

ИЗУЧЕНИЕ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРИВОДЯЩИХ К ПОВРЕЖДЕНИЮ ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

УДК: 550.83
ББК: 26.3

Давыдов Вадим Анатольевич



кандидат геолого-минералогических наук.
Институт геофизики УрО РАН,
Екатеринбург, Россия, e-mail: davyde@yandex.ru

Аннотация

Приведено описание и результаты геофизических исследований характера залегания грунтов вблизи поврежденных объектов застройки в городе Берёзовском Свердловской области. Сделаны выводы о том, что деформация грунтов, приведшая к повреждениям, не связана с подземными выработками. Основной причиной просадки в обоих случаях послужили суффозионные процессы в неоднородных по физико-механическим свойствам грунтах, что привело в первом случае к образованию провала вблизи дорожного полотна, а во втором – к возникновению серии трещин на жилом доме.

Ключевые слова

просадка грунта, подземные пустоты, суффозия, геологические исследования

Введение

Застройка городской территории производится с учетом долговременной эксплуатации зданий, сооружений и дорог. Однако не всегда удается учесть все потенциально опасные факторы, оказывающие влияние на объекты строительства. К числу этих факторов относятся опасные экзогенные физико-геологические явления и процессы (карст, оползень, суффозия, трещиноватость, нарушение природного напряжения в массивах горных пород, деградация мерзлоты). Постоянные наблюдения за построенными сооружениями, призванные служить обеспечением безопасности их эксплуатации для людей и окружающей среды, практикуются очень редко и только для особо ответственных объектов. В результате обследованию подвергаются объекты, уже в той или иной степени аварийные, для решения их дальнейшей судьбы. Для обследования сооружений и грунтов их оснований используются (среди прочих) геофизические методы исследований. Они являются неразрушающими, быстрыми и достаточно эффективными, поэтому рекомендованы при изучении опасных геологических процессов и явлений [9]. В статье описываются практические примеры и результаты геофизического обследования поврежденных объектов в г. Берёзовском Свердловской области.

В геологическом отношении район приурочен к Берёзовскому золоторудному полю. Горные выработки проходят по дайкам плагиогранит-порфиров мощностью 10 – 20 метров, расположенным во вмещающих вулканогенно-осадочных породах. Дайки содержат кварцевые жилы, к которым и приурочено золотосульфидное оруденение. Городская территория частично располагается над шахтным полем Берёзовского рудоуправления и может подвергаться просадочным явлениям. Верхняя часть разреза представлена делювиальными и элювиальными суглинками, перекрытыми почвенно-растительным слоем или насыпным грунтом. В задачи исследования входило определение условий залегания скальных грунтов и характера покрывающих их рыхлых отложений и также выявление возможных причин экзогенных изменений, приведших к повреждению городских объектов.



Рис. 1. Провал участка дороги по ул. Ленина в Берёзовском

Методика исследования

К основным инженерно-геофизическим методам исследований следует отнести малоглубинную сейсморазведку и электроразведку. В качестве дополнительных методов для решения некоторых специфических задач применяют магниторазведку, гравиразведку и радиометрию. Главным сейсморазведочным методом изучения верхней части разреза является метод преломленных волн (МПВ). При возбуждении упругих колебаний с помощью ручного тампера (кувалды) сейсморазведка МПВ позволяет получить информацию о скоростях продольных волн (V_p) в интервале глубин от 1 до 30 метров. В случае применения механических невзрывных источников глубинность исследований возрастает до 100 метров. Развитие современных технологий дало толчок новым методическим приемам получения и обработки сейсмической информации. Одно из таких направлений – многоканальный анализ поверхностных волн – Multichannel Analysis of Surface Waves – MASW [10], широко распространенный за рубежом для изучения различных геотехнических объектов. MASW позволяет получить данные по скоростям поперечных волн (V_s). Комбинация методов МПВ и MASW с использованием стандартной (или модифицированной) системы наблюдений дает возможность изучить три упругих параметра среды: скорости продольных и поперечных волн, а также коэффициент Пуассона (μ) [3]. Все сейсморазведочные работы проводились комбинированным методом с использованием 24-канальной сейсмостанции «Синус-24MS» (ИГФ УрО РАН, Екатеринбург) [8]. Обработка сейсмических данных проведена специализированными программами по принятым типовым алгоритмам [7]. Электроразведочные работы выполнялись методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) комплектом аппаратуры ЭРА-МАКС (НПП «ЭРА», Санкт-Петербург) по стандартной методике [6]. Для интерпретации данных ВЭЗ с получением геоэлектрических разрезов использовалась программа IPI2Win (МГУ). Гравиметрические измерения проводились высокоточным гравиметром Autograv CG-5 (Scintrex, Канада) по методике, соответствующей регламентирующим инструкциям [4, 5]. По профилям съемки вычислены значения силы тяжести в редукции Буге, а также построены графики локального гравитационного поля Δg_L (с вычетом регионального фона).

