

**ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского
Таврическая академия
Кафедра геоморфологии и землеведения
Учебно-методический научный центр
«Институт спелеологии и карстологии»
Отделение Русского географического общества в Республике Крым
Российский союз спелеологов**



ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ И ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Материалы

Всероссийской научно-практической конференции

II КРЫМСКИЕ КАРСТОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ

**посвященной 60-летию отечественной спелеологии
и 100-летию кафедры землеведения и геоморфологии
КФУ им. В.И. Вернадского**

*Симферополь, Республика Крым, Россия
25-28 сентября 2018 г.*

Изучение и использование естественных и искусственных подземных пространств и закарстованных территорий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции II КРЫМСКИЕ КАРСТОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ, Симферополь, 25-28 сентября 2018 г. – Симферополь, 2018. – 200 с.

В сборнике освещены современное состояние картолого-спелеологических исследований и актуальные проблемы практического использования подземных пространств в России и странах ближнего зарубежья. Представлены 43 статьи, посвященные вопросам геологии и гидрогеологии закарстованных территорий, спелеологии и спелестологии, изучения отложений и климата карстовых полостей, биоспелеологии, охраны карстовых ландшафтов, спелеотуризма и музеефикации подземных пространств.

Study and use of the natural and artificial underground spaces and karstified territories. Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference II CRIMEAN CARSTOLOGICAL READINGS, Simferopol, 25-28 September 2018. – Simferopol, 2018. – 200 p.

State of the art of karstological and speleological researches and the actual issues of practical use of underground spaces in Russia and nearby countries are showed in the proceedings. 43 papers on the problems of geology and hydrogeology of karstified territories, speleology and spelestology, study of karst caves deposits and climate, biospeleology, protection of karst landscapes, speleotourism and museumification of underground spaces are presented.

Организационный комитет II Крымских карстологических чтений:

Председатель Организационного комитета – проф., д.г.н. Вахрушев Б.А.

Члены Оргкомитета: д.г.н. Кадебская О.И., к.г.н. Амеличев Г.Н., Самохин Г.В., к.г.н. Лукьяненко Е.А., д.физ.-мат.н. Шелепин А.Л., Юшко А.А., к.б.н. Мазина С.Е., Гунько А.А., Червяцова О.Я.

Ответственные секретари – Науменко В.Г., Токарев С.В.

Компьютерная верстка: Амеличев Е.Г.

Фото на обложке – Тимохина Е.И.

Все статьи публикуются в авторской редакции

© Коллектив авторов, 2018

© Учебно-методический научный центр Институт спелологии и карстологии и кафедра землеведения и геоморфологии Таврической академии Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, 2018

плекс геолого-гидрогеологических признаков-факторов, определенный для карбонатно-сульфатного карста Предуралья, представлен в таблице 1. Данный комплекс является «мобильным», т.е. может быть дополнен или сокращен в зависимости от условий конкретной территории и имеющейся информации. Для визуализации оценки с помощью картографического материала может быть использован, например, балльный метод.

Необходимо отметить, что построение балльных шкал является процессом, зависящим от мнения исследователя. Вопрос о значимости частных показателей-признаков может решаться с помощью корреляционного, множественного регрессионного, факторного анализа. Однако основным недостатком этих методов взвешивания является то, что на различных участках территории с различным геолого-гидрогеологическим строением роль того или иного показателя может быть различной, поэтому составить универсальную балльную шкалу, работающую на разных территориях, не представляется возможным.

