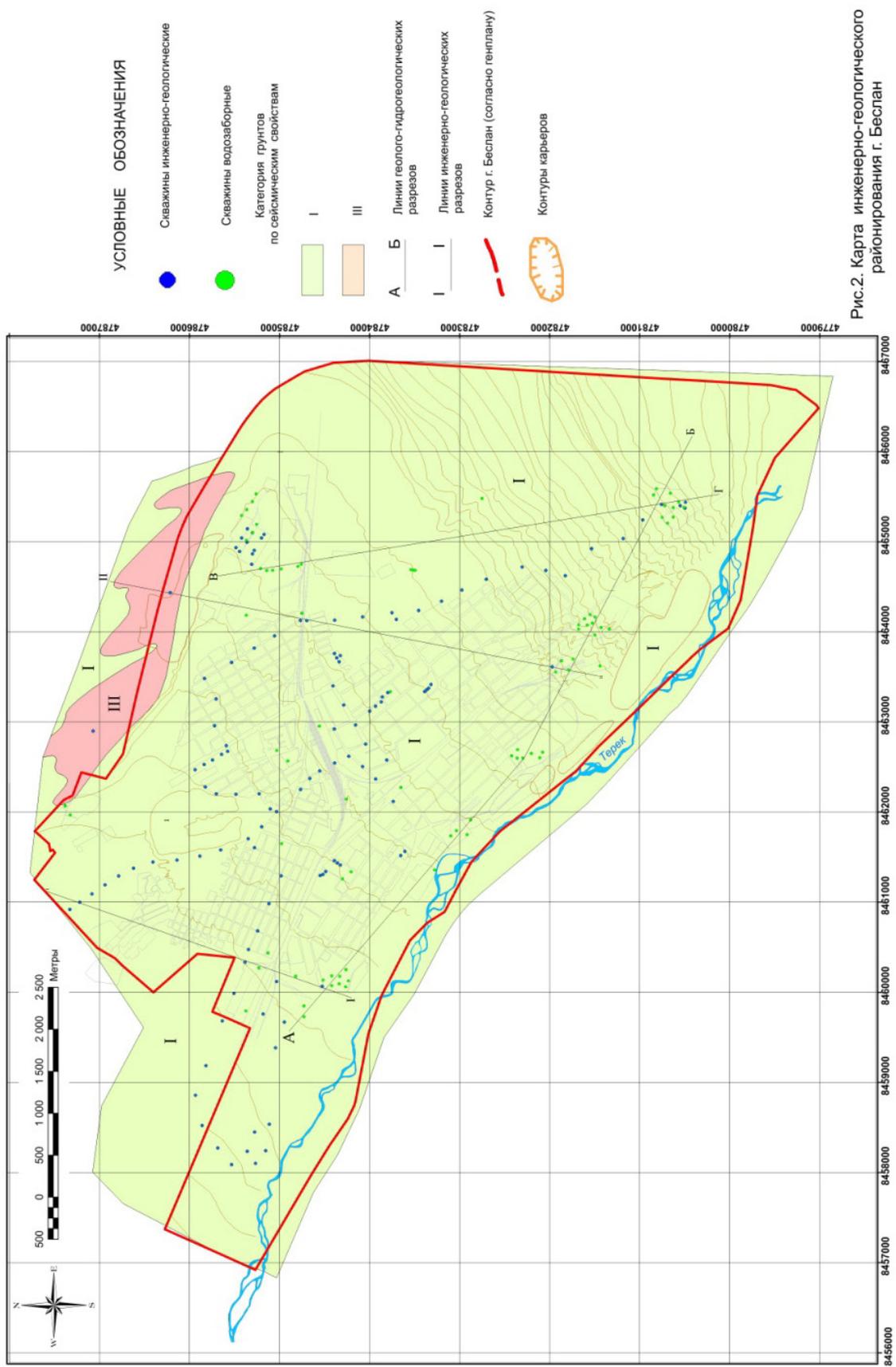


Рис.2. Карта инженерно-геологического районирования г. Beslan

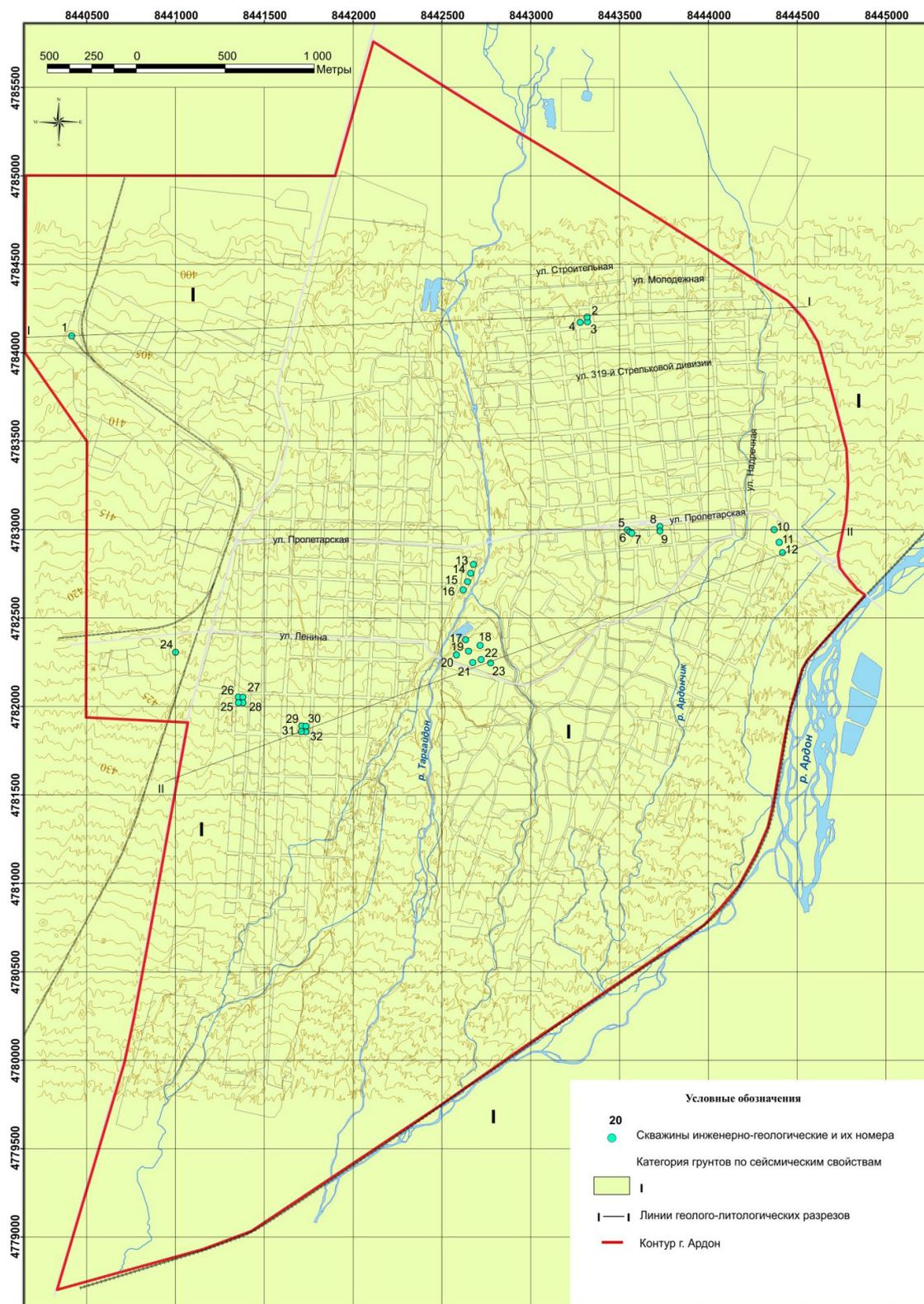


Рис. 3. Карта инженерно-геологического районирования г. Ардон

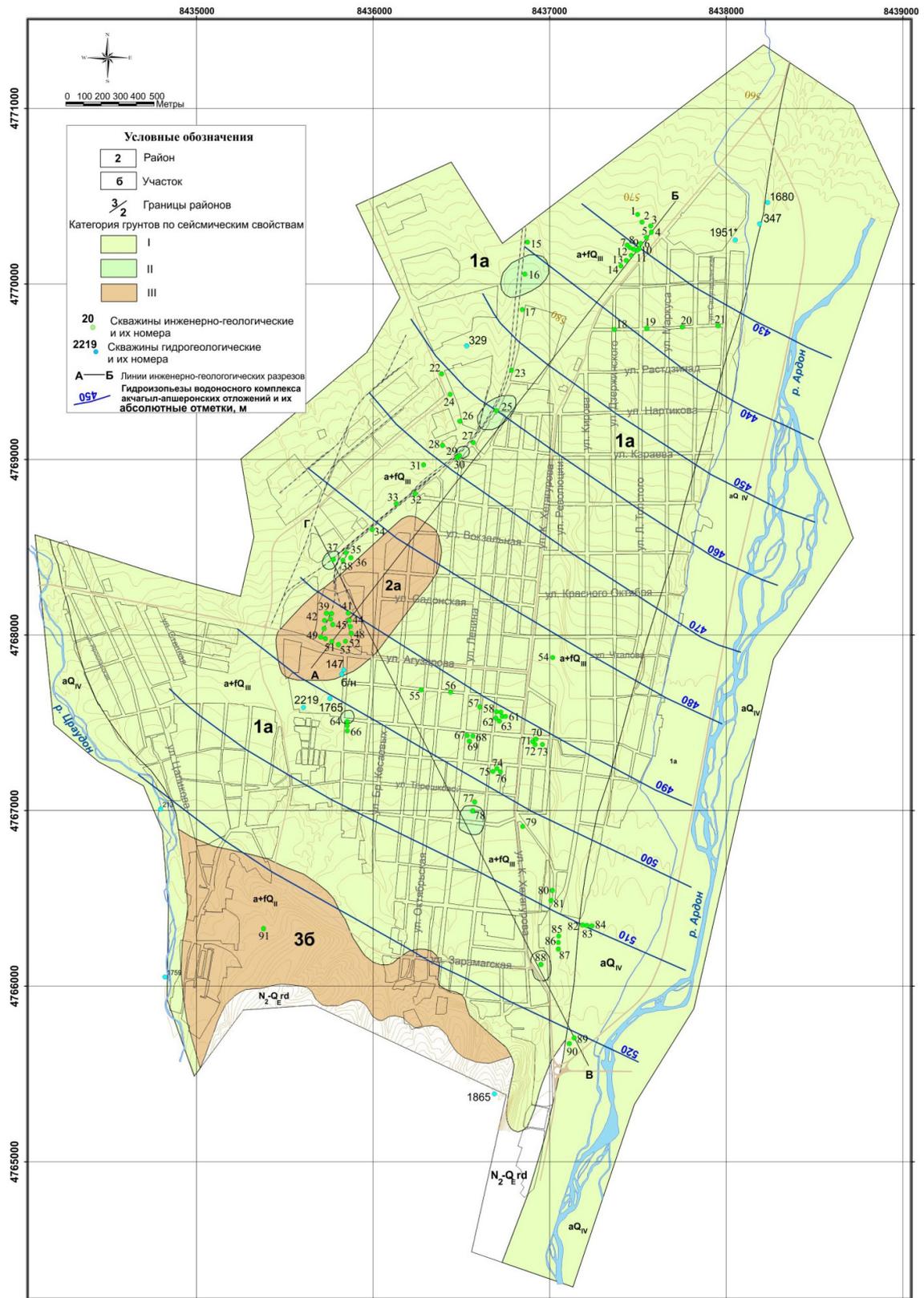


Рис. 4. Карта инженерно-геологического районирования г. Алагир

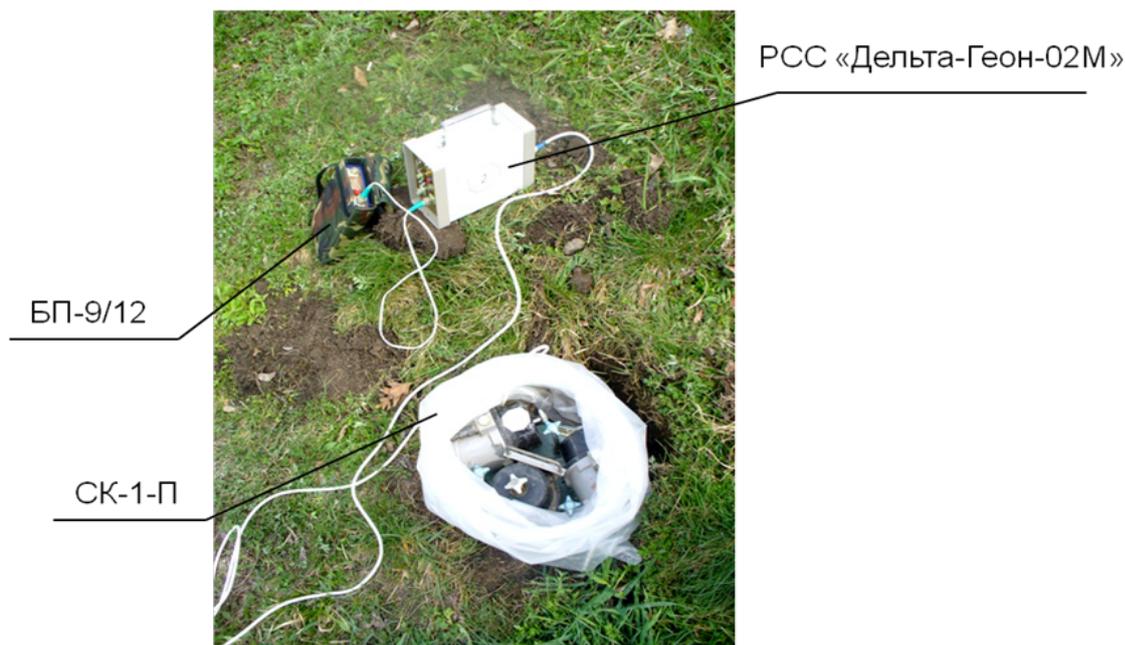


Рис. 5. Регистрация микросейсм (приборы).

Синхронизация времени РСС осуществлялась с помощью блока управления и синхронизации (БУС), имеющего встроенный модуль GPS. Временные поправки за период регистрации не превышали 1-2 мс. Использовался запуск безусловной записи.

Параметры записи были определены в соответствии с [Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio..., 2004]. При выборе продолжительности