

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ ИНЖЕНЕР-ГЕОЛОГОВ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ ГЕОЛОГОВ РОССИИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АДМИНИСТРАЦИЯ ПЕРМСКОЙ ОБЛАСТИ

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS
NATIONAL COMMITTEE OF GEOLOGISTS OF RUSSIA
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCES OF RUSSIAN FEDERATION
MANAGEMENT OF PERM AREA

**КАРСТОВЕДЕНИЕ – XXI ВЕК:
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ**

МАТЕРИАЛЫ
МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА
25 – 30 мая 2004, Пермь (Россия)

**KARSTOLOGY – XXI CENTURY:
THEORETICAL AND PRACTICAL SIGNIFICANCE**

PROCEEDINGS OF THE
INTERNATIONAL SYMPOSIUM
25 – 30 May, 2004 Perm (Russia)

РОССИЯ, ПЕРМЬ 2004
RUSSIA, PERM 2004



Образовавшиеся таким путем вертикальные полости постепенно заполняются щебнем вышележащего слоя выветрелых опок.

Таким образом, в диатомитах получают распространение суффозионные процессы, которые расширяют тектонические трещины и усиливают воздействие карста в мелах. Этот процесс продолжает оставаться активным вследствие продолжающегося интенсивного водообмена. О суффозионных процессах в инзенских диатомитах кратко упоминал в свое время проф. Е.В. Милановский [3].

Развитие карста в мелах в совокупности с суффозией в диатомитах было охарактеризовано и в работе карстоведов, описывавших современные геологические и инженерно-геологические явления в пределах Ульяновско-Саратовской синеклизы [4].

Сочетание карста и суффозии, как это имеет место в описанной обстановке, значительно осложняет условия строительства. Образование суффозионных воронок и каналов в нерастворимых породах типа диатомитов и опок весьма усиливает карстовые процессы.

Основные меры по предотвращению их развития на участках, где возводятся инженерные сооружения, должны быть направлены на предотвращение проникновения атмосферных вод в толщу пород.

Библиографический список

1. Попов И.В. *Инженерная геология СССР. Ч. II.* 1965.
2. Рожкова Е., Воронков Б. *Очерк месторождений трепела и диатомита СССР // Труды НИИ геологии и минералогии, вып. 8, 1934.*
3. Милановский Е.В. *Гидрогеологический очерк правобережья Среднего и Нижнего Поволжья // Сб. Гидрогеология СССР, вып. VI, кн. 3, Госгеолиздат, 1943.*
4. *Гидрогеология СССР. Т. XIII. Поволжье и Прикамье. 1970.*

В. И. Марцинкявичюс, Р. Б. А. Микшис
Вильнюсский университет, Вильнюс, Литва

РАСЧЕТНЫЙ ПРОГНОЗ КРИТИЧЕСКОГО РАДИУСА КАРСТОВЫХ ПРОВАЛОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОСЛОЙНОЙ ПЕРЕКРЫВАЮЩЕЙ ТОЛЩИ

Имеющиеся методы расчета критического радиуса карстовых провалов разработаны для неслоистых перекрывающих толщ, характеризуемых геостатической напряженностью покоя. В статье приводятся результаты применения способа последовательного кумулирования для случая слоистой гетерогенной толщи, перекрывающей карстовую полость и находящейся в предельно напряженном состоянии под действием активного давления. Данный способ является весьма эффективным для региональных геологических условий карстового района Северной Литвы.

PROGNOSIS OF SINKHOLES CRITICAL RADIUS IN STRATIFIED ROCK MASS COVER

The existing estimation methods for sinkhole's initial critical radius values are valid for nonlayered overburden rock mass cover and statistical homogeneous geomechanical properties. Applied estimation methods ignore critical state of overstrained rock mass and use Poisson's ratio for determining earth pressure at rest. The article present a new approach to sinkhole's initial critical radius estimation in heterogeneous and layered overstrained rock mass cover. New method is optimum to geological and geomechanical conditions in North Lithuanian carstic region.

