

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Котлов Ф. В., Снобкова А. И. Крупномасштабные инженерно-геологические карты изменения и охраны геологической среды городов	3
Шешеня Н. Л. Основы прогноза развития карста в карбонатных породах	7
Хоменко В. П. Принципы подбора эквивалентных материалов при моделировании геологических процессов	15
Копосов Е. В., Тычина О. В. Изучение направленности продвижения провального карстового процесса во времени в бассейне Нижней Оки	21
Мионов Н. А. Морфометрический метод обнаружения закрытого карста	26
Нещеткин О. Б. Анализ геофизических методов обнаружения карстовых полостей	29
Толмачев В. В., Беляев В. Л. Вопросы микрорайонирования закарстованных территорий по степени опасности для целей городского строительства	35
Тихвинский И. О. Перспективы совершенствования методов оценки и прогноза устойчивости склонов	39
Рагозин А. Л. Оползни и устойчивость склонов водохранилищ Днестровской ГЭС	45
Иконников Л. Б. Размыв берегов р. Волги в верховьях Чебоксарского водохранилища	49
Кузнецов В. В. Влияние уровня режима на переработку берегов равнинных водохранилищ	54
Стрижельчик Г. Г. Особенности развития инженерно-геологических процессов на территории г. Харькова	59
Платов Н. А., Аносова Л. А., Клинова Г. И. Оценка прочности мелкодисперсного элювия карбонатных грунтов	62
Затенацкая Н. П., Панкратова Н. А., Басинская Е. В. Деформация засоленных глин при их диффузионном выщелачивании	67
Лаврова Н. А., Окнина Н. А. Изменение инженерно-геологических свойств загипсованных глинистых пород при взаимодействии с раствором щелочи	74
Нефедова Т. В., Кротова А. В. Некоторые закономерности изменения прочностных и деформационных свойств песчано-глинистых отложений по трассе газопровода Надым — Пунга	79
Котельникова Н. Е., Быкова В. С. Распространение и свойства лессовых пород Алтайского края	83
Зиангиров Р. С., [Маричев В. П.] Инженерно-геологическая характеристика глинистого элювия восточного склона Южного Урала	87
Частоедов Ю. Н. Исследование влияния окатанности частиц на динамическую устойчивость песков	98
Афонин А. П. Оценка физико-механических свойств грунтов по результатам виброндирования	103
Гольдфельд И. З., Черняк Э. Р., Кальбергенов Р. Г. Исследование прочности грунта наклонной нагрузкой	110
Робустова Т. И. Исследование реологических свойств глинистых грунтов	113
Снежкин Б. А. Прогноз выщелачивания мергелей под воздействием пресных вод	121
Рубинштейн А. Я. Механические свойства погребенных органоминеральных отложений	124
Кригер Н. И., Гунешян О. Г., Джафаров Р. М., Тулабаев О. А., Петров А. Г. О замачивании и осушении лессовых грунтов на строительных площадках	129

ГОССТРОЙ СССР

Шешеня Н. Л.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
(ПНИИИС)

ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

(Сборник научных трудов)

Под редакцией д-ра
геол.-минерал. наук Р.С. Зиангирова
и канд. геол.-минерал. наук Н.Л. Шешени

МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1987

р. Бири с широтного на северо-западное при пересечении зоны нарушения; впадение правых и левых притоков по одной прямой, причем, часто под прямым углом к направлению основной долины; образование в плане Т-образной формы речной долины при слиянии двух водотоков, например руч. Ямурзины и р. Бири (см. рисунок).

Порядок речных долин в сочетании с их формой дает некоторое представление о тектонике местности. Участкам новейших тектонических поднятий характерен быстрый переход ложбины стока в овраги и балки, а затем в реки. В местах распространения поверхностных карстопоявлений густота овражно-балочной сети резко снижается. В таблице приведены сравнительные количественные характеристики густоты овражно-балочной сети.

Характеристика густоты овражно-балочной сети на участке г. Бирска

Порядок речных долин	Число эрозионных форм, шт.								
	Территории в целом	Карстовых полей							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	218	6	1	15	8	11	1	—	1
2	47	1	—	4	2	4	3	—	—
3	7	1	1	2	2	—	1	—	—
4	2	—	—	1	1	1	—	—	—

Для выявления локальных новейших и современных движений земной коры в пределах Бирского участка построена совмещенная карта базисных поверхностей и их разности с картой закарстованности (см. рисунок). Основой для составления карт базисной поверхности служит карта порядков долин. Выявление новейших движений земной коры по картам базисных поверхностей основано на следующем предположении: чем выше порядок долин, тем древнее эти долины, а долины одного порядка примерно одновозрастные. Поэтому базисные поверхности, построенные по долинам высших порядков, отражают движение за большой промежуток времени и испытывают влияние более глубоко расположенных горизонтов структурных ярусов, а базисные поверхности, построенные по долинам низших порядков, отражают суммарное движение верхних и нижних структурных ярусов за значительно меньший промежуток времени.

