

УДК 621.396

Метод оценки зависимости геодинамической активности от гидрологических характеристик карстоопасных участков *

Греченева А.В., Дорофеев Н.В.

В данной статье описан метод оценки зависимости геодинамической активности от гидрогеологических характеристик карстоопасных участков. Установлена структурная взаимосвязь уровня водонасыщенности и типа пористости грунтовых пород. Дана характеристика параметров гидрологического режима и выявлены зависимости электрических характеристик геологического разреза от коэффициента водонасыщенности грунта. На основе выявленных электрических соотношений между электрическими, геомеханическими и гидрогеологическими параметрами, используя метод электроразведки можно повысить эффективность автоматизированных систем геомониторинга. Учет гидрологического режима местности (атмосферные осадки, сезонные климатические изменения, таяние снега) при построении автоматизированных геодинамических систем мониторинга позволяет производить комплексную оценку структуры геологического разреза, а зная значение параметров водонасыщения грунта можно судить о строении (уровне пористости и пустотности) грунтовых масс.

Ключевые слова: геодинамика, мониторинг, геологическая среда, нагрузочно-деформационное состояние.

Methods for assessment of geodynamic activity of the hydro-geological characteristics of karst areas

Grecheneva A.V., Dorofeev N.V.

This article describes a method for estimating the geodynamic activity depending on the hydrogeological characteristics of the karst areas. Installed structural relationship of water saturation level and the type of soil porosity rocks. The characteristic parameters of the hydrological regime and identified according to the electrical characteristics of the geological section of the coefficient of water saturation of soil. Based on the identified relationship between the electric power, geomechanical and hydrogeological parameters, using the method of electrical efficiency can be improved automated systems geomonitoring. Accounting for the hydrological regime of the area (precipitation, seasonal climate changes, melting snow) in the construction of automated geodynamic monitoring allows a comprehensive assessment of the geological structure of the section, and knowing the value of the parameters saturated soil can be judged on the structure (porosity level and emptiness) ground mass.

Keywords: hydrogeology, geomechanics, karst area, saturated soil, automated monitoring.

Введение

Грунтовые воды характеризуются сравнительно низкой степенью горизонтальной подвижности, однако, динамические изменения их уровня вызывают эффект растворения грунтовых пород. В случае карстовых массивов, гидрогеологические условия также сходны с условиями, присущими другим водопроницаемым породам, однако подземные воды в них находятся в более интенсивном движении.

Под влияние попадают известняки, гипсы, доломиты и т.д.

Особенности рельефа закарстованных массивов определяют высокую скорость проникновения атмосферных и речных вод на глубину и создают особые черты режима карстовых вод, характеризующиеся резкими колебаниями уровня, амплитуда которых зависит от глубины залегания подземных вод. Следует отметить, что карстовые воды подвержены

* Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-7406.2015.8

воздействию эпизодических (сезонных) факторов гидрологического режима (паводки, ливневые осадки, снеготаяние). Совокупность влияния данных факторов предопределяет поверхностные и подземные проявления карста. Как известно, карстово-суффозионные явления носят недетерминированный характер, что приводит к неожиданному, резкому изменению формы поверхности и внутреннего строения породы (просадки, деформации) [1,2]. Локализация и мониторинг карстового процесса необходимы для прогнозирования неблагоприятных условий возникновения катастроф и уменьшения наносимого ущерба биосфере.

Гидрологические характеристики грунтовых пород

Основными показателями закарстованности массива грунтовых пород являются пустотность, а также преобладающая пористость:

$$e = \frac{(1+w)\gamma_s}{\gamma} - 1, \quad (1)$$

где e – коэффициент пористости;

γ – удельный вес грунта;

γ_s – удельный вес частиц грунта;

w – весовая влажность.

При этом для определения коэффициента (индекса) водонасыщенности S_r вычисляется отношение природной влажности гранта w к влажности при полном заполнении пустот и пор водой w_{sat} :

$$S_r = \frac{w}{w_{sat}} = \frac{w\gamma_s}{e\gamma_w}, \quad (2)$$

Значения данного коэффициента лежат в пределах от нуля (абсолютно сухой грунт) до единицы (полностью водонасыщенный грунт).