Провал вблизи дорожного полотна

В начале 2012 года на обочине дороги по ул. Ленина в Березовском был замечен провал грунта с образованием воронки, на момент проведения работ диаметр воронки составлял около 4 метров, глубина до 1,5 метров (рис. 1). Геофизические исследования проведены с целью определения причин провала, дальнейшего роста и возможной его связи с горными выработками. Сейсморазведочные работы выполнены на двух профилях по обе стороны дороги по методике комбинирования МПВ и MASW. Таким образом, по каждому профилю получены конфигурация преломляющих границ и скоростные сейсмические разрезы продольных и поперечных волн, по которым были рассчитаны коэффициенты Пуассона. Кроме сейсморазведки на тех же профилях проведены гравиметрические работы. Полученные в результате сейсморазведочных работ годографы позволяют выделить основную сейсмическую преломляющую границу и два структурных горизонта. Верхний слой (от 2 до 13 м) относится к рыхлым грунтам (суглинок, насыпной грунт) с низкими сейсмическими скоростями продольных ($V_p = 250\text{--}600$ м/с) и поперечных волн ($V_s = 150\text{--}300$ м/с). Второй горизонт связан с собственно коренными (скальными) породами, скорость продольных волн в которых составляет $800\text{--}1500$ м/с, а поперечных – 650 м/с. Сейсмические границы на полученных разрезах плавные и имеют форму депрессии, изолинии скоростей более дифференцированы, что позволяет локализовать менее выраженные элементы разреза, например дайку (рис. 2 б, в).

На сейсмических разрезах зоны, характерные для разуплотненных грунтов, присутствуют только на одном профиле ПР1 (сторона дороги вблизи провала), это подтверждается и графиками локального гравитационного поля (Δg): так на ПР1 отрицательные аномалии Δg достигают значения $-0,12$ мГл (рис. 2 а), в то время как на ПР2 только $-0,02$ мГл. Это позволяет утверждать, что юго-восточная сторона дороги (ПР2) не подвержена опасным процессам, приводящим к просадке грунта. Наиболее показательным упругим параметром для определения зон разуплотнения грунтов и идентификации подземных пустот выглядит коэффициент Пуассона (μ). Нормальные значения коэффициента Пуассона для ненарушенных грунтов составляют $0,25\text{--}0,4$; значения $\mu < 0,1$ характерны для несвязанных грунтов, а кажущиеся отрицательные значения μ позволяют выделить подземные пустоты [2]. На сейсмическом разрезе коэффициента Пуассона по ПР1 можно уверенно выделить такие аномальные зоны: одна из них с $\mu < 0$ располагается в районе провала (ПК ≈ 35 м), две другие с $\mu \approx 0$ находятся на расстояниях ПК 53 м и ПК 68 – 72 м от начала профиля (рис. 2 г).

