

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ПРОБЛЕМАМ ГЕОЭКОЛОГИИ,
ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ
Инженерная геология и геоэкология.
Фундаментальные проблемы
и прикладные задачи

*Юбилейная конференция,
посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН*

Выпуск 18

Материалы годичной сессии
Научного совета РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии
(24-25 марта 2016 г.)

Москва
Российский университет дружбы народов
2016

УДК 502/504:55:624.131.1(063)
ББК 26.3:20.18
С32

*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-05-20058)*

Редакционная коллегия:
В.И. Осипов (ответственный редактор),
О.Н. Еремина (ответственный секретарь),
Н.Г. Анисимова, Е.В. Булдакова, А.С. Викторов, В.Г. Заиканов,
В.П. Зверев, С.В. Козловский, И.В. Козлякова, В.Н. Кутергин,
Н.Г. Мавлянова, Ю.А. Мамаев, Г.П. Постоев, В.С. Путилина, Д.О. Сергеев

С32 **Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Вып. 18.** Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (24-25 марта 2016 г.). – Москва : РУДН, 2016. – 812 с. : ил.
ISBN 978-5-209-07024-5

В сборнике опубликованы доклады, представленные на восемнадцатую ежегодную конференцию «Сергеевские чтения» памяти академика Е.М. Сергеева (г. Москва, 24-25 марта 2016 г.). Чтения были посвящены 25-летию образования Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН и проходили под названием «Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи». На конференции обсуждались следующие темы: изучение состава и свойств грунтов; оценка опасности и риска природных и природно-техногенных процессов; геоэкологические и инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий и промышленных объектов; геоэкологические проблемы подземной гидросферы; геоэкологические и инженерно-геологические проблемы в криолитозоне; загрязнение и экологическая реабилитация природной среды; развитие методологии и методов исследований в геоэкологии и инженерной геологии; совершенствование нормативно-правовой документации. Для специалистов, студентов и аспирантов в области инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии.

УДК 502/504:55:624.131.1(063)
ББК 26.3:20.18

ISBN 978-5-209-07024-5

© Научный совет РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии, 2016
© Коллектив авторов, 2016
© Российский университет дружбы народов,
Издательство, 2016

5. *Минина М.В., Королёв В.А.* Районирование территории на основе оценки оползневой опасности с целью обоснования системы инженерной противооползневой защиты // Сергеевские чтения / Мат-лы годичной сессии Научного совета РАН Роль инженерной геологии и изысканий на предпроектных этапах строительного освоения территорий, 22-23 марта 2012 г. Вып. 14. М., ГЕОС, 2012. С. 124-128.

6. *Трофимов В.Т., Королёв В.А., Герасимова А.С.* Классификация техногенных воздействий на геологическую среду // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1995. № 5. С. 96-107.

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

О.Б. Нещеткин, М.О. Нещеткин

ООО Научно-производственный центр «КАРСТ»,
606000, г. Дзержинск Нижегородской области, ул.Бутлерова, д.3
E-mail: karst@sinn.ru

Современные требования к защите проектируемых сооружений на закарстованных территориях определяются СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов», приложение Е, в котором предлагается осуществлять выбор вида противокарстовой защиты по двум параметрам – категории устойчивости территории по интенсивности провалообразования и по средним диаметрам провалов.

При этом на территориях I-IV категорий устойчивости, а также при среднем диаметре провала более 20 метров строительство зданий и сооружений I-II уровня ответственности либо не рекомендуется, либо осуществляется в виде исключения при наличии специального обоснования. Указанный стандарт не распространяется на линейные, гидротехнические и подземные сооружения.

Определение и сущность понятия «карстовая опасность» в СП 116.13330.2012 отсутствуют, а предлагается использовать понятие «геологический риск», под которым подразумевается вероятностная мера геологической опасности, определяемая в виде возможных потерь (ущерба) за заданное время (п.3.1). В разделе 8 «Противокарстовая защита» этого СП такая мера опасности для обоснования необходимости противокарстовой защиты не используется, а рекомендуется учитывать все возможные геолого-гидрогеологические особенности.

СП 22.13330.2012 «Основания зданий и сооружений» (п.6.11.1) предлагает проектировать основания сооружений, возводимых на закарстованных территориях с учетом возможности (т.е. вероятности) образования поверхностных карстовых деформаций, а также особенностей развития карстовых процессов. Каким образом учитывать эти параметры, а также другие, поиме-

нованные в СП нормативный документ не раскрывает, а рекомендует привлекать специализированные организации (п.6.11.9)

Фактически оценка карстовой опасности и выбор вида противокарстовой защиты осуществляется на основе интуитивного восприятия карстовой опасности по принципу «чем больше интенсивность провалообразования и больше средний диаметр провала, тем опаснее».