Литература

1. Геология и карст города Кунгура: монография / Катаев В.Н., Кадебская О.И. Перм.гос. ун-т; ГИ УрО РАН. Пермь, 2010. - 236 с.
2. Катаев В.Н. Основы создания системы мониторинга закарстованных территорий (на примере Пермского края) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. Научный журнал. №1. М.: Академиздатцентр "Наука", 2013. - С. 25-41.
3. Катаев В.Н., Ковалёва Т.Г. Роль экспертной оценки в карстологическом прогнозе // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 5). – С. 1130-1135.
4. Ковалева Т.Г. Оценка карстоопасности территории г. Кунгура на основе общегеологического подхода // Вестник Пермского университета. Научный журнал. Вып. 4 (33). Геология. Пермь: Изд-во Пермск. гос. нац. исслед. ун-та, 2016. - С. 26-35.
5. Щербаков С.В., Катаев В.Н. Интегральная оценка карстоопасности урбанизированных территорий (на примере г. Кунгур) // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2011. Том 153, кн. 1. - С. 203-224.

УДК: 624.131.3:551.4.042

МОРФОЛОГИЯ КАРСТОВЫХ ПРОВАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПОКРЫТОГО КАРСТА

Нещеткин М.О.

ООО Научно-производственный центр «КАРСТ», г.Дзержинск, Россия;
karst@sinn.ru

Аннотация: Морфологический облик карстовых провалов в условиях покрытого карста зависит от механизма деформаций покровных отложений и физико-механических свойств грунтов, которые определяют устойчивость первичных провальных форм, а также особенности развития провальной впадины при обрушении ее бортов.

Ключевые слова: карст, механизм образования карстовых провалов, формы карстовых провалов.

SINKHOLE MORPHOLOGY IN COVERED KARST CONDITIONS

Neshchetkin M.O.

Scientific Production Center "KARST", Dzerzhinsk, Russia; karst@sinn.ru

Abstract: *The sinkhole morphology in covered karst conditions depends on the sinkhole development model and the physical and mechanical properties of the soils that determine the stability of the primary sinkhole forms, as well as the features of the sinkhole development during the collapse of its sides.*

Key words: *sinkhole; sinkhole development model; sinkhole morphology.*

Покрытый карст является распространенным типом карста на территории Российской Федерации, при этом карстующиеся породы нередко залегают на значительных глубинах и перекрыты нерастворимыми покровными отложениями.

Одним из районов развития покрытого сульфатного и карбонатно-сульфатного карста является Окско-Волжское междуречье (Нижегородская область).

В геологическом строении Окско-Волжского междуречья принимают участие аллювиальные четвертичные отложения мощностью от 20-40м до 100м, которые представлены в основном песками различной крупности; терригенные отложения верхнего (татарского) отдела перми мощностью до 20м; карбонатные отложения казанского яруса средней перми мощностью до 15м, которые на большей части территории разрушены до щебня, дресвы и муки или полностью размыты, а также сульфатные отложения сакмарского яруса нижней перми, представленные гипсами и ангидритами.

Основную роль в развитии карста района сыграла эрозионная деятельность пра-рек (пра-Ока и пра-Волга), в результате которой в кровле карстующихся пород сформировалась система погребенных эрозионно-карстовых врезов и останцов, в бортах которых сосредоточено большинство опасных карстовых полостей [4, 6].

В связи со значительной мощностью покровных отложений образование карстовых провалов происходит с формированием промежуточной полости в покровных отложениях, которая в силу своей неустойчивости «продвигается» к земной поверхности. Формирование провальной впадины на земной поверхности начинается с момента обрушения промежуточной полости, приблизившейся к дневной поверхности [5].

Форма карстового провала зависит от размера и формы промежуточной полости и физико-механических свойств грунтов.

В природе наблюдается многообразие форм карстовых провалов, которые можно выстроить в последовательный ряд простых геометрических форм: сводовая – цилиндрическая (крутой свод) – коническая – чашевидная – блюдцевидная.

По данным натурных наблюдений в глинистых грунтах первичные сводовые формы провалов наблюдаются значительно чаще, чем в песчаных грунтах, для которых характерны конические и чашевидные формы провалов, а сводовидные провалы регистрируются крайне редко в связи с неустойчивостью сводов в песках.