записи предложено чтобы было, по крайней мере, 10 циклов колебаний для минимальной регистрируемой частоты: $f_0 > 10/I_w$. Рекомендуется, чтобы полное число циклов $n_c = I_w * n_w * f_0$ было больше 200.

Учитывая, что сейсмоприемник СК-1-П работает с частоты 0,8 Гц, можно рассчитывать фиксировать пики на частоте 1 Гц и выше, поэтому продолжительность записи должна составлять не менее 10 минут. В ряде случаев продолжительность была увеличена в связи с большим количеством помех вызванных движением транспорта. Частота дискретизации была установлена равной 125 Гц.

Примеры полученных спектральных H/V отношений приведены на рис. 6. X-компонента обозначена сплошной линией, Y-компонента – пунктиром.

По результатам моделирования и последующего расчета с помощью сильных землетрясений были также построены кривые усиления колебаний верхней толщей разреза по отношению к подстилающей толще плотных галечников (для верхней части разреза). Выделенные преобладающие частоты колебаний сравнивались с результатами выделения преобладающих частот колебаний по записям микросейсм на исследуемых участках с использованием методики спектральных H/V-отношений.

Соотношение между инструментальными и расчетными значениями резонансных частот приведено на рис. 7а. В общем, наблюдается соответствие значений частот, соотношение можно интерполировать соотношением:

$$f_{расч} = 0,89 f_{инстр}$$

с величиной $R^2=0,60$

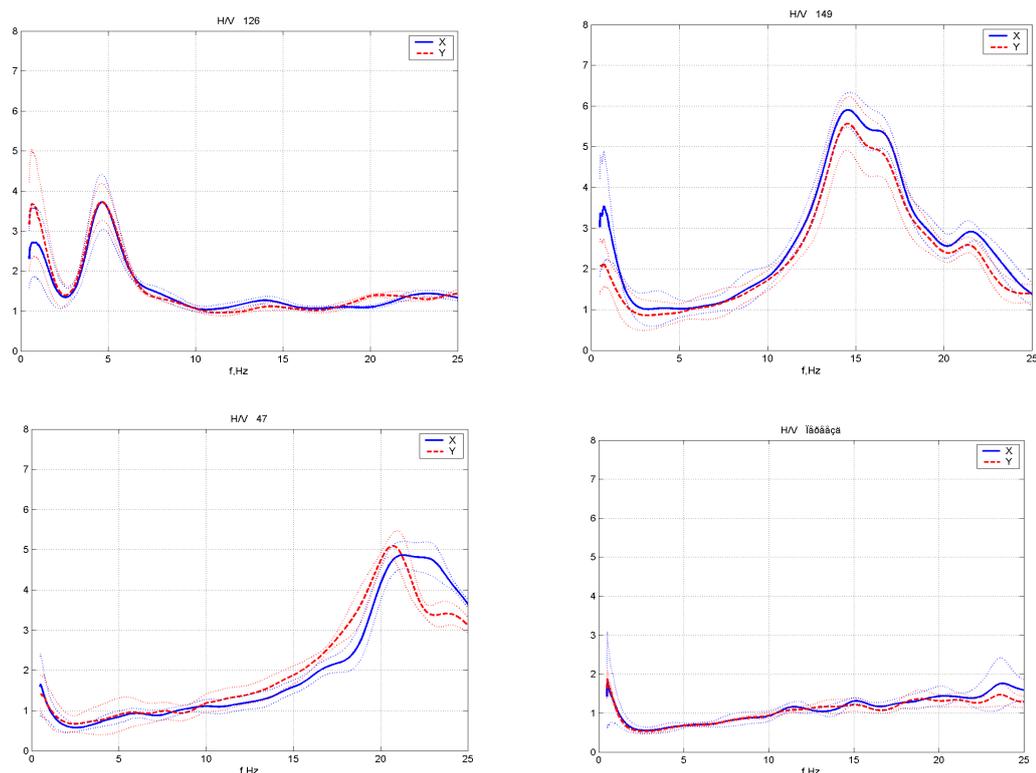


Рис. 6. Типичные формы спектральных H/V отношений на участках с различными инженерно-геологическими условиями.