На ПК 53 м профиля ПР1 располагается канализационный люк, что позволяет связать данную аномалию μ с ливневой канализацией. Положение провала (ПК ≈ 35 м) и зоны разуплотнения грунтов в районе ПК ≈ 70 м отмечаются также отрицательными аномалиями гравитационного поля (рис. 2а). Аномальные зоны располагаются в рыхлых отложениях на глубине 5 – 8 метров, что не позволяет отождествлять их с горными выработками в дайках, и наиболее вероятно они связаны с процессами вымывания грунта водой (суффозией). Дайка на разрезе коэффициента Пуассона выделяется чуть пониженными значениями ($\mu = 0,3\text{--}0,35$) по отношению к окружающим породам ($\mu \approx 0,4$), что свидетельствует о засыпке выработанного пространства (заглушенная выработка).

На основании полученных результатов сделаны следующие выводы:

На обследованной территории зафиксированы подземные горные выработки дайки Соймановская на глубине от 9-12 до 25 метров, однако, судя по упругим свойствам среды, они являются заглушенными.

Образование провала связано с суффозионными процессами (промоиной) в рыхлых отложениях на глубине 5–8 метров. Возможно, вблизи существуют утечки из водопроводной, отопительной или канализационной системы.

На исследованном участке обнаружена еще одна зона разуплотнения грунтов, где может произойти просадка грунта при дальнейшем развитии суффозионных процессов. Место вероятной просадки располагается в 35 – 40 метрах от имеющегося провала.