Встречаются провалы и сложного морфологического облика с формированием вокруг провальной впадины зоны специфических деформаций грунтов в виде концентрических трещин, ступеней оседания, общего оседания с наклоном поверхности, что обусловлено явлениями бортового отпора.

Возникновение и формирование зоны бортового отпора не всегда регистрируется вокруг молодых провалов, но для многих древних карстовых впадин характерно наличие малоамплитудного кольцевого понижения вокруг центральной части впадины.

Устойчивость первоначальной формы провала определяется предельным равновесием вертикального откоса. Величину устойчивого вертикального откоса (h_{90}) для грунта, у которого $\varphi \neq 0$ и $C \neq 0$ можно определить по формуле [1-3]:

$$h_{90} = \frac{2C}{\gamma} \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right), \quad (1)$$

где C - удельное сцепление грунта, кПа, γ - удельный вес грунта, кН/м³, φ - угол внутреннего трения грунта, град.

По нашим расчетам для мелких кварцевых песков при $C = 0,5-6,0$ кПа, $\varphi = 26-38^\circ$, h_{90} будет изменяться в пределах 0,1-1,24 м.

Для глинистых грунтов при $C = 23,0-50,0$ кПа, $\varphi = 17-21^\circ$, h_{90} будет изменяться в пределах 3,41-6,89 м.

При этом для песков и глинистых грунтов наблюдается устойчивое отношение h_{90}/C , что свидетельствует о ведущей роли удельного сцепления грунта в устойчивости первоначальной формы провала.

В заключение следует отметить, что в условиях покрытого карста формирование первичного облика карстового провала и дальнейшее развитие провальной впадины до устойчивой формы подчиняется законам механики грунтов, поэтому прогнозы вероятных размеров и форм карстовых провалов должны основываться на изучении механизма провалообразования, особенностей геологического строения района и физико-механических свойств покровных отложений.

Литература

1. Галустьян Э.Л. Геомеханика открытых горных работ. Справочное пособ. - М.: Недра, 1992. - 272 с.
2. Дашко Р.Э. Механика горных пород. Учебник для вузов. - М.: Недра, 1987. - 264 с.
3. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1977. - 256 с.
4. Нещеткин М.О. Инженерно-геологическая оценка гидратации ангидритов и эрозии сульфатных пород в районах развития сульфатного карста речных долин. Инженерная геология, 2015. - № 4. - С. 54-62.
5. Нещеткин О.Б. Механизм образования карстовых провалов. Часть I. Моделирование.

Нещеткин М.О.
ООО НПЦ «КАРСТ», г.Дзержинск

**«МОРФОЛОГИЯ КАРСТОВЫХ
ПРОВАЛОВ В УСЛОВИЯХ
ПОКРЫТОГО КАРСТА»**

Крым, 2018

Покрытый карст является распространенным типом карста на территории Российской Федерации, при этом карстующиеся породы нередко залегают на значительных глубинах (40-100м) и перекрыты нерастворимыми покровными отложениями.

Одним из районов развития покрытого сульфатного и карбонатно-сульфатного карста является Окско-Волжское междуречье (Нижегородская область).

Основную роль в развитии карста района сыграла эрозионная деятельность пра-рек (пра-Ока и пра-Волга), в результате которой в кровле карстующихся пород сформировалась система погребенных эрозионно-карстовых врезов и останцов, в бортах которых сосредоточено большинство опасных карстовых полостей (рис. 1).