Несмотря на некоторые наблюдаемые различия можно выделить достаточно общие закономерности. Для участков сложенных толщей глинистых грунтов текучей консистенции наблюдается максимальное усиление амплитуд колебаний и снижение частот в диапазоне 1,7-6 Гц. На участке, сложенном глинистыми грунтами полутвердой консистенции усиление колебаний, в целом, меньше в два раза и резонансные частоты составят 6-7 Гц. Для верхнего слоя галечников с заполнителем $>30\%$ спектральные амплитуды несколько меньше, основной спектральный пик на частоте 10-12 Гц; для галечников с заполнителем $< 30\%$ спектральный пик соответствует 19 Гц и выше.

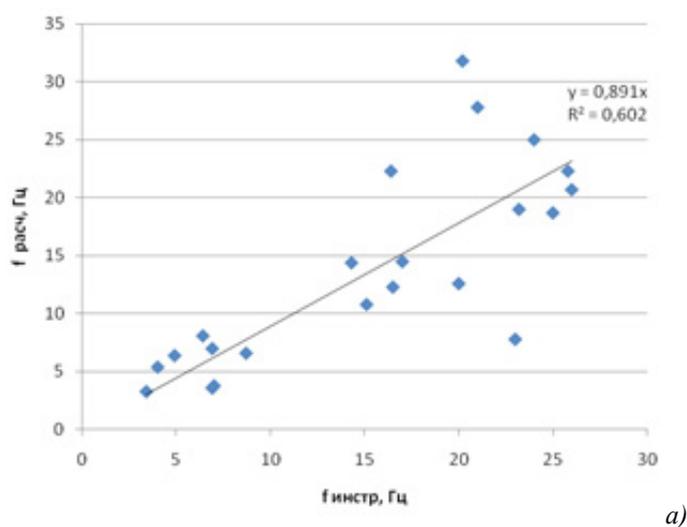
Значительное количество участков, расположенных в различных частях мира было исследовано группой европейских ученых в рамках проекта SESAME (Coordinator – Pierre-Yves Bard) [Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio..., 2004].

На рис. 7б показано соотношение между преобладающими частотами и амплитудами спектральных H/V отношений, полученных по записям микросейсм и соответствующие частоты и амплитуды спектральных отношений, полученных по записям землетрясений по отношению к эталонному участку. Хорошо видно соответствие преобладающих частот, выделенных с помощью спектральных H/V отношений и по записям землетрясений.

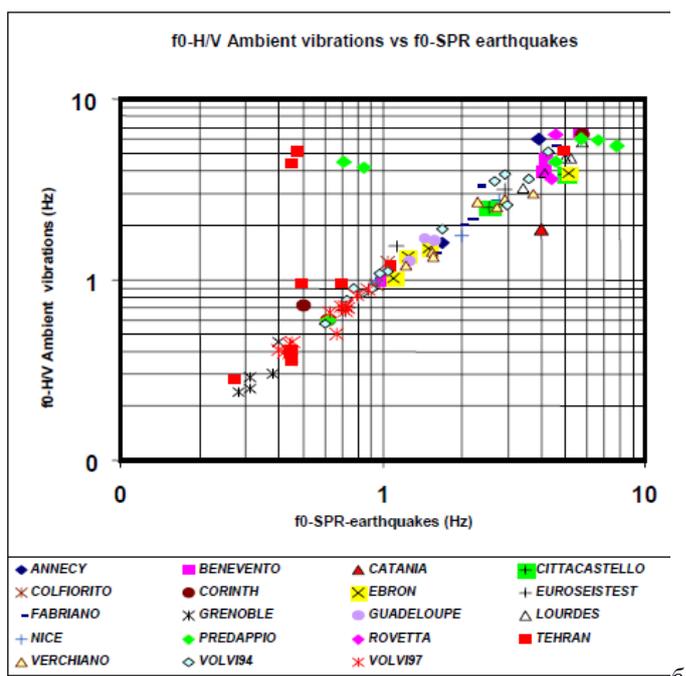
Соответствие спектральных характеристик участков, полученных различными методами, позволило вполне обоснованно использовать записи микросейсм для детализации результатов инструментального метода и уточнения границ карты инженерно-геологического районирования

Само понятие «средних грунтовых условий» содержит в себе статистический смысл, заключающийся в выборе наиболее распространенных или типичных грунтов на исследуемой территории, т.е. имеющих большую площадь распространения. Необходимо отметить, что рассматривается не только территория, на которой непосредственно проводятся работы, но и более обширная область. Поэтому, хотя исследуемая площадь и есть выборка из общей совокупности, отражающая общий характер распределения исследуемых параметров на более обширной территории, соответствие «большой площади распространения» будет выполняться не всегда.