Авторы считают, что основным показателем карстовой опасности является вероятность поражения сооружения карстовым провалом за нормативный срок службы сооружения.

Идея такого подхода известна давно и была предложена в «Рекомендациях по проектированию сооружений в карстовых районах СССР» еще в 1967 году, но не получила широкого развития, хотя в общем виде была заимствована при разработке методики расчета пролета карстового провала [2, 3].

Вероятность поражения сооружения карстовым провалом – это вероятность образования карстового провала в основании сооружения или вблизи его, приводящего к полной или частичной потере несущей способности грунтов основания, что может вызвать деформации сооружения или нарушение его нормального функционирования.

Этот показатель учитывает основные параметры карста (интенсивность провалообразования, размеры карстовых провалов), основные параметры сооружения (размеры сооружения, конфигурацию и тип фундамента, нормативный срок службы и уровень ответственности) и в общем виде описывается формулой:

$$P_0 = \lambda \times S_{\text{пораж.}} \times T,$$

где P_0 – вероятность поражения сооружения карстовым провалом, д.ед;

λ – интенсивность провалообразования, количество провалов в год на 1 кв.км;

$S_{\text{пораж.}}$ – расчетная площадь поражения, кв.км;

T – срок службы сооружения, лет.

Следует учесть, что в этой формуле интенсивность провалообразования определяется как средняя величина для некоего выделенного при районировании карстового участка, в пределах которого находится площадка проектируемого сооружения.

Главным условием образования карстового провала является наличие опасной карстовой полости или погребенной карстовой воронки.

По мнению авторов, обнаружение опасных карстовых полостей и погребенных карстовых воронок на площадке проектируемого строительства должно быть основной задачей инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях, что не нашло своего отражения в нормативных документах, хотя повторное провалообразование в бортах карстовых воронок форм является распространенным явлением, а большинство обнаруженных карстовых полостей всегда признаются опасными.

Количество погребенных карстовых воронок и опасных карстовых полостей значительно превышает количество поверхностных карстовых форм,

выявленных при районировании, что подтверждается следующим примером.

Например, на закарстованном участке площадью $S_{уч.} = 0,7$ кв.км обнаружено 20 карстовых воронок, среди них 2 воронки с возрастом до 100 лет, 18 воронок старых и древних, средняя интенсивность провалообразования составила 0,029 провала в год на 1 кв.км.

При этой интенсивности провалообразования за 10000 лет на участке должно было образоваться 203 провала, следовательно, 183 карстовых воронки в настоящее время считаются погребенными в силу природных и техногенных причин.

Можно предположить, что на этом участке существуют и опасные карстовые полости, количество которых пропорционально интенсивности провалообразования и сравнимо с количеством молодых и старых карстовых форм.

Из вышеизложенного следует, что показатель «категория устойчивости» не отражает и не учитывает реальную опасность карста в виде погребенных воронок и карстовых полостей, которых в несколько раз больше, чем поверхностных карстопроявлений.

Ниже излагается общие положения авторского подхода к оценке карстовой опасности по результатам инженерно-геологических изысканий.

Оценка карстовой опасности ($R_{пв.}$), обусловленной наличием погребенной карстовой воронки в основании сооружения

Погребенные карстовые воронки в основании проектируемого сооружения представляют реальную опасность, поскольку в их бортах не исключено повторное провалообразование или проседание грунтов под действием нагрузок от сооружения.

Задача решается при следующих граничных условиях: количество погребенных воронок и занимаемая ими площадь ($S_{погр.}$) рассчитывается с учетом средней интенсивности карстовых провалов на участке, средней площади погребенной карстовой воронки ($S_{пв.}$), возраста земной поверхности.

Указанные условия позволяют рассчитать вероятность нахождения погребенной воронки на площадке проектируемого сооружения ($R_{усл.пв.}$) и вероятность обнаружения погребенной карстовой воронки после проведенных изысканий ($R_{обн.пв.}$).