При численном моделировании процессов водонасыщения грунта целесообразно применять закон Дарси, который описывает линейный характер движения жидкости в грунтах

при фильтрации жидких осадков грунтовыми породами:

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{L}, \quad (3)$$

где v – скорость фильтрации жидкости,

Q – объемный расход,

F – эффективная площадь рассматриваемого объема среды,

k – коэффициент проницаемости среды,

μ – динамическая вязкость жидкости,

Δp – перепад давления на длине среды L .

Организация автоматизированного геодинамического контроля с учетом гидрологического режима местности

Наиболее дифференцированным свойством карстующихся пород является их удельное электрическое сопротивление, которое тесно взаимосвязано с гидрогеологическими параметрами и на основе измерения которого можно судить о геомеханической структуре грунтового разреза [3].

Как показывает представленный график, значение водообильности грунтовых пород обратно пропорционально удельному электрическому сопротивлению.

В настоящее время для ведения мониторинга и контроля глубинных и приповерхност-

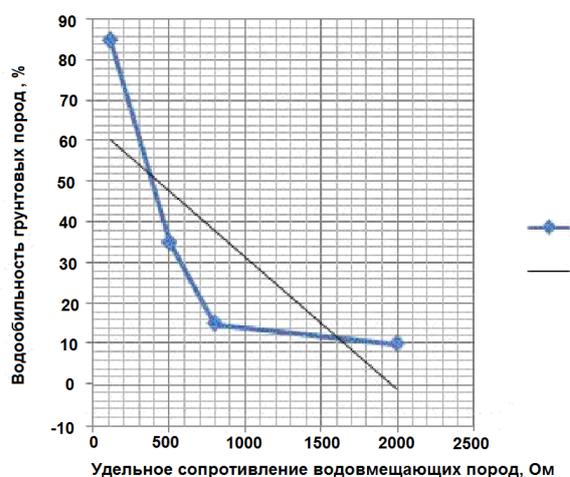


Рис. 1. График зависимости водонасыщенности грунтовых пород и удельным электрическим сопротивлением данной среды.

ных карстовых процессов, изучения карстовой зональности, локализации и решения многих других задач, наиболее перспективным геофизическим методом, лежащим в основе автоматизированных систем мониторинга, является метод электрического зондирования.

Суть данного метода заключается в создании электрического поля при помощи системы точечных источников переменного тока, располагаемых на поверхности. Регистрация электрического потенциала этих источников осуществляется с помощью двух питающих (А и В) и двух измерительных (М и N) электродов. Информативными параметрами служит сила тока и напряжение, образованное между приемными электродами. Далее, учитывая геометрический коэффициент установки, можно рассчитать кажущееся сопротивление (ρ_k), косвенно характеризующее истинные электрические параметры геологической среды:

$$\rho_k = k \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}}, \quad (4)$$

где k - коэффициент установки, ΔU_{MN} - разность потенциалов на приемной линии MN , I_{AB} - ток в линии AB . В общем случае формула для коэффициента установки имеет вид:

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{BN}}}, \quad (5)$$

При этом увеличение геометрических размеров установок ведет к увеличению глубины исследований [4].

На основе выявленных электрических соотношений между электрическими, геомеханическими и гидрогеологическими параметрами, методами электроразведки удается достаточно грамотно и надежно картировать зоны нарушений в структуре геологического разреза и приуроченные к ним области повышенной закарстованности.

Для решения задачи локализации неоднородностей в приповерхностных слоях созда-

ется трёхмерная матрица $M \times N \times L$, где M – долгота, N – широта, L – глубина. Так как причиной изменения геологической среды является комплексное воздействие множества параметров, необходимо применять поправочные коэффициенты, учитывающие внешние дестабилизирующие факторы [5]. Приведённая матрица $A \{N;M;L\}$ подвергается линейной и нелинейной обработке, что позволяет выделить резкие перепады и получить трёхмерную картину распределения прогнозных оценок геодинамики. Результатом данной обработки является трёхмерная матрица $A' \{N;M;L\}$, значение элементов которой отлично от нуля только в областях резких изменений. Следующим этапом обработки является осуществление пороговой фильтрации, позволяющей выделить границы объекта.