При достаточно большом числе измерений и равномерности распределения точек наблюдения возникает возможность провести статистическую обработку данных по признаку преобладающих частот. Распределение можно предполагать близким к нормальному. На рис. 8 приведена гистограмма распределения преобладающих частот колебаний, на которой можно выделить несколько максимумов (обозначены стрелками).



a)



б)

Рис. 7. Соотношение между инструментальными и расчетными значениями резонансных частот

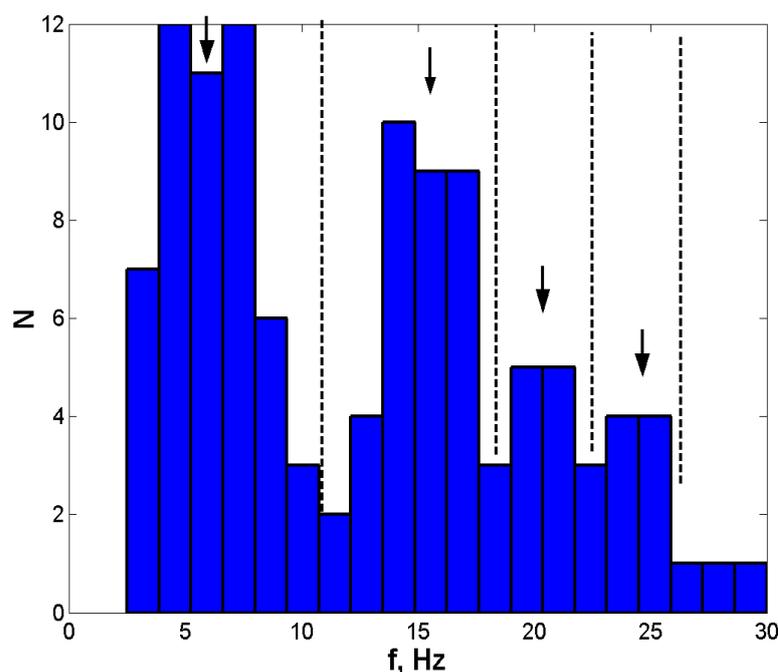


Рис. 8. Гистограмма распределения преобладающих частот колебаний

Будем считать эти значения средними (математическими ожиданиями) каждой категории, границы между которыми определим по минимумам гистограммы (обозначены пунктиром). Выбранные значения классификации частот приведены в таблице. Была произведена интерполяция полученных данных, по результатам которой также было выделено граничное значение 5,8 Гц, позволившее дифференцировать область распространения просадочных грунтов, расположенных в правобережной части города, на карте инженерно-геологического районирования обозначены штриховкой (рис. 9).

При достаточно большом числе измерений и равномерности распределения точек наблюдения возникает возможность провести статистическую обработку данных по признаку преобладающих частот. При этом распределение предполагается близким к нормальному. На основании полученных результатов выделяются участки, для которых требуется уточнение грунтовых условий сейсморазведочными методами.

Работы были проведены методом КМПВ. Основным источником возбуждения продольных волн при регистрации вертикальной составляющей служил падающий с высоты 3,5-4,0 м груз весом 400 кг, при регистрации горизонтальной составляющей многократно (до 10-ти) записывались колебания среды при возбуждении упругих поперечных волн горизонтальными ударами о стенку копуша кувалдой весом 8 кг или тампером. При надежных корреляциях первых вступлений головной волны, скорости в грунтах определяются по полевым сейсмограммам довольно уверенно. Основной объем обработки и интерпретации сейсмограмм осуществлён на базе компьютерных программ Radex Pro Plus версии 3.75. Для идентификации продольных и поперечных волн использовалось явление фазовой инверсии и другие признаки [Заалишвили, 2009].

По результатам этих работ были внесены изменения на картах инженерно-геологического районирования (рис. 6-9).

Таблица 1

Дифференциация преобладающих частот колебаний

Тип грунтовых условий (по результатам сопоставления с картой инженерно-геологического районирования)	Средние значения	граничные значения
глинистые грунты текучей консистенции	5,9 Гц	11,0 Гц
глинистые грунты п/тв. консистенции (непросадочные), галечники с песчано-глинистым заполнителем >30%	15,7 Гц	18,6 Гц
галечники с песчано-глинистым заполнителем <30%	20,2 Гц	22,8 Гц
валунно-галечники	24,4 Гц	

На территории города Владикавказ по многим участкам, как на правом, а также левом берегу грунты II категории были переведены в III категорию (рис.1., 6.).

На территории города Беслан изначально почти вся территория города представлялась грунтами I категории (рис. 2.), а после уточнения микросейсмическими методами исследований, в южной части города на правом берегу р. Терек была выделена полоса с грунтами II категории (рис. 2, 7).

На территории города Ардон, если вся территория города первоначально представлялась грунтами I категории (рис. 3), то после проведения наземных геофизических исследований (КМПВ) была выделена зона сложенная грунтами II категории (рис. 3, 8).

Основная территория города Алагир по данным обработки фондовых материалов была представлена, как грунты первой категории, однако после обработки новых данных геофизических исследований пойменные валунно-галечниковые отложения рек Ардон и Црау остались в I, а остальная территория города перешла во II категорию (рис.4, 9).

Таким образом, в результате проведения исследований современными геофизическими методами были уточнены результаты прошлых изысканий и созданы надежные карты инженерно-геологического районирования гг. Владикавказ, Беслан, Алагир, Ардон. Указанные карты включают характеристики геологического строения, гидрогеологических и геоморфологических (поверхностный и подземный рельефы) условий, литологии, тектоники, распространения различных типов грунтов на рассматриваемой территории; выделены участки, характеризующие различную глубину залегания галечников или мощности глинистого и суглинистого перекрывающего поверхностного покрова на галечниках, и, наконец, количества заполнителя в галечниках, являющегося основным параметром, определяющим категорию сейсмичности для крупнообломочных грунтов по СНиП-II-7-81* [Строительные Нормы..., 2000].