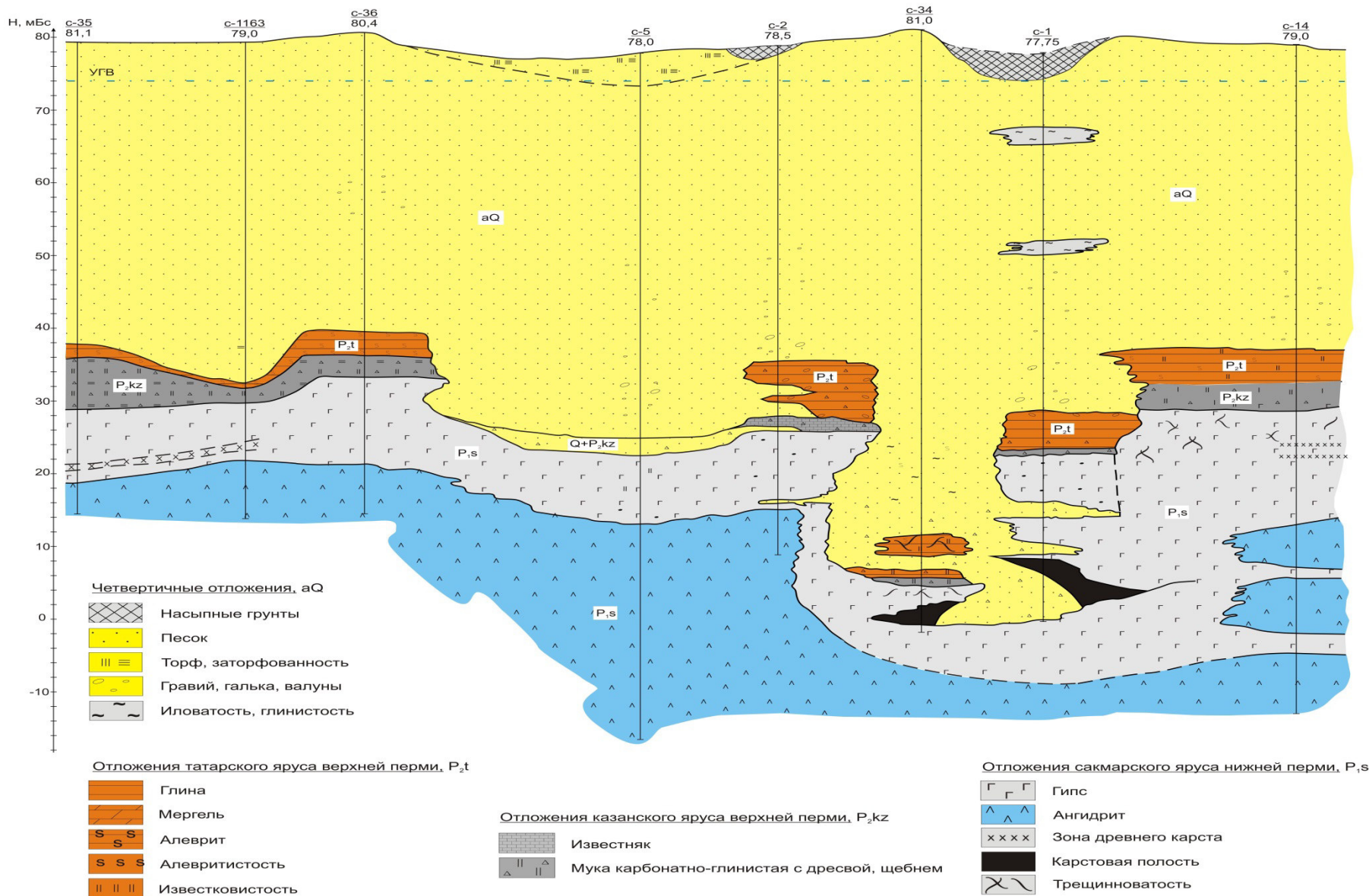


Рис. 1. Типичный геологический разрез Окско-Волжского междуречья

В связи со значительной мощностью покровных отложений образование карстовых провалов происходит с формированием промежуточной полости в покровных отложениях, которая в силу своей неустойчивости «продвигается» к земной поверхности.

Для влажных песчаных, а также глинистых грунтов характерна **сводовидная форма** временно устойчивой промежуточной полости (формирование свода - по теории Протодьяконова М.М.).

Для водонасыщенных песчаных грунтов характерно формирование **конической промежуточной полости**, обращенной основанием вверх. Основание конической полости залегает на уровне грунтовых вод (рис. 2).