Вероятность поражения сооружения от погребенной карстовой воронки ($R_{пв.}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$R_{пв.} = (R_{усл.пв.}) \times (1 - R_{обн.пв.}).$$

Оценка карстовой опасности ($R_{пп.}$), обусловленной наличием карстовой полости в основании сооружения

На любой закарстованной территории следует предположить существование опасных карстовых полостей, которые могут находиться на площад-

ке проектируемого сооружения и обусловить образование провала за нормативный срок службы сооружения. Кроме того, на закарстованной территории существует значительное количество карстовых полостей, которые не выйдут на поверхность в виде провала.

Задача решается при следующих граничных условиях: количество опасных карстовых полостей и занимаемая ими площадь (Спол.) рассчитывается с учетом средней интенсивности карстовых провалов на участке, средняя площадь карстовой полости (Спп.) не менее средней площади карстового провала. Возможны и более точные расчеты размеров опасной карстовой полости с использованием геомеханических моделей. Указанные условия позволяют рассчитать вероятность нахождения опасной карстовой полости на площадке проектируемого сооружения (Русл.пп.) и вероятность обнаружения опасной карстовой полости после проведенных изысканий (Робн.пп.).

В том случае, когда скважина (скважины) «на карст» не обнаружили карстовую полость вообще и косвенных признаков ее нахождения в пределах площадки, вероятность поражения сооружения от опасной карстовой полости рассчитывается по следующей формуле:

$$Рпп. = (Русл.пп.) \times (1-Робн.пп.).$$

Таким образом, после выполнения инженерно-геологических изысканий вероятность поражения сооружения карстовым провалом выражается формулой:

$$Ровп = Рпв. + Рпп.$$

Результаты изысканий и расчетов карстовой опасности позволяют разработать обоснованные противокарстовые мероприятия, которые должны быть направлены либо на уменьшение (или исключение) вероятности поражения сооружения карстовым провалом, либо на обеспечение устойчивости сооружения в случае его поражения.

К основным противокарстовым мероприятиям (с учетом требований ст.18 ФЗ-384) можно отнести:

1. Мероприятия, направленные на удаление сооружения от источников карстовой опасности, т.е. от карстовых воронок, карстовых полостей и погребенных воронок, обнаруженных изысканиями на площадке сооружения.

2. Мероприятия, направленные на устранение источников карстовой опасности, т.е. тампонаж карстовых полостей, обнаруженных на площадке сооружения.

3. Мероприятия, направленные на конструктивное усиление фундаментов и конструкций сооружения, рассчитанных на ожидаемый размер карстового провала с учетом вероятности поражения сооружения карстовым провалом.

Для принятия решения о противокарстовых мероприятиях необходимо нормировать требования к надежности сооружения или допустимому отказу нормальной работы сооружения.

Вероятность поражения сооружения карстовым провалом после проведения противокарстовых мероприятий не должна превышать нормативный допустимый отказ.

ГОСТ Р 54257-2010 «Надежность строительных конструкций и оснований» устанавливает такое понятие **«надежность строительного объекта»** как способность строительного объекта выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации.

По ГОСТ 27.002-89 **«нормирование надежности»** – это установление в нормативно-технической документации и (или) конструкторской (проектной) документации количественных и качественных требований к надежности. **«Нормируемый показатель надежности»** – это показатель надежности, значение которого регламентировано нормативно-технической документацией и (или) конструкторской (проектной) документацией. В качестве нормируемых показателей надежности могут быть использованы показатели, включенные в ГОСТ 27.002-89 или иные показатели, которые не противоречат определениям показателей указанного ГОСТа.

В РД 153-34.2-21.342-00 приведено определение понятия «допустимый уровень риска аварии гидротехнического сооружения» – значение риска аварии, установленное нормативными документами. Под уровнем риска аварии подразумевается вероятность возникновения аварийной ситуации.

В действующей нормативной литературе имеется опыт нормирования отказов, так СП 23.13330.2011 «Основания гидротехнических сооружений» для оценки надежности и отказов системы «основание-сооружение» рекомендует использовать вероятностно-статистические методы.

В таблице 1 СП 23.13330.2011 (табл.1) приведены нормативные уровни отказов (потеря устойчивости, нарушения прочности основания и т.п.) для различных классов гидротехнических сооружений.

Таблица 1

Нормативные уровни отказов различных классов гидротехнических сооружений

Класс гидротехнического сооружения ¹⁾	Вероятность отказа, 1/год
I (чрезвычайно высокой опасности)	$5 \cdot 10^{-5}$
II (высокой опасности)	$5 \cdot 10^{-4}$
III (средней опасности)	$2,5 \cdot 10^{-3}$
IV (низкой опасности)	$5 \cdot 10^{-3}$

¹⁾ критерии классификации гидротехнических сооружений приведены в соответствии с Постановлением Правительства РФ №986 от 02.11.2013г.