Для Бирского участка составлены карты базисной поверхности 2-го (без учета долин 1-го порядка), 3-го и 4-го (без учета долин 1-го и 2-го) порядков и карты разности базисных поверхностей. На карте базисной поверхности 2-го порядка четко выделяются две положительные структуры. К одной из них, расположенной в

юго-западной части участка, приурочено карстовое поле I. К другой, охватывающей значительную часть территории, приурочены основные карстовые поля (кроме поля VII, расположенного на высокой пойме р. Белой). Для северо-восточной части территории построена карта базисной поверхности 3-го порядка. Она отличается от базисной поверхности 2-го порядка, что объясняется влиянием новейших тектонических движений за промежуток времени между заложением долин 1—4-го и 2-го порядков. Ее изобазиты субперпендикулярны к изобазитам 2-го порядка. Их вершины указывают направление тектонических нарушений, вдоль которых расположены карстовые поля.

Разность высот между базисными поверхностями в центральной части участка достигает 45 м, в зоне простирающегося тектонического нарушения она не превышает 5 м. К склонам локальных антиклинальных поднятий приурочены карстовые поля II, VIII и частично III, IV, V, VI. Большая часть карстовых полей III—VI находится во впадине между локальными антиклинальными поднятиями. Отсутствие поверхностных карстопоявлений в центральной и западной частях антиклинального поднятия связано с мощными слабопроницаемыми толщами отложений, перекрывающих карстующиеся породы.

Таким образом, для описываемой территории современное развитие и распространение карста контролируется тектоническим строением территории и направленностью новейших тектонических движений. Морфометрический метод, не требующий полевых исследований, дает косвенное представление о ходе новейших тектонических движений и может быть использован для предварительного районирования и оценки закарстованности территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саваренский И. А., Калмыков Н. Т. Инженерно-геологическая характеристика карстовых явлений г. Бирска — Тр./ПНИИИС. — М., 1976, вып. 43. — С. 17—28.
2. Философов В. П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. — Саратов: Изд-во СГУ, 1975. — С. 231.

УДК 551.44+624.131.31 : 550.83

О. Б. Нецеткин

АНАЛИЗ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ

В СССР и за рубежом накоплен значительный опыт использования геофизических методов для обнаружения подземных полостей. Чтобы сравнивать возможности различных геофизических

методов, необходимо их оценивать каким-либо единым показателем. В качестве такого показателя можно использовать разрешающую способность метода, выражающуюся отношением глубины залегания H кровли полости к ее диаметру D при надежном обнаружении полости.

При геофизических изысканиях в карстовых районах ведущее место по объему выполняемых работ занимают электроразведочные методы, основанные на постоянном токе. Разрешающая способность их для полостей сферической и цилиндрической форм в целом невелика и составляет $0,5 \div 2,0$ для различных типов установок [7, 17]. Наибольшая разрешающая способность достигается при использовании установок с разностным полем.

Изменение залегающих над полостью пород в некоторых случаях увеличивает аномальный эффект в несколько раз. Показательными являются исследования с использованием многоразностного симметричного электропрофилеирования по методу вычитания полей в Подольске [5], позволившие закартировать сеть подземных горных выработок. Разрешающая способность составила от 4 до 11 выработок. В исследованиях зарубежных специалистов высокая разрешающая способность (от 3 до 6) получена для некоторых карстовых пещер [15]. Но в целом примеры высокой эффективности электроразведки на постоянном токе единичны.

В последние годы для обнаружения подземных пустот начинают использовать электромагнитные методы. Их основными преимуществами являются: бесконтактный способ измерений, возможность изменения глубины исследования посредством изменения частоты, фокусирование энергии на исследуемый горизонт и др.

Одной из значительных разработок в этой области является радиоволновой метод [3], основанный на изучении напряженности магнитной составляющей вторичного электромагнитного поля. Применяемая при этом аппаратура характеризуется высокой помехоустойчивостью. Она позволяет проводить непрерывную съемку с автоматической регистрацией измерений. При исследовании одесских катакомб [2] достигнута высокая разрешающая способность, составившая $5 \div 6$.