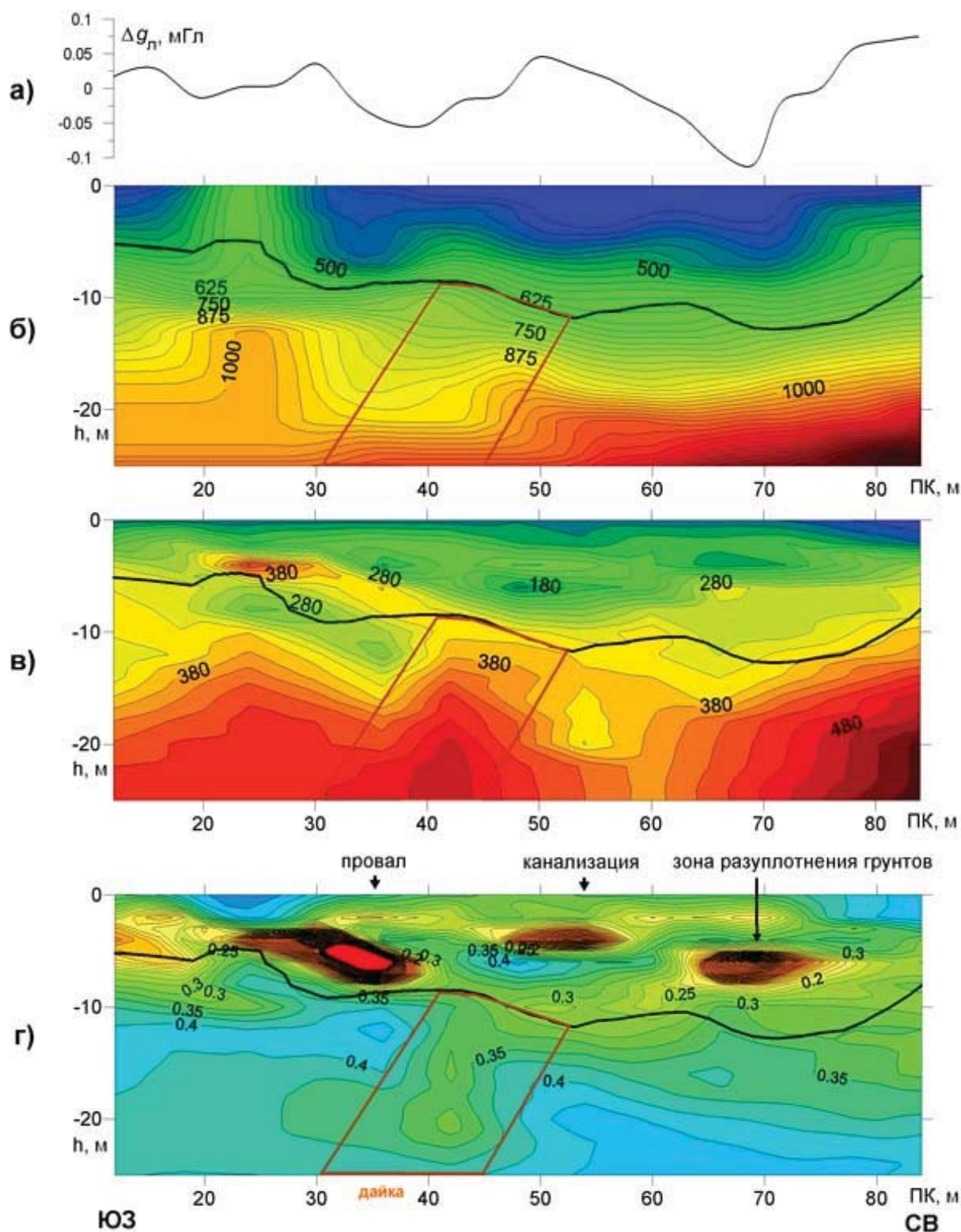


Рис. 2. Результаты геофизических работ по профилю ПР1 (вблизи провала):
а) график локального поля силы тяжести ($\Delta g_{л}$, мГал);
б) скоростной разрез продольных волн (V_p , м/с);
в) скоростной разрез поперечных волн (V_s , м/с);
г) разрез коэффициента Пуассона (μ , отн. ед.). Жирной линией показана сейсмическая преломляющая граница

Образование трещин на фасаде жилого дома

Работы на втором объекте обусловлены появлением трещин на фасаде 9-этажного жилого дома по ул. Гагарина (рис.3), предположительно связанных с наличием старых шахтных



Рис. 3. Серия протяженных трещин, прослеживаемых до 4 этажа, на 9-этажном жилом доме по ул. Гагарина в Берёзовском

выработок. В пределах обследуемого участка, по данным Берёзовского рудоуправления, горные работы не велись. Сведения о более ранних (старательских) работах не сохранились. Геофизические исследования включали комбинированную сейсморазведку и электроразведку ВЭЗ. Разведочные профили пройдены в 5 метрах от стен дома с обеих сторон. По сейсмическим данным, выделяется одна основная преломляющая граница. Верхний слой (от 1 до 3 м) относится к рыхлым грунтам (суглинок, насыпной грунт) с низкими сейсмическими скоростями продольных волн ($V_p = 200\text{--}600$ м/с). Второй горизонт связан с собственно коренными (скальными) породами и их корой выветривания, скорость продольных волн в которых составляет от 1000 до 3000 м/с (рис. 4 б).

Сейсмическая граница на полученных разрезах носит плавный характер, с заметным погружением в южном направлении. По изолиниям скоростей можно локализовать участки скальных грунтов основания и менее прочных грунтов коры выветривания. Довольно уверенно выделяется уступ прочных скальных пород в центре участка по высоким скоростям продольных волн. Аномалии, характерные для пустотного пространства, не наблюдаются. Основная особенность сейсмического разреза – резкое снижение скоростей в южной части участка, что можно объяснить более глубоким залеганием коренных пород и увеличенной мощностью их коры выветривания. Это подтверждается результатами вертикального электрического зондирования (рис. 4 а). На геоэлектрическом разрезе выделяются несколько слоев с разными удельными электрическими сопротивлениями – УЭС (значения УЭС указаны в овалах). На севере имеет место 3-слойное строение разреза, на юге – 4-слойное. Нижний слой УЭС, связанный с основанием разреза, начинается в северной части участка на глубине 5 метров, на юге же он залегает на глубине 9 – 11 метров. Таким образом, подтверждается разноярусное