В пределах Биржайского и Пасвальского районов Северной Литвы распространены поверхностные (воронки, колодцы, мульды оседания и др.) и подземные (полости, расширенные трещины, каналы и др.) проявления сульфатного карста. Поверхностные формы проявления представлены чаще всего карстовыми воронками, число которых превышает 8500 [17]. Воронки эти образовались на месте обрушений свода и провалов перекрывающей толщи подземных карстовых полостей, образовавшихся вследствие процессов растворения и выщелачивания гипса. Подземные полости и пустоты прослеживаются вдоль тектонических нарушений сплошности массивов горных пород, особенно в местах пересечений тектонических трещин. Подземные полости формируются десятилетиями, столетиями, возможно, тысячелетиями, а подземные вывалы горных пород и обрушения перекрывающей толщи происходят спонтанно, за считанные секунды образуя провалы земной поверхности круглого сечения. Потеря устойчивости толщи перекрывающих пород в своде происходит вследствие разрастания поперечного сечения карстовой полости до критического, оцениваемого так называемым критическим радиусом провала. Спонтанному, внезапному обрушению масс горных пород в своде полости способствуют увеличение веса и уменьшение сдвиговой прочности – сопротивляемости срезу – горных пород перекрывающей толщи при ее насыщении водой или вследствие убывания взвешивающей составляющей геостатических напряжений при изменении уровня подземных вод. Возникновению предельных состояний в своде карстовой полости способствуют внешние статические нагрузки, динамические силовые воздействия и другие техногенные факторы. Характер и размеры карстовых провалов, их пространственное расположение относительно контура

SUFFOSION CHANNELS IN DIATOMITES

The results of karst researching along the railway Inza-Ruzaevka are considered. Here, in Inza career area, Paleogen diatomites beddles on Cretaceous deposits. Chalk under action of stale waters passes into plastic condition. As a result the karst in Cretaceous rocks developments. Karst amplifies by suffosion, which expands cracks in diatomites. Superficial waters take out diatomite particles through cracks, which place the road-metal of overlaid opoka acts.

В практике инженерного строительства возведение сооружений производится на участках с самыми различными геологическими условиями. Интересен в этом отношении пример прокладки линии электропередач вдоль железной дороги между городами Инза – Рузаевка.

Рассматриваемый район относится к северной части Приволжской возвышенности. По характеру рельефа он представляет собою возвышенное плато, расчлененное долинами р. Инзы, впадающей в р. Суру, и ее притоков.

По трассе ЛЭП, в восточной части этого района, зачастую в непосредственной близости от места заложения ее опор, встретилось значительное число воронок, выгнутых котловин и (гораздо реже) провалов. Больше всего карстовых форм отмечалось около Инзенского диатомитового карьера (в 2 км от г. Инза) и вблизи ст. Ночка (18 км западнее г. Инза).

Наиболее крупные воронки имеют диаметр 35-40 м и глубину 6-8 м. Местами они переходят в ложбины типа слепых долин, разделенных сниженными перемычками. Стенки воронок довольно крутые, но в большинстве своем задернованные. На дне некоторых из них обнаружены поноры диаметром 10-15 см.

Воронки обычно располагаются в верхней части коренного склона долины р. Инзы. Они приурочены к району распространения меловых пород, перекрытых кремнисто-глауконитовыми отложениями палеогена. Последние представлены кварцево-глауконитовыми песками, песчаниками, кремнистыми глинами, опоками, диатомитами.

Диатомиты (трепелы) в районе г. Инзы относятся к сызранскому ярусу палеогена. Их мощность достигает 60-70 м. Они подстилаются отложениями маастрихтского яруса верхнего мела. Сверху диатомитовая толща перекрыта слоем опок мощностью 2-3 м, сильно выветрелых и разбитых до состояния остроугольного щебня. Нередко глинистые разности опок размокают в воде.

Инзенские диатомиты, являющиеся хорошим сырьем для выработки кирпича и изоляционных материалов, представляют собой желтоватую, при высыхании почти белую мучнистую породу, очень легкую и пористую.

Это однородная кремнеземистая масса, состоящая в основном из панцирей диатомитовых водорослей и их обломков, с примесью глинистого материала. Объемный вес диатомитов не превышает 0,7-0,8 г/см³. При размокании они быстро поглощают воду, теряя связность.