Формирование провальной впадины на земной поверхности начинается с момента обрушения промежуточной полости, приблизившейся к дневной поверхности (по данным Нещеткина О.Б.).

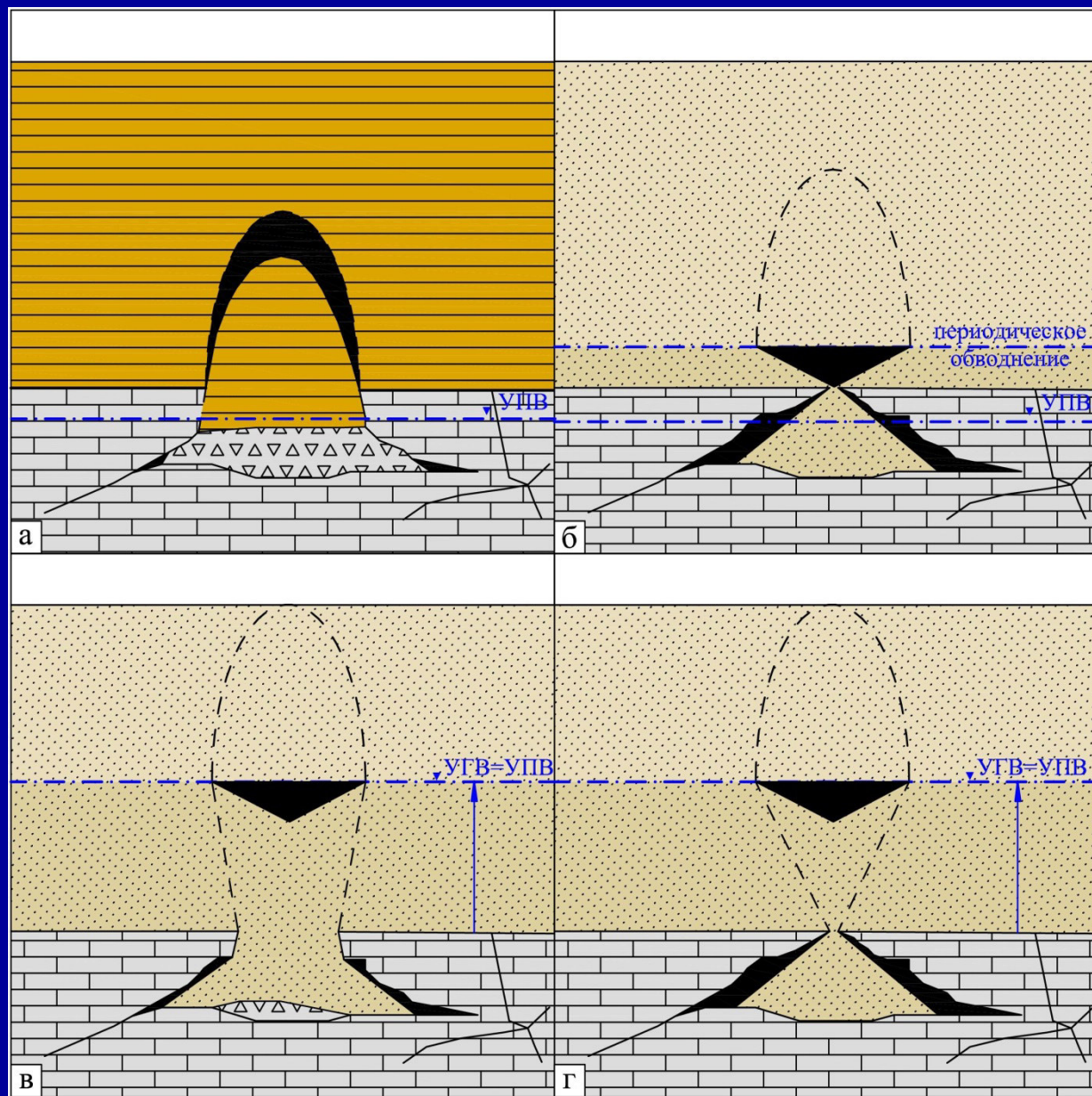


Рис. 2. Некоторые типичные схемы механизма провалообразования

Форма карстового провала зависит от размера и формы промежуточной полости и физико-механических свойств грунтов.