Необходимо отметить, что в отдельных случаях совершенно неожиданно для исследователей в условиях скудости материалов прошлых изысканий были выделены зоны с резко отличающимися физико-механическими свойствами. При этом появилась возможность при наличии одной или двух опорных выработок (скважин)

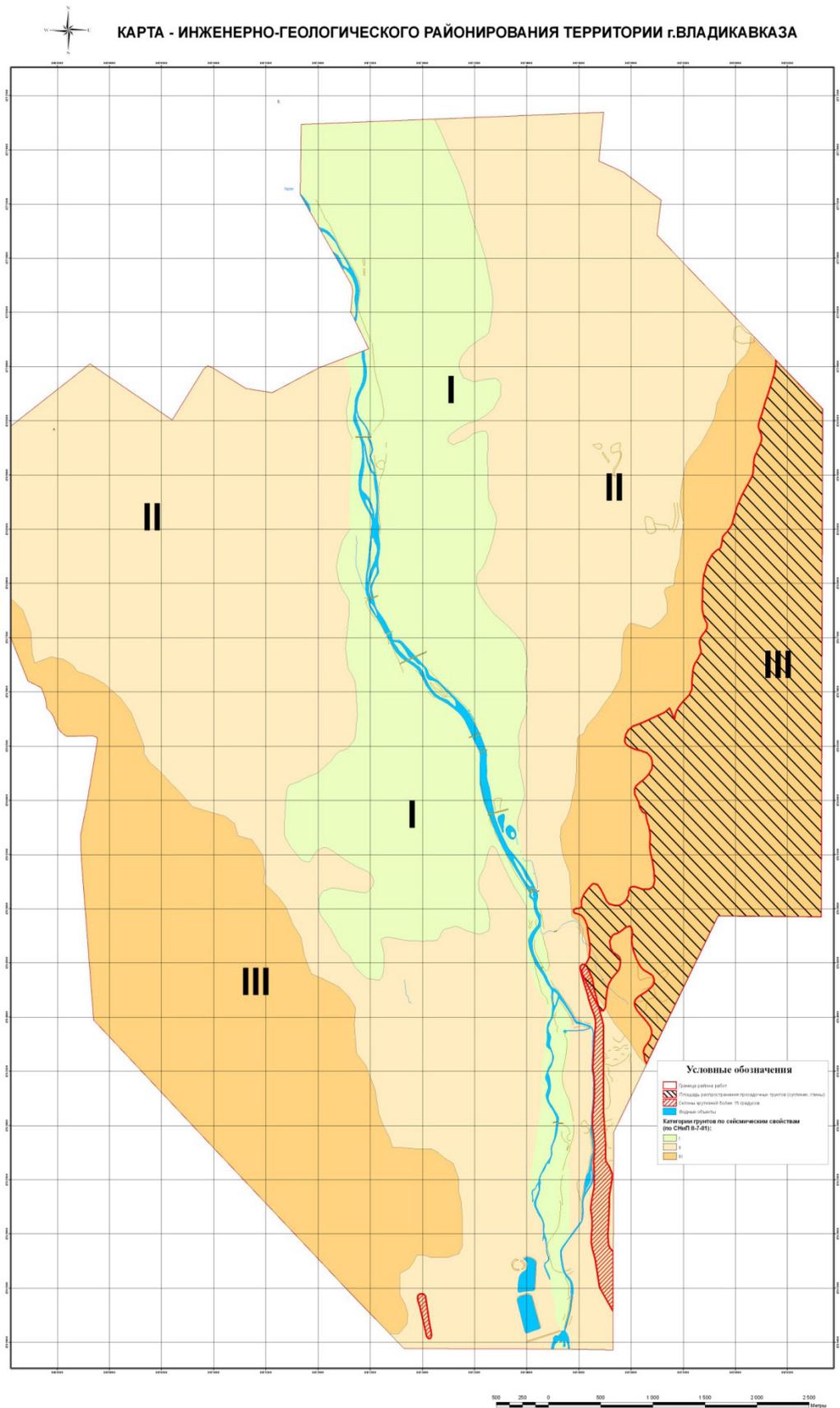


Рис. 6. Уточненная карта инженерно-геологического районирования территории г. Владикавказ

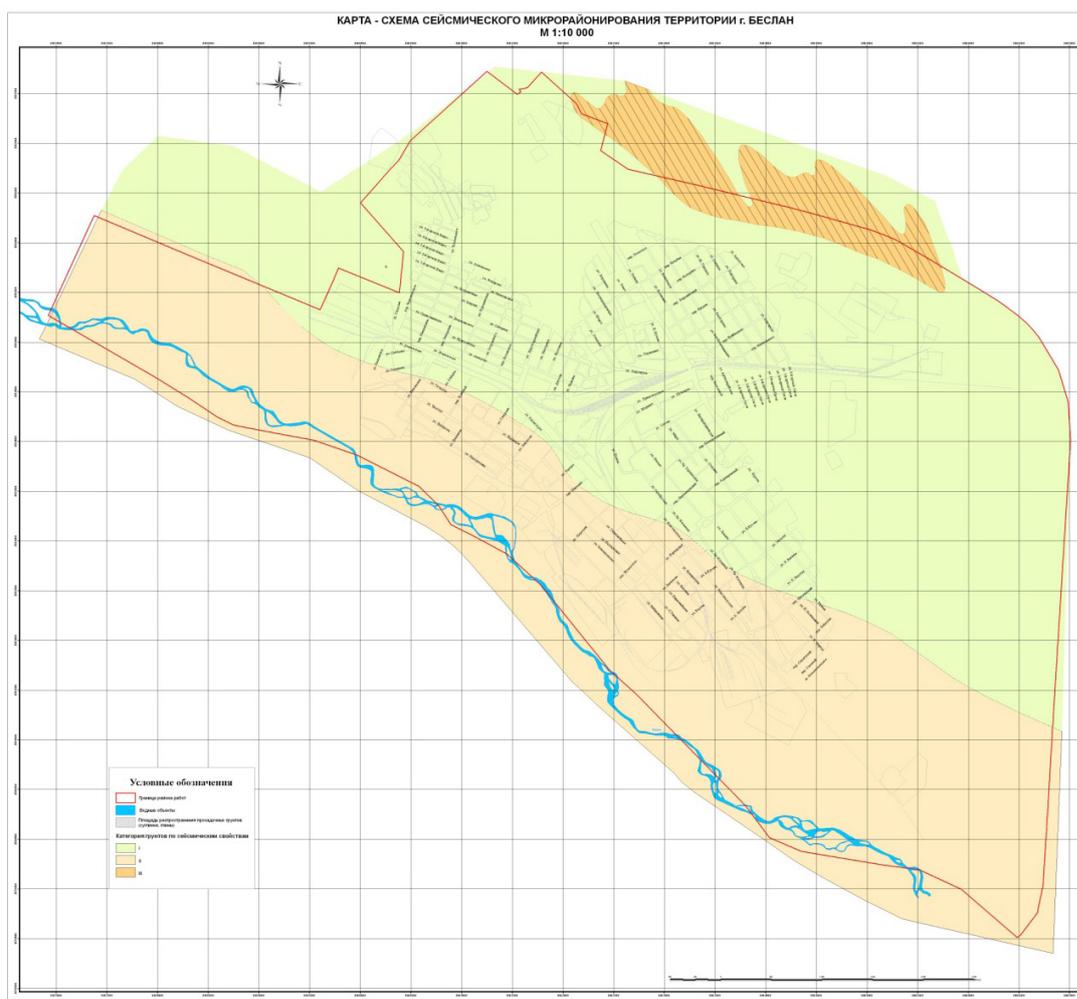


Рис. 7. Уточненная карта инженерно-геологического районирования территории г. Беслан

детально и вполне надежно дифференцировать грунтовые условия исследуемой территории.