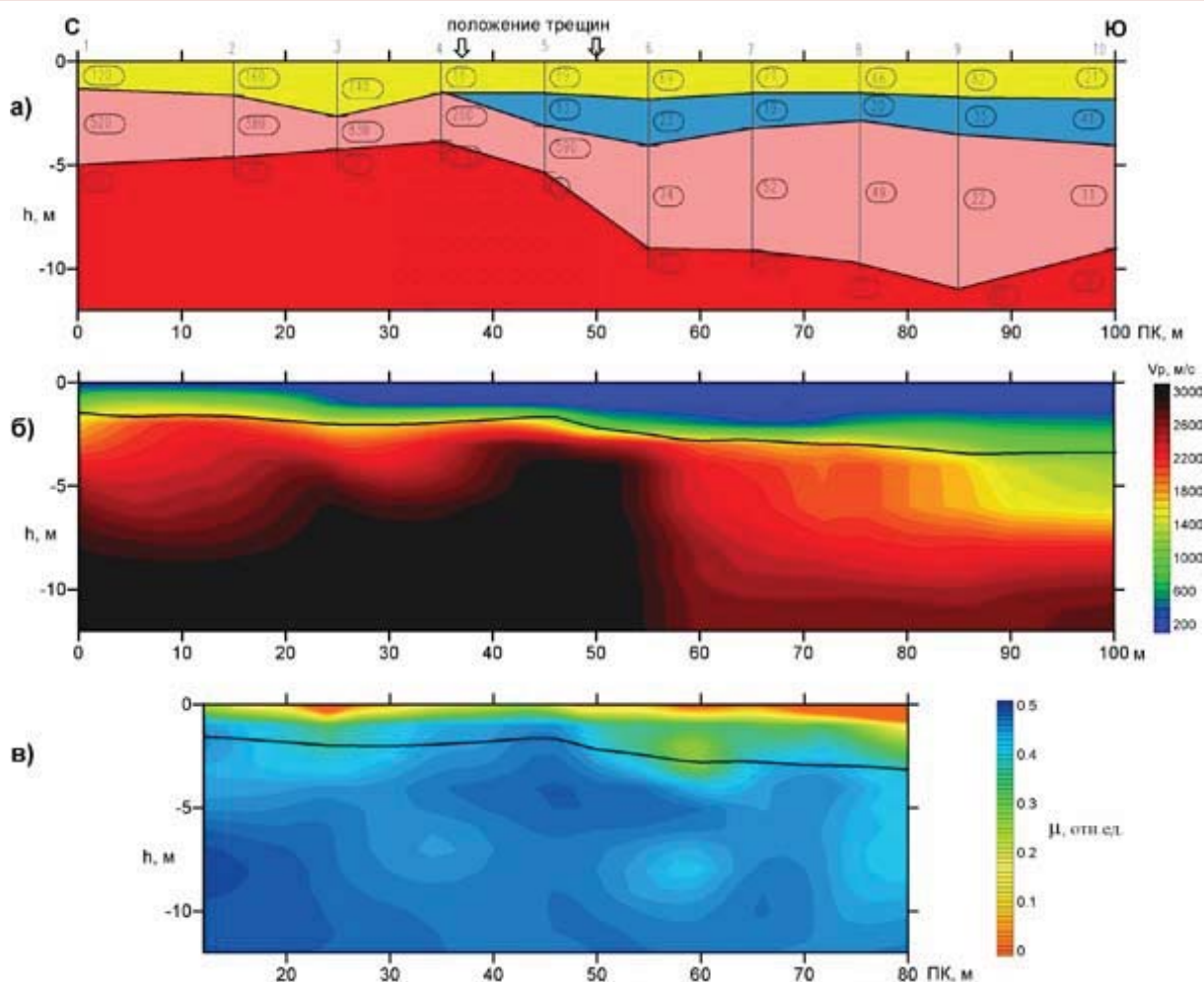


Рис. 4. Результаты геофизических работ вдоль западной стены дома по ул Гагарина:
 а) геоэлектрический разрез ВЭЗ (в овалах указаны удельные электрические сопротивления слоев в Ом-м);
 б) сейсмический скоростной разрез продольных волн (V_p , м/с);
 в) разрез коэффициента Пуассона (μ , отн. ед.). Жирной линией на рисунках (б) и (в) показана сейсмическая преломляющая граница

геологическое строение участка.