В природе наблюдается многообразие форм карстовых провалов, которые можно выстроить в последовательный ряд простых геометрических форм: ***сводовая – цилиндрическая (крутой свод) – коническая – чашевидная – блюдцевидная.***

В глинистых грунтах первичные сводовые формы провалов наблюдаются значительно чаще ($\approx 50\%$), чем в песчаных грунтах, для которых характерны конические и чашевидные формы провалов ($\approx 60-70\%$), а сводовидные провалы регистрируются крайне редко ($\approx 1-2\%$) в связи с неустойчивостью сводов в песках.

Встречаются провалы и сложного морфологического облика с формированием вокруг провальной впадины зоны специфических деформаций грунтов в виде концентрических трещин, ступеней оседания, что обусловлено явлениями бортового отпора (рис. 3).

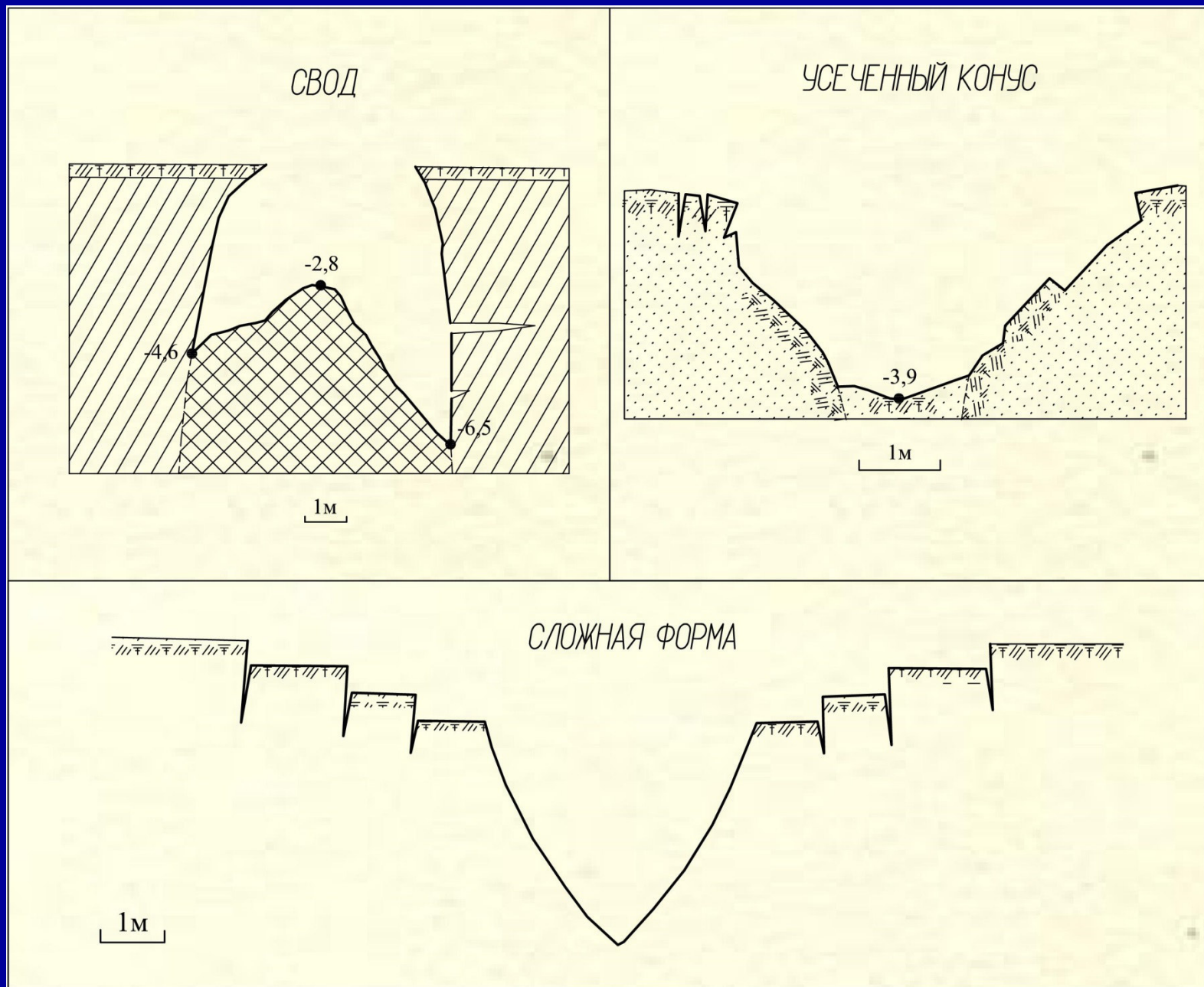


Рис. 3. Формы карстовых провалов

Устойчивость первоначальной формы провала определяется предельным равновесием вертикального откоса. Величину устойчивого вертикального откоса (h_{90}) для грунта, у которого $\varphi \neq 0$ и $C \neq 0$ можно определить по классической формуле из механики грунтов:

$$h_{90} = \frac{2C}{\gamma} \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right),$$

На поверхности земли вокруг провала возникают растягивающие напряжения, что приводит к образованию трещин.

Обычно глубина трещин h_T принимается равной h_{90} , но некоторые исследователи [Клейн Г.К.] рекомендуют применение поправочного коэффициента 4/3.

$$h_m = \frac{4}{3} h_{90}$$