Это позволило значительно поднять ожидаемую точность и достоверность результирующих данных. При этом возможности геофизических методов, характеризующихся площадью и объемом получаемых данных, изменяют саму последовательность этапов осмысления и распознавания подземного мира грунтовой толщи, уровень повторяемости или воспроизводство полевых работ.

Выводы

Разработана методика уточнения карт инженерно геологического районирования, заключающаяся в проведении инструментальных исследований в два этапа.

На первом этапе проводится исследование территории с помощью микросейсм, строится карта преобладающих частот колебаний, выполняется выделение различных грунтовых комплексов по признаку преобладающих частот и производится сопоставление полученных данных с уточняемой картой инженерно-геологического районирования.

На втором этапе выделяются районы, границы которых не совпадают с данными карты инженерно-геологического районирования и производится уточнение

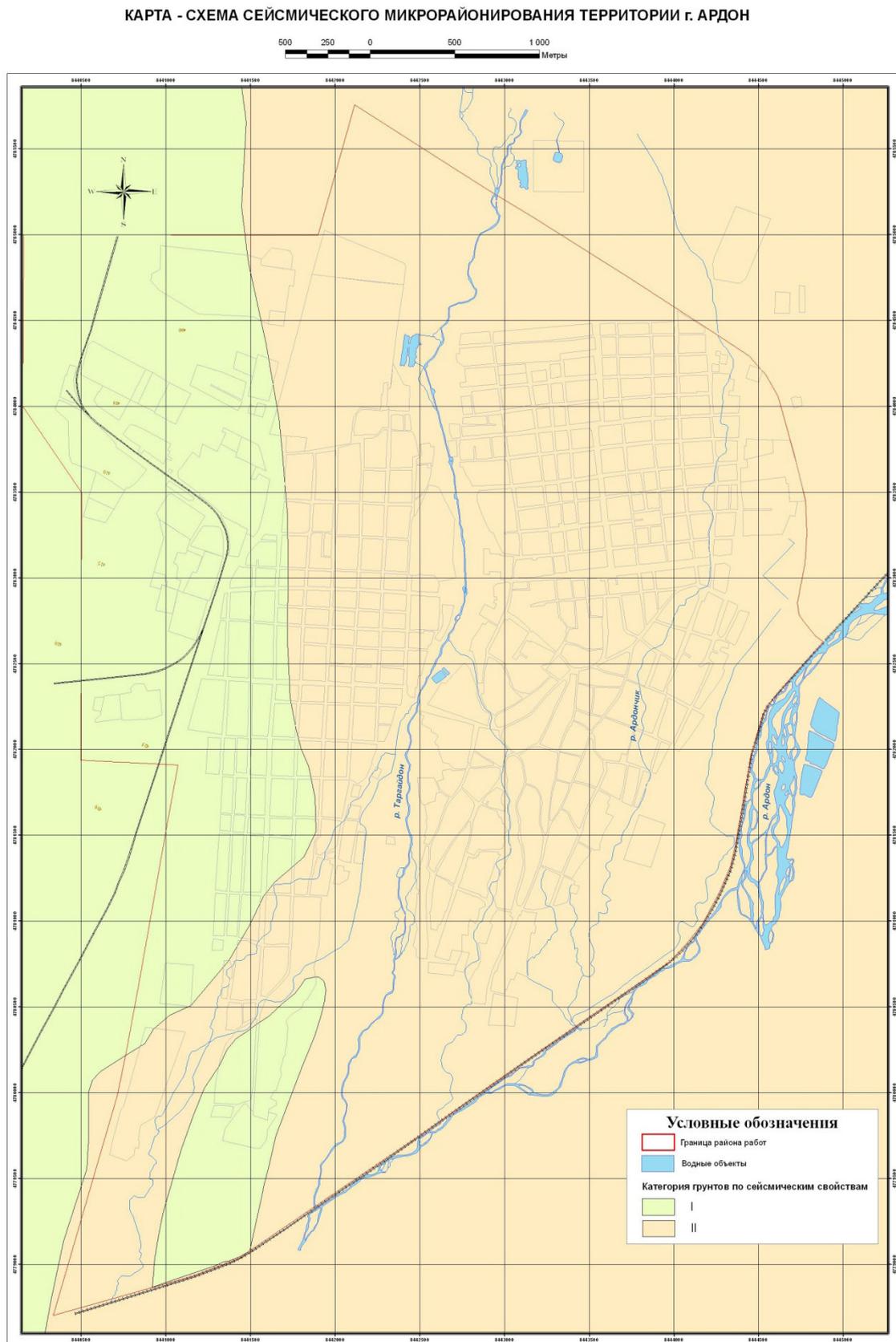


Рис. 8. Уточненная карта инженерно-геологического районирования территории г. Ардон