Основным препятствием эффективного использования дипольных электромагнитных методов для выявления карстовых полостей является изменчивость мощностей и проводимостей поверхностных слоев грунта, что затрудняет выделение аномалий, создаваемых залегающими ниже полостями. Поэтому значительный интерес представляет разработанный во Франции метод «фокусировки токов» [19, 14]. Сущность его заключается в использовании двух излучающих контуров с подобранными по амплитуде и фазе токами, что позволяет добиться перераспределения по глубине электромагнитного поля. Основным вклад в формирование принимаемого сигнала вносит слой грунта, в котором находятся подземные пустоты, а влияние пространственной неоднородности поверхностных слоев в значительной мере ослабляется. Предлагаемый

метод обладает втрое большей чувствительностью по сравнению с дипольным методом. Разрешающая способность метода — $2 \div 4$.

Существует ряд перспективных разработок в области электромагнитных методов с использованием емкостных датчиков. Эти разработки обеспечивают высокую производительность, портативность, помехоустойчивость и простоту обслуживания. Они включают «искусственный магнитотеллурический метод» [12] и аппаратуру для непрерывного электропрофилеирования, созданную в ПНИИСе. Первые результаты использования этих методов для оконтуривания подземных выработок говорят об их перспективности.

В США разработан способ обнаружения туннелей и других полых пространств, основанный на измерении сдвига фазы между составляющими магнитного поля [16]. В качестве источника поля используется линейный заземленный проводник (кабель), длина которого составляет 300 м. Измерения проводятся по профилям, параллельным кабелю. Способ позволяет обнаруживать туннели с сечением порядка 4 м^2 на глубинах до 30 м.

Следует отметить, что большинство эффективных результатов обнаружения карстовых полостей получено для тех из них, которые залегают выше уровня грунтовых вод и создают высокоомные контрастные аномалии. При поисках обводненных полостей разрешающая способность электроразведочных методов, как правило, меньше.

При исследовании карстовых районов, наряду с электроразведочными методами, применяются и сейсморазведочные (метод преломленных волн).

Наиболее эффективными являются исследования по картированию подземных выработок на основе использования совокупности кинематических и динамических признаков упругих волн [1]. Разрешающая способность этого метода составляет около 3.

За рубежом проведен ряд исследований с целью выявления возможности сейсморазведки методом отраженных волн для обнаружения полостей [8]. Модельные и натурные эксперименты показали перспективность метода для обнаружения неглубокозалегающих полостей (его разрешающая способность составила $2,0 \div 2,6$).

Одним из перспективных методов обнаружения полостей является гравиметрия. Если рассмотренные выше геофизические методы практически неприменимы на застроенных территориях вследствие высокого уровня помех, то гравиметрия не имеет подобных недостатков, так как базируется на специфической физической особенности полостей — наличии дефицита плотности по отношению к вмещающим породам. Другой фактор, благоприятствующий применению гравиметрии, заключается в том, что при наличии полости перекрывающие породы подвергаются разуплотнению, что создает дополнительный дефицит плотности. В ре-

зультате этого наблюдаемые аномалии превышают теоретические примерно в два раза [18].

Теоретическая разрешающая способность гравиметрии при измерении силы тяжести V_z , горизонтальной и вертикальной составляющих градиента силы тяжести V_{xz} , V_{zz} , при дефиците плотности 2 г/см^3 для полостей сферической и цилиндрической форм приведена в таблице.

Диаметр полостей D	Разрешающая способность					
	для сферической формы			для цилиндрической формы		
	$V_{z_{\max}} =$ $=0,05 \text{ мгал}$	$V_{x_{z_{\max}}} =$ $=10E$	$V_{z_{\max}} =$ $=10E$	$V_{z_{\max}} =$ $=0,05 \text{ мгал}$	$V_{x_{z_{\max}}} =$ $=10E$	$V_{z_{z_{\max}}} =$ $=10E$
2	—	—	—	1,17	—	—
4	0,25	1,3	1,9	2,78	4,7	5,9
10	0,75	—	—	—	—	—

Значение разрешающей способности для полостей цилиндрической формы (при измерении V_z) будет способствовать табличному при условии «бесконечности», т. е. когда длина полости примерно в шесть раз превышает глубину ее залегания. Например, для диаметра 4 м длина составит около 80 м. На практике такие условия наблюдаются сравнительно редко, следовательно, теоретическая разрешающая способность для цилиндрических форм ограниченной длины будет ниже.