На государственной геологической карте масштаба 1: 200 000 (ГСП-200) на участке выделен тектонический контакт магматических пород разного состава: основных пород (габбро, долеритов – $\nu\beta O1-2 p\delta$) на юге и измененных ультраосновных пород (серпентиниты, тальк-карбонатные породы – $\Sigma O1-2$) на севере. Все указывает на то, что центральная часть профилей (ПК 50 – 60 м) попадает на этот контакт пород разного состава, осложненного разломом. Урал является сейсмически спокойным регионом, но в зонах тектонических швов (разломов) возможна активизация микросмещений за счет внешнего воздействия (вблизи строительных площадок, железных и автомобильных дорог). Другой причиной возникновения трещин в доме может служить различие физико-механических свойств грунтов по разные стороны от тектонического контакта, приводящее к просадочным явлениям. На геоэлектрическом разрезе (рис. 4 а) выделяется anomalously low-impedance zone УЭС (3 Ом-м) именно в районе трещинообразования. Это может быть связано с утечками воды из систем водоснабжения и канализации, приводящими к высокой влагонасыщенности и, как следствие, – к повышенной пластичности грунтов. Последнее предположение подтверждается жилищной организацией, по сведениям которой, в подвале дома долгое время функционировала прачечная. Подтопление грунтов под фундаментом здания могло способствовать снижению несущей способности грунта и активизации суффозионных процессов. Вследствие этого произошла неравномерная осадка фундамента здания, приведшая к образованию трещин. По свидетельству наших коллег, активная циркуляция подземных вод в сочетании с суровым климатом является основной причиной

возникновения суффозионных процессов под фундаментами, приводящих к повреждениям зданий на Урале [1]. Показательным примером является аварийный и в настоящее время отселенный девятиэтажный жилой дом по ул. Мусоргского в Екатеринбурге. За счет неоднородности и обводненности грунтов в основании произошла неравномерная и аномально высокая просадка фундамента, приведшая к деформации здания с повреждением стен и внутренних помещений. В нашем случае позитивным фактором является то, что на разрезе коэффициента Пуассона (рис. 4 в) ничто не указывает на процессы разуплотнения грунтов, могущих привести к дальнейшим значительным деформациям.

Заключение

Результаты представленных и ранее проведенных исследований в пределах городской черты Берёзовского позволяют сделать вывод о высокой эффективности геофизических работ при изучении опасных геологических процессов на застроенных территориях. Основным методом по выявлению подземных пустот, образовавшихся за счет горных работ или в результате действия суффозионных процессов, следует признать комбинированную сейсморазведку. Поведение коэффициента Пуассона, рассчитанного по скоростям продольных и поперечных сейсмических волн, выражается в появлении контрастных аномалий пониженных значений в районе местоположения пустотного пространства и зон разуплотнения грунтов на фоне относительно однородного распределения μ в окружающих породах. Это позволяет утверждать, что один из наиболее подходящих параметров выделения опасных для застройки участков – коэффициент Пуассона. Электроразведка помогает в структурном и литологическом расчленении грунтов по электрическим свойствам, она также позволяет выделять обводненные зоны. Комплексирование сейсморазведки, электроразведки и гравиметрии позволяет получить расширенные данные о физических свойствах грунтов, что, в частности, дает возможность определить, чем заполнена пустота: воздухом, водой, глиной или другим грунтом.