КАРТА - СХЕМА СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ г. АЛАГИР

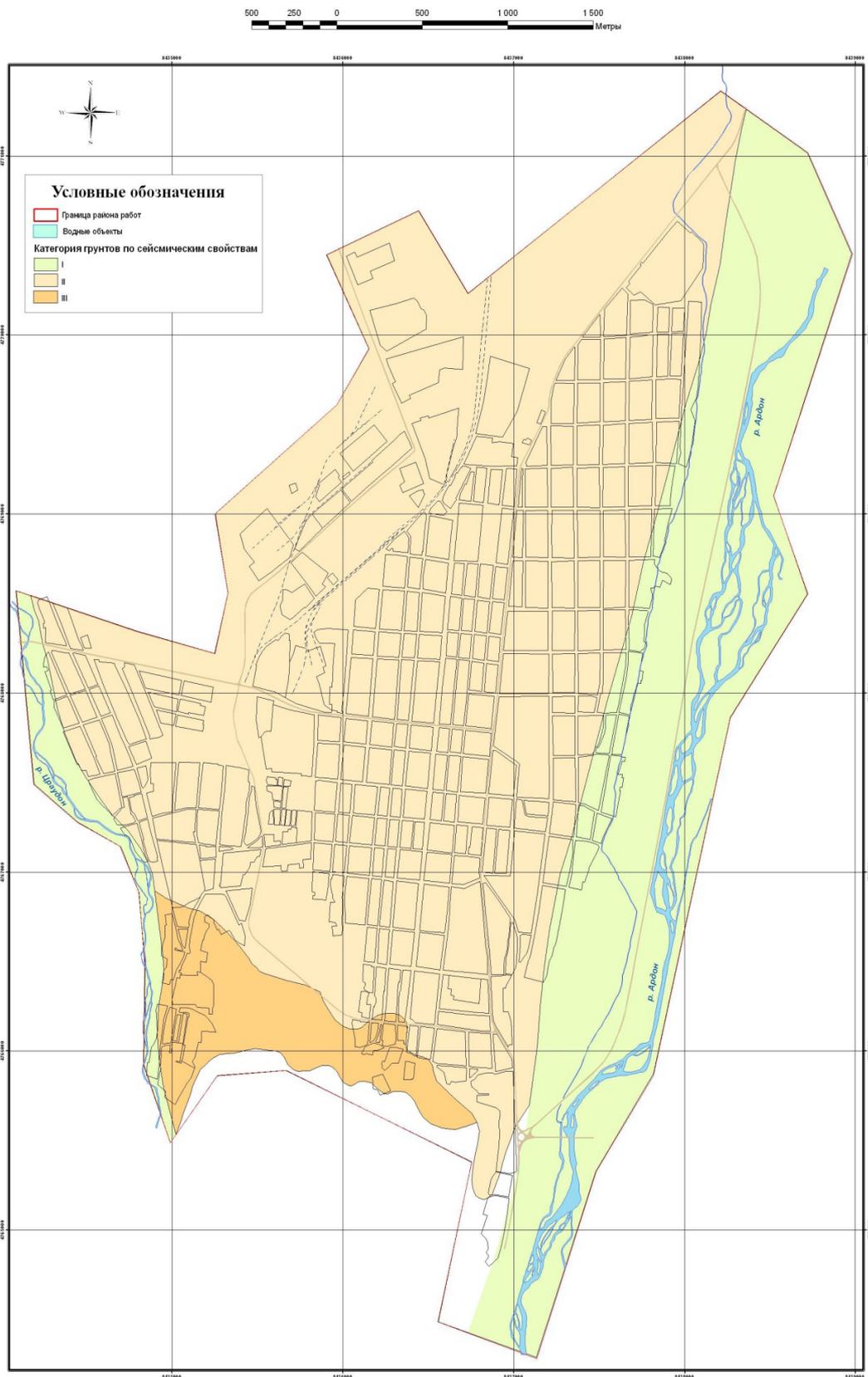


Рис. 9. Уточненная карта инженерно-геологического районирования территории г. Алагир

грунтовых условий на данных и опорных участках, на которых грунтовые условия подтверждаются с данными о геологическом строении.

Предложенный способ позволяет более обоснованно и эффективно проводить трудозатратные полевые изыскания, путем более точного их планирования на основе данных предварительно проведенного микросейсмического исследования обширной территории, характеризующегося высокой оперативностью и малой себестоимостью проведения работ.

Литература

1. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. М.: Наука, 2009. – 350 с.
2. Строительные Нормы и Правила СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. 2000.
3. Duval A.M., Bard P.Y., Meneroud J.P., Vidal S. Proc.10-th European Conf. on Earthquake Eng. Vienna (abstract). 1994. Vol. 2.
4. Duval A.M., Mèneroud J.P., Vidal S., Singer A. Relation between Curves obtained from microtremor and site effects observed after Caracas 1967 earthquake // 11th European Conf. on Earthquake eng. Balkema. Rotterdam, 1998.
5. Nakamura Y, A Method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, Volume 30, No. 1, 1989.

DOI: 10.23671/VNC.2015.1.55233

SPECIFICATION OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE TERRITORY WITH THE HELP OF MICROSEISMS (BY THE EXAMPLE OF SETTLEMENTS OF THE REPUBLIC NORTH OSSETIA-ALANIA)

**© 2015 V.B. Zaalishvili, Sc.Doctor (Phys.-Math.), prof., A.K. Dzhgamadze,
D.A. Melkov, Sc.Candidate (Tech.), B.V. Dzeranov, Sc.Candidate (Geol.-Min.),
A.F. Gabaraev, I.L. Gabeeva, B.A. Dzeboev, A.S. Kanukov, V.D. Shepelev.**

Geophysical institute of VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov street, 93a

The maps of engineering-geological zonation are the basis for realization of seismic microzonation works (SMZ). The results of engineering investigations allow composing maps of engineering-geological zonation. As a rule, purposeful detail investigations for SMZ of routine urbanized territories are not carried out in recent years because of the absence of necessary financing. For the most part the results of the previous investigations for different kinds of designed buildings and constructions which are spread out in time are used for the problem solving. Microseisms recording technique which allows differentiating areas with different soil conditions quite reliably is offered for usage in the paper. Sections can be detailed with the help of seismic exploration methods if required.

The maps of engineering-geological zonation of the cities Vladikavkaz, Beslan, Ardon and Alagir were detailed in a similar way as a result of investigations on the basis of modern geophysical methods.

Key words: engineering-geological zonation, classes of soils, seismic wave velocities, microseisms.