Несмотря на разуплотнение пород, окружающих полость, возможности гравиметрии (при измерении V_z гравиметрами с чувствительностью 0,01 мгал) ограничены и сравнимы с возможностями электроразведки и сейсморазведки. Увеличения разрешающей способности гравиметрии можно добиться путем использования гравиметров с большей чувствительностью, а также измерения V_{xz} и V_{zz} .

В настоящее время существует высокочувствительный (0,002 мгал) гравиметр «Микрогал», сконструированный фирмой Лакоста и Ромберга (США) и позволяющий выделять аномалии порядка 0,01 мгал. При использовании такого гравиметра теоретическая разрешающая способность гравиметрии увеличится по сравнению с табличной в 3–5 раз.

Перспективным является измерение V_{xz} , обеспечивающее повышение разрешающей способности и уменьшение влияния «небесконечности» цилиндрических форм. В настоящее время существует ряд гравитационных вариометров и градиентометров, позволяющих сравнительно быстро и с высокой точностью проводить

измерения, но при изысканиях данный вид измерений практически не используется.

Наибольшая разрешающая способность может быть получена при измерении V_{zz} , однако прибор такого типа до сих пор не сконструирован.

В настоящее время за рубежом для обнаружения полостей широко применяется способ измерения V_{zz} при помощи высокоточных гравиметров и специальных вышек [13, 20]. Причем погрешность измерения при использовании гравиметра «Микрогал» составляет от 1 до 10E. Система для комплексной обработки микрогравиметрических измерений [6] позволяет с высокой точностью определять поправки за рельеф и влияние сооружений. Таким образом, реализована возможность проведения микрогравиметрических исследований на территориях с любой плотностью застройки. Величина практической разрешающей способности составляет от 2 до 6.

При значительных глубинах залегания полостей, когда наземные геофизические методы не в состоянии обнаружить полость, особое значение приобретают методы исследования околоскважинного и межскважинного пространства. В отечественной практике изысканий подобные методы обнаружения полостей используются крайне редко, хотя в этой области существуют определенные достижения. К ним относится электромагнитный метод исследования околоскважинного пространства, разработанный во Франции. Метод заключается в излучении электромагнитного поля посредством помещения двух электродов в устье и забое скважины и измерении на поверхности по радиальным лучам составляющих магнитного поля. Поисковым признаком является нарушение симметричности поля. Радиус исследования [10] предлагаемым способом вдвое превышает размеры искомой полости.

Значительных успехов в области исследования межскважинного пространства можно получить с помощью метода локализации высококонтрастных аномалий (туннелей) при помощи электромагнитного просвечивания [9]. Метод основан на дифракции электромагнитных волн на границе туннелей, шахт и т. п., местоположение которых определяется по резкому уменьшению мощности и изменению фазы сигнала. Горизонтальная и вертикальная погрешности при обнаружении туннеля диаметром 1,5 м при расстоянии между скважинами 24 м составили 0,9 м.

В настоящее время в СССР разработана методика межскважинного прозвучивания [4] для обнаружения карстовых полостей и изучения степени закарстованности пород, основанная на изучении скоростей и коэффициентов поглощения продольных волн. Сконструированная аппаратура позволяет обнаруживать полости диаметром не менее 4–8 м или совокупности мелких полостей. Исследования, проведенные в некоторых районах Москвы, доказали высокую эффективность метода.

Большой интерес представляют исследования по локализации круглоцилиндрических полостей сейсмическим просвечиванием на основе изучения амплитуд прямых и дифрагированных волн [11]. Модельные эксперименты позволили разработать методику определения центра и диаметра полости.