Для повышения помехоустойчивости на этапе предварительной обработки предлагается применить метод выделения перепадов с согласованием. Данный метод основан на том, что перед применением дифференциального оператора осуществляется согласование со значениями в рассматриваемом окне некоторой поверхности первого или второго порядка. Локация приповерхностных неоднородностей, принадлежащих рассматриваемому пространству, осуществляется при помощи вычисления модуля градиента распределения фаз в матрице A . Безусловно, не исключена вероятность ложного обнаружения приповерхностных неоднородностей. С целью снижения данной вероятности необходимым этапом является дополнительная обработка зарегистрированных аномалий в структуре геологического разреза. Одним из решений данной проблемы является поиск форм обнаруженной аномалии в базе разработанных геоэлектрических моделей.

Заключение

Учет гидрологического режима местности при построении автоматизированных геодинамических систем мониторинга позволяет про-

изводить комплексную оценку структуры геологического разреза, а зная параметры водонасыщения грунта можно судить о строении (уровне пористости и пустотности) грунтовых масс. Регистрация данного параметра и применение его в численных методах производится с целью корректировки параметров математической модели при адаптации ее к объекту и позволит наиболее точно локализовать карстовые пустоты.

Литература

1. Кузичкин О.Р. Программно-аппаратная организация электролокационных систем при геомониторинге карста. // Проектирование и технология электронных средств. 2006. №4.– С.54-58.
2. Лисицын В.В. Рекомендации по геофизическому исследованию закарстованности территорий, предназначенных для строительства. – Москва, 1971.
3. Мельник В.В. Обоснование геомеханических факторов для диагностики опасности карстопроявлений при недропользовании. - Екатеринбург, 2010. - 189 с.
4. Доброхотова И.А., Новиков К.В. Электроразведка. Учебное пособие. - М: РГГУ, 2009.
5. Кузичкин О.Р., Дорофеев Н.В. Анализ алгоритмических ошибок и погрешностей при регрессионной обработке геомагнитных измерений // Метрология, 2007. № 11. – С. 50-56.

Статья поступила в редакцию 20 июля 2015 г.

Греченева Анастасия Владимировна – аспирант факультета «Информационных технологий и прикладной математики» ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Муром, Россия. E-mail: nastena07_93@mail.ru

Дорофеев Николай Викторович – кандидат технических наук, зав. кафедрой «Управление и контроль в технических системах» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: DorofeevNV@yandex.ru

Grecheneva Anastasiya Vladimirovna – Graduate student, Belgorod National Research University, Murom, Russia. E-mail: nastena07_93@mail.ru

Dorofeev Nikolay Viktorovich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: DorofeevNV@yandex.ru

References

1. *Kuzichkin O.R.* Programmno-apparatnaja organizacija jelektrolokacionnyh sistem pri geomonitoringe karsta [Software and hardware operation electrolyte-cation systems in Geomonitoring karst.] // Proektirovanie i tehnologija jelektronnyh sredstv [Design and technology of electronic means], 2006. №4.– P.54-58.
2. *Lisicyn V.V.* Rekomendacii po geofizicheskomu issledovaniju zakarstovannosti territorij, prednaznachennyh dlja stroitel'stva [Recommendations for geophysical research karst areas designated for construction]. – Moskva, 1971.
3. *Melnik V.V.* Obosnovanie geomechanicheskikh faktorov dlja diagnostiki opasnosti karstoprojavlenij pri nedropol'zovanii [Substantiation of geomechanical factors for the diagnosis of the dangers of karst manifestations in the subsoil] - Ekaterinburg, 2010. - 189 p.
4. *Dobrohotova I.A., Novikov K.V.* Jelektrozvedka [Electromagnetics]. Uchebnoe posobie. - Moscow: RGGU, 2009.
5. *Kuzichkin O.R., Dorofeev N.V.* Analiz algoritmicheskikh oshibok i pogreshnostej pri regressionnoj obrabotke geomagnitnyh izmerenij [Analysis algorithmic error and the error-not arise in the regression processing geo-magnetic measurements] // Metrologija [Metrology], 2007. № 11. – С. 50-56.