При разработке верхнего уступа карьера экскаватором в толще диатомита были обнаружены остатки фауны. Здесь по желтоватой охристой окраске породы оказались хорошо заметны следы ребер, обнаружена также часть челюсти. По сохранившемуся зубу, согласно заключению геологического института АН СССР, было установлено, что указанные остатки фауны принадлежали шерстистому носорогу. Вполне вероятно, что животное, время существования которого относится ко второй половине плейстоцена, было погребено в воронке или трещине в нижнепалеогеновых отложениях.

Для данной территории характерны вертикальные или близкие к вертикальным трещины, наблюдаемые в склонах долин и балок [1]. Они имеют тектоническое происхождение и обычно заполнены обломочным материалом, представленным щебнем залегающих сверху опок. Этот щебень заносится в трещины в диатомитах поверхностными водами.

Инфильтруясь, поверхностные воды проникают через толщу кремнисто-глауконитовых пород в отложения маастрихтского яруса верхнего мела. Мощность этих отложений достигает здесь 60-70 м.

Региональный водоупор между меловыми породами и сызранскими опоками отсутствует. Заключенные в трещиноватых мелах подземные воды преимущественно пресные, с минерализацией до 1 г/л. Под длительным воздействием этих вод пичий мел способен переходить в пластичное состояние.

Водообмен в трещиноватых мелах и перекрывающем их слое щебнистых опок довольно значителен (среднеголетние модули подземного стока превышают 2 л/с с 1 кв. км). Дренарующей системой является бассейн р. Суры.

Трещины в толще диатомита носят вид своеобразных расщелин, заполненных, как уже говорилось, щебнистыми опоками. Книзу расщелины делаются все более узкими, а заполняющий их материал становится мельче. Расщелины протягиваются в стенках карьера на значительные расстояния.

Так, в частности, одна из них была прослежена в карьере на протяжении 150 м. Среди заполняющего расщелину щебня опоки был обнаружен уходящий вниз естественный канал, который удалось прощупать металлическим прутом на глубину около 5 м.

Благодаря темному цвету заполнителя трещины четко выделяются среди светлой толщи диатомита. Одна из таких расщелин имела по верху размеры 9 м, сужаясь до 2-2,5 м. Она прослеживалась на 12 м в глубину, уходя ниже подошвы карьера.

Нами наблюдались также и совсем свежие ходы в диатомите, образовавшиеся после интенсивных дождей. Они имели размеры до 20-40 см в поперечнике.

Исходя из приведенных фактов, а также данных опытов по замачиванию образцов породы [2], можно сделать следующие выводы.

Воронки в диатомитах образуются в результате карстовых процессов в нижележащих мелах, с последующим расширением и углублением их по тектоническим трещинам.

Инфильтрующиеся воды отделяют легкие пылеватые частицы диатомита от стенок каналов и трещин.

нии критической разности напоров ($\Delta H_{кр0}$) на отметке подошвы слоя, которую примем за нулевую (рис. 5). Пусть исходные уровни грунтовых и напорных вод находятся на разной глубине, и имеет место перетекание с начальным градиентом $I = dH'/dh$, равным $I = (H - H_0')/h = \Delta H'/h$ в частном случае, показанном на рис. 1, б и 5. После разрушения глинистого слоя, когда давление воды в нем отобразится отрезком АС (рис. 1, г), разность напоров в соответствии с равенством (9) будет полностью реализована в касательных напряжениях ($K_\sigma/K_\tau \ll 1$, $\tau_w = g\rho_w \Delta H$). Видно (рис. 5), что до разрушения избыточные по сравнению с давлением воды в кровле подстилающих отложений (на нулевой отметке) гидростатические напряжения (σ_w)_z уменьшаются с увеличением расстояния z от плоскости сравнения. Они изменяются от $(\sigma_w)_0 = g\rho_w \Delta H_0$ до $(\sigma_w)_h = g\rho_w \Delta H_h$. Если по оси абсцисс откладывать давление воды в метрах водного столба, как на рис. 5, то нетрудно показать на основании только геометрических соображений, что распределение избыточного напора в слабопроницаемом слое подчиняется зависимости

$$\Delta H_z = \Delta H_0 - z + Iz. \quad (13)$$

Заменяя в (12) ΔH_0 на $(\Delta H_{кр0})_z$, z на мощность слоя глин h , ΔH_z на разность $\Delta H_h = C/g\rho_w$ и разделив полученное значение избыточного (в подошве слоя) напора на n , получим