Результаты расчетов h_{90} и h_T для некоторых типов грунтов,
распространенных в Нижегородской области

Показатель	Пески кварцевые мелкие			Суглинки	Глины
	рыхлые	средней плотности	плотные	$0,25 < I_L \leq 0,5$	$0,25 < I_L \leq 0,5$
e , д.ед.	0,800	0,600	0,450	0,750	0,750
ρ , т/м ³	1,63	1,83	2,02	2,00	2,00
γ , кН/м ³	16,0	17,9	19,8	19,6	19,6
C , кПа	0,5	3	6	23	50
φ , град.	26	34	38	21	17
$45^\circ + \varphi/2$	58	62	64	55,5	53,5
$\text{tg}(45^\circ + \varphi/2)$	1,6003	1,881	2,050	1,455	1,3514
h_{90} , м	0,10	0,63	1,24	3,41	6,89
h_T , м	0,10-0,13	0,63-0,84	1,24-1,65	3,41-4,55	6,89-9,19
h_{90}/C	0,20	0,21	0,21	0,15	0,14

По нашим расчетам для **мелких кварцевых песков** при $C = 0,5-6,0$ кПа, $\varphi=26-38^\circ$, h_{90} будет изменяться в пределах **0,1-1,24м.**

Для **глинистых грунтов** при $C = 23,0-50,0$ кПа, $\varphi=17-21^\circ$, h_{90} будет изменяться в пределах **3,41-6,89м.**

Наблюдаемые стабильные отношения h_{90}/C (для песков 0,20-0,21, для глинистых грунтов 0,14-0,15) наглядно показывают, что высота устойчивой вертикальной стенки прямо пропорциональна величине сцепления.

В условиях покрытого карста формирование первичного облика карстового провала и дальнейшее развитие провальной впадины до устойчивой формы подчиняется законам механики грунтов, поэтому прогнозы вероятных размеров и форм карстовых провалов должны основываться на изучении механизма провалообразования, особенностей геологического строения района и физико-механических свойств покровных отложений.



*СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!*