В ОПБ – 88/97 «Общие положения безопасности атомных станций» допустимая вероятность разрушения реактора не должна превышать 10^{-7} случаев в год, суммарная вероятность тяжелых запроектных аварий не должна превышать 10^{-5} случаев в год.

Нормирование карстовой опасности должно осуществляться аналогичным способом через установление нормативного (т.е. допустимого) отказа в работе основания сооружения в результате возникшего карстового провала.

Шкалу, аналогичную таблице 1 СП 23.13330.2011, по уровням ответственности зданий и сооружений промышленного и гражданского строительства (за исключением объектов атомной промышленности) целесообразно утвердить для целей оценки карстовой опасности.

Нормативные допустимые отказы (т.е. вероятности поражения сооружения карстовым провалом) должны быть обсуждены и утверждены инженерным сообществом. Предварительно предлагается принять следующие показатели (табл. 2).

Таблица 2

Предлагаемые нормативные показатели

Уровни ответственности зданий и сооружений (по ФЗ-384)	Уровни ответственности зданий и сооружений (по ГОСТ Р 54257-2010)	Нормативный срок службы, лет	Нормативная надежность зданий и сооружений, Рн	Нормативный отказ за срок службы сооружения (вероятность поражения карстовым провалом), Ро.
I повышенный	1а особо высокий уровень ответственности	100	0,995	0,005
	1б высокий уровень ответственности	75	0,990	0,010
II нормальный	2 нормальный уровень ответственности	75	0,950	0,050
III пониженный	3 пониженный уровень ответственности	50	0,900	0,100

Полученная расчетом вероятность поражения проектируемого сооружения карстовым провалом сравнивается с нормативной допустимой вероятностью для принятия решения о необходимости осуществления мероприятий противокарстовой защиты и/или проведения дополнительных изыскательских работ для уточнения оценки.

Если по результатам вероятностно-статистических расчетов и инженерных изысканий будет установлено, что расчетная вероятность поражения сооружения карстовым провалом не превышает нормативную, то осуществление каких-либо противокарстовых мероприятий не требуется (например, когда доказано, что провалообразование исключено).

Если расчетная вероятность поражения сооружения карстовым провалом превышает нормативную, то для защиты проектируемых сооружений необходимо выполнение противокарстовых мероприятий.

Введение в практику нормативной вероятности поражения сооружения карстовым провалом позволит перейти от субъективно-интуитивной оценки к системе инженерных расчетов, что позволит унифицировать подход к оценке карстовой опасности.

Изложенный выше подход в определении карстовой опасности через вероятность поражения сооружения карстовым провалом позволяет изыскателю рассчитать предполагаемую карстовую опасность, определить необходимое количество скважин, и разработать обоснованные противокарстовые мероприятия для оптимального и надежного решения задачи проектирования сооружений на закарстованных территориях.

Литература

1. Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР. М.: ПНИИИС, 1967.
2. Рекомендации по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР. М.: ПНИИИС, 1967.
3. Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях. М.: НИИОСП, 1985.
4. Рекомендации по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты. М.: ПНИИИС, 1987.
5. Рекомендации по защите эксплуатируемых гражданских зданий в карстовых районах. Киев: НИИСК, 1989г.

ОЦЕНКА САЙТ-ЭФФЕКТОВ ДЛЯ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА НАРЫН, КИРГИЗИЯ

С.Ж. Орунбаев

Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, г. Бишкек, Кыргызская Республика. E-mail: s.orunbaev@caiag.kg

В статье представлены использованные методы и результаты исследования сайт-эффектов с целью составления карты резонансно-частотных характеристик грунтов для восточной части г. Нарын. В основном используются записи микросейсм. Метод исследования микросейсм для решения задач сейсмического микрорайонирования стал широко применяться в последнее время как достаточно детальный, но недорогой метод исследования, по срав-

Научное издание

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ
Инженерная геология и геоэкология.
Фундаментальные проблемы
и прикладные задачи

Выпуск 18

**Материалы годичной сессии
Научного совета РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии
(24-25 марта 2016 г.)**

Издание подготовлено в авторской редакции

Технический редактор *Н.А. Ясько*
Компьютерная верстка *М.Н. Заикина*
Дизайн обложки *М.В. Рогова*