$$(\Delta H_{кр0})_z = [C/g\rho_w + h(1 - I)]/n. \quad (14)$$

Уравнение (14) показывает, что в зависимости от направления и скорости вертикальной фильтрации в ненарушенных гидрогеологических условиях сработка напора подземных вод, необходимая для полного разрушения водоупора, может быть меньше или больше величины, определяемой равенством (12). В частном, но чрезвычайно широко распространенном случае, когда исходные положения пьезометрических уровней можно считать одинаковыми ($-0,1 < I < 0,1$), условие (14) с учетом пористости соответствует ранее полученному [1] выражению

$$\Delta H_{кр} = (C/g\rho_w + h)/n. \quad (15)$$

Подчеркнем, что условия (9) - (15) отражают действительный механизм нарушения устойчивости водоупоров при техногенном изменении гидродинамического режима, удобны в силу своей простоты и обладают достаточной для практических оценок точностью. Примеры использования этих зависимостей для прогнозных и ретроспективных оценок устойчивости районов покрытого карста даны в работах [2, 3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 04-05-64304.

Библиографический список

1. Анিকেев А.В. К проблеме локального прогнозирования устойчивости закарстованных территорий // *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология*. 1999. № 4. С. 48-56.
2. Anikeev A. V. Casual hydrofracturing theory and its application for sinkhole development prediction in the area of Novovoronezh Nuclear Power House-2 (NV NPH-2), Russia // *Hydrogeology and Engineering geology of Sinkholes and Karst / Proc. of the 7-th Multidisc. Conf., Harrisburg-Hershey, Pennsylvania, 10-14 April, 1999 / A.A. Balkema*, 1999. P. 77-83.
3. Анিকেев А.В. О причинах провалов и локальных оседаний земной поверхности в Москве // *Геоэкология*. 2002. № 4. С. 363-371.
4. Анিকেев А.В., Калинин Э.В. Кинематика гравитационного истечения несцементированных песчаных пород в подземные полости // *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология*. 1999. № 1. С. 52-59.
5. Анিকেев А.В., Калинин Э.В. Определение напряженного состояния покровной толщи при истечении грунтов в подземные полости // *Сергеевские чтения. Вып. 4 (Москва, 21-22 марта 2002)*. - М.: ГЕОС, 2002. С. 488-492.
6. Анিকেев А.В., Коломенский Е.Н. Некоторые закономерности истечения несцементированных песчаных пород в подземные полости // *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. Геология*. 2002. № 4. С. 51-61.
7. Крамаджян А.А., Линдквист П.А., Мансон А. и др. О формах областей течения в сыпучих материалах при выпуске // *ФТПРПИ*. 1994. № 2. С. 34-46.
8. Кутепов В.М., Кожевникова В.Н. Устойчивость закарстованных территорий. М.: Наука, 1989, 151 с.
9. Огоноченко В.Н. Расчет диаметра опасной карстовой полости // *Инженерные изыскания в строительстве*. Сер. 15. Вып. 5. М.: ЦИНИС, 1979. С. 18-19.
10. Протодьяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление. Ч. 1. Давление горных пород. Изд. 3-е. М.: Госгориздат, 1933. 127 с.
11. Терцаги К. Строительная механика грунтов на основе его физических свойств. Пер. с нем. под ред. Н.М. Герсеванова. М.-Л.: Гостройиздат, 1933. 392 с.
12. Христианович С.А. О волне выброса // *Известия АН СССР, ОТН*. 1953. № 12. С. 1679-1699.
13. Черных В.А. Гидрогеомеханика нефтегазодобычи. М.: ВНИИГАЗ, 2001. 277 с.

А.Н.Ильин

ЗАО НПЦ «КАРСТ», Дзержинск, Россия

СУФФОЗИОННЫЕ КАНАЛЫ В ДИАТОМИТАХ

В статье рассматриваются результаты исследований карста вдоль железной дороги Инза-Рузаевка. Здесь, в районе Инзенского карьера, залегают диатомиты (трепелы) сызранского яруса палеогена на отложениях верхнего мела. Писчий мел под действием пресных вод переходит в пластичное состояние. Следствием этого является развитие карста в меловых породах. Карст усиливается суффозией, которая расширяет трещины в диатомитах. Поверхностные воды выносят по трещинам частицы диатомитов, на место которых поступает щебень вышележащих опок.