Библиография

1. Гуляев, А.Н. Неоднородность грунтов в основании фундаментов как основная причина повреждений зданий в Екатеринбурге / А.Н. Гуляев, А.Ю. Осипова, В.А. Щапов // Архитектон: известия вузов. – 2011. – № 36. – URL: http://archvuz.ru/2011_4/20
2. Давыдов, В.А. Применение малоуглубинной сейсморазведки для изучения подработанных территорий / В.А. Давыдов // Горный журнал: известия вузов. – 2010. – № 4. – С. 111–116.
3. Давыдов, В.А. Повышение эффективности геофизических методов при малоуглубинных исследованиях: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / В.А. Давыдов. – Екатеринбург: ИРА УТК, 2012. – 24 с.
4. Инструкция по гравиразведке. – М.: Недра, 1980. – 80 с.
5. Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1997. – 106 с.
6. Инструкция по электроразведке / М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1984. – 352 с.
7. Интерпретация данных сейсморазведки: справочник / Под ред. О.А. Потапова. – М.: Недра, 1990. – 448 с.
8. Сейсмическая станция «Синус-24М». Руководство пользователя. – Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2004. – 17 с.
9. СНиП 22-01-95: Геофизика опасных природных воздействий. – М.: Минстрой России, 1996.
10. Park, C.B. Multichannel analysis of surface waves / C.B. Park, R.D. Miller, J. Xia // Geophysics. – 1999. – V. 64. – N 3. – P. 800–808.

Статья поступила в редакцию 20.03.2013

© Давыдов В.А., 2013

STUDY OF DANGEROUS GEOLOGICAL PROCESSES LEADING TO DAMAGE TO URBAN BUILDINGS

Davydov Vadim A.

PhD. (Geology). Institute of Geophysics,
Ural Division of the Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, Russia, e-mail: davyde@yandex.ru

Abstract

The potentially dangerous factors influencing buildings are the exogenic physical geology phenomena and processes (karst, erosion, fracturing, etc.). These may be studied with the help of geophysical methods. The article describes practical examples and results of geophysical inspection of damaged projects in Berezovsky, Sverdlovsk region. The objectives of the study involved the underlying rock condition and the character of the covering soil, as well as possible causes of exogenic changes that have led to damage to city buildings. The principal research methods included combined low-depth seismic surveying, vertical electrical sounding, and gravimetry.

Inspection of a subsidence near a road by geophysical methods revealed abandoned mine workings of the Soimanovskaya dike. However, the principal cause of the hole was the wash-out in the loose sediments resulting from suffusion processes.

Geophysical inspection carried out to identify the cause of the cracks in the facade of a 9-storey block of flats did not confirm the presence of underground workings under its foundation. However, a tectonic contact between rocks of different structure, characterised by loose sediments of varying thickness, were found out. The cause of the cracks is likely to be the physical mechanical properties of the rocks on the different sides of the contact, leading to settlement phenomena. The findings of the study suggest a conclusion the geophysical surveys are highly effective when studying dangerous geological processes in built up territories.

Key words:

ground settlement, underground hollows, suffusion, geological studies

References

1. Gulyaev, A.N., Osipov, A.Yu., and Shchapov, V.A. (2011) Nonuniformity of soils in the foundation bed as the principal cause of damage to buildings in Ekaterinburg. *Architecton*, No. 36, pp. 187–194. Available at: http://archvuz.ru/2011_4/20
2. Davydov, V.A. (2010) Use of low-depth seismic surveying for studying of subsided areas. *Gorny Zhurnal*, No. 4, pp. 111–116.
3. Davydov, V. A. (2012) Enhancing the effectiveness of geophysical methods in low-depth studies: author's summary of PhD dissertation (Geology). Ekaterinburg: IRA UTK.
4. Gravisurveying instruction. (1980) Moscow: Nedra.
5. Instruction on topographic, geodesic and navigation support for geological prospecting. (1997) Novosibirsk: SNIIGGiMS.
6. Electrosurveying instruction. (1984) USSR Ministry of Geology. Leningrad: Nedra.
7. Potapova, O.A. (ed.) 1990. Interpretation of seismic surveying data: Reference manual. Moscow: Nedra.
8. «Sinus-24M» seismic station. (2004) User's Guide. Ekaterinburg: IGF UrO RAN.
9. SNIIP 22-01-95. (1996) Geophysics of dangerous natural interactions. Moscow: Minstroy Rossii.
10. Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J. (1999) Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, V. 64, No. 3, pp. 800–808.