Изложенные выше достижения в области обнаружения подземных полостей геофизическими методами показывают, что наиболее перспективными являются: электромагнитные методы, микрогравиметрия, современные разработки в области исследования околоскважинного и межскважинного пространства. Широкое внедрение указанных методов в практику инженерных изысканий позволит повысить их эффективность и добиться значительной экономии при освоении закарстованных территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимова Е. А. Опыт использования сейсмоакустических методов для обнаружения и трассирования заброшенных горных выработок. — Тр./Гидропроект, 1971, вып. 21. — С. 219—229.
2. Задегилова М. М. Определение местоположения подземных пустот радиоволновым методом. — Основания, фундаменты и механика грунтов. — М., 1973, вып. 2. — С. 14—16.
3. Иванов А. А., Стеценко В. Г., Пушкарь М. С. Опыт применения радиоволнового метода обнаружения карстовых полостей. — Инженерные изыскания в строительстве. Реф. сб. Сер. 15. — М.: ЦИНИС, 1979, вып. 5. — С. 20—24.
4. Методические указания по проведению межскважинного прозвучивания и интерпретации его результатов при решении инженерно-геологических задач. — М.: ВНИИЯГ, 1980. — 58 с.
5. Опыт строительства жилых зданий над карстовыми полостями и старыми подземными выработками / Моргулис М. Л., Зеленцов А. В., Квятковский Д. В. и др. — Основания, фундаменты и механика грунтов. — М., 1979. — № 1. — С. 8—10.
6. Blizkovsky M. Processing and applications in microgravity surveys. — Geophysical prospecting, 1979, vol. 27, n. 4, pp. 848—861.
7. Borm G. Die Grenzen der Ortungsmöglichkeiten von unterirdischen Hohlräumen bei Anwendung geoelektrischer Gleichstromverfahren. — Proceedings of the Symposium of the International Association of Engineering Geology (IAEG), 10th—13th September, 1973, Hannover (Germany). Т. 3, J—J5.
8. Contribution à la détection par sismique reflexion des cavités souterraines de faible profondeur / Frappa M., Horn R., Muraour P., Perragallo J. — Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 1977, n. 92, nov. — dec., pp. 59—65.
9. Cross-borehole electromagnetic probing to locate highcontrast anomalies / Lytle R. J., Laine R. F., Lager B. L., and Davis D. T. — Geophysics, 1979, vol. 44, n. 10, pp. 1667—1676.
10. Detection des cavités souterraines par une méthode électromagnétique entre surface et forage / Gabillard R., Dubus J.-P., Bavandi R., Rat M., Lagabriele R. — Bulletin de Liaison de Laboratoires des Ponts et Chaussées, 1977, n. 92, nov.-dec., pp. 68—73.
11. Dresen L. Investigation of diffracted seismic wave amplitudes as a method for locating circular-cylindrical cavities in solid rock. — Proceedings of the Symposium of the International Association of Engineering Geology (IAEG) 10th—13th September, 1973, Hannover (Germany), Т. 3, A—A8.

12. Dupis A. Localisation des cavités par la méthode magnetotellurique artificielle (MTA). — Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 1977, n. 92, nov.-dec., pp. 66—67.

13. Fajkiewicz L. J. Gravity vertical gradient measurements for the detection of small geologic and antropogenic forms. — Geophysics, 1976, vol. 41, n. 5, pp. 1016—1030.

14. Gabillard R., Dubus J.-P. Procédé électromagnétique par focalisation des courants. — Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 1977, n. 92, nov.-dec., pp. 80—86.

15. Greenfield Roy J. Review of geophysical approaches to the detection of karst. — Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 1979, vol. XVI, n. 3, pp. 393—408.

16. Method for determining changes in earth resistivity by measuring phase difference between magnetic field components / United States Patent/. № 4 079 309, Int. Cl. G01V3/08.

17. Militzer H., Rösler R., Lösch W. Teoretical and experimental investigation for cavity methods. — Geophysical Prospecting, 1979, vol. 27, n. 3, pp. 640—652.

18. Neumann R. Prospection gravimétrique appliquée à la location des cavités souterraines. — Proceeding of the Symposium of the International Association of Engineering Geology (IAEG), 10th—13th September, 1973, Hannover (Germany), Т. 3, B—B12.

19. Procédés de filtrage et de focalisation de champ pour la détection électromagnétique des carriers souterraines / Dubus J.-P., Clicque D., Baudet J., et Gabillard R. — Geophysical Prospecting, 1978, vol. 26, n. 2, pp. 407—420.

20. Sliz J. Localisation of karst phenomena by the microgravimetric method. — Proceedings of the 21-st Geophysical Symposium, Leisig, 1976, vol. 1. Budapest, 1977, pp. 513—521.

УДК 624.131.542+551.542

В. В. Толмачев, В. Л. Беляев

ВОПРОСЫ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ГОРОДСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Под микрорайонированием закарстованной территории мы понимаем дифференциацию ее на зоны и участки по ряду признаков, характеризующих степень и характер опасности карста для зданий и сооружений на заданный срок их службы и непосредственно определяющих инженерно-планировочные решения на детальном стадиях проектирования. Такое микрорайонирование позволяет в максимально учитывать карстоопасность и назначать противокарстовые мероприятия до начала разработки рабочей документации.

Выполнение микрорайонирования приобретает особый смысл в условиях покрытого глубокого [1] карста, когда не представляется возможным с достаточной достоверностью обнаружить карстовые полости и определить их размеры. Оно должно проводиться