

СУЛЬФАТНЫЙ И СОЛЯНОЙ КАРСТ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Мещерякова О.Ю.

Естественно-научный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Генкеля, 4), e-mail: olgam.psu@gmail.com

В условиях техногенного воздействия происходит активизация карстовых процессов, что повышает риск возникновения аварийных и чрезвычайных ситуаций. Этот факт необходимо учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации различных техногенных объектов. В статье рассмотрено влияние сульфатного и соляного карста, как наиболее опасных видов, на инженерные сооружения и окружающую среду. В частности, рассмотрена статистика аварий на газо-, нефтепроводах и железнодорожном полотне в карстовых районах Пермского края, приведены примеры провалов, причиной которых явилось антропогенное воздействие, дана классификация закарстованных территорий. Опыт освоения карстовых районов показывает, что наименьший ущерб нанесен тем из них, где до начала деятельности осуществлялось детальное изучение особенностей развития карста, разрабатывались и проводились научно обоснованные противокарстовые мероприятия.

Ключевые слова: сульфатный карст, соляной карст, техногенное воздействие, Пермский край.

SULFATE AND SALT KARST UNDER TECHNOGENIC IMPACT

Meshcheryakova O.Y.

Institute of Natural Sciences of Perm State University, Perm, Russia (614990 Russia, Perm, Genkelya st., 4), e-mail: olgam.psu@gmail.com

Karst processes intensifies in terms of anthropogenic impact. This increases the risk of accidents and emergencies. This fact must be taken into account during the design, construction and operation of various technogenic objects. The article is devoted to the influence of sulphate and salt karst as the most dangerous species on engineering constructions and the environment. Accident statistics on gas, oil pipelines and railway in karst areas in the Perm region are given. The examples of failures that have resulted from human influence are showed, and also the karst territories are classified. Experience in the investigation of karst areas shows that a detailed study of the karst features, the development and conduction of scientific researches significantly reduces the possibility of damage.

Keywords: sulphate karst, salt karst, technogenic impact, Perm region.

На территориях со значительной техногенной нагрузкой существенно изменяются условия и факторы карстообразования вследствие необратимых преобразований рельефа и пород, загрязнения поверхностных и подземных вод, атмосферы и атмосферных осадков, деградации растительности. Особое внимание необходимо уделить районам распространения гипсового и соляного карста, являющимся наиболее опасными.

Развитие гипсового карста оказывает комплексное влияние на все компоненты природного ландшафта и на хозяйственную деятельность человека: происходит частичное или полное выщелачивание горных пород, концентрация в воде сульфат-ионов и ионов кальция; выпадение из воды CaCO_3 (табл. 1).

Таблица 1

Влияние гипсового карста на ландшафт и хозяйственную деятельность человека [2]

Компоненты ландшафта	Направление процесса	Следствие процесса	Характерные элементы ландшафта	Влияние на хозяйственную деятельность
Горные породы: гипсы, ангидриты	Вынос	Частичное или полное выщелачивание пород	<ul style="list-style-type: none"> • почвы небольшой мощности; • локальное увеличение мощности рыхлых отложений; • карстовые брекчии; • карстовые воронки, провалы, котловины, рвы, депрессии; • своеобразный микроклимат; • пятнистый растительный покров 	<ul style="list-style-type: none"> • неблагоприятные инженерно-геологические условия; • сокращение площади пахотных земель; • осложнения с применением техники в сельском и лесном хозяйствах; • ухудшение качества леса; • рекреационное и другое использование
Поверхностные и подземные воды	Аккумуляция	Концентрация в воде ионов SO_4^{2-} и Ca^{2+} ; выпадение из воды $CaCO_3$	карстовые озера	использование для разведения птиц, рыбоводства, редко для водоснабжения
			<ul style="list-style-type: none"> • перевод поверхностного стока в подземный; • малые реки сульфатного состава; • карстовые источники сульфатного состава; • локальная обводненность; • сульфатные карстовые воды; • сульфатные грунтовые воды 	неблагоприятные условия водоснабжения
			<ul style="list-style-type: none"> • сероводородные грязи; • сероводородные воды 	использование в лечебных целях

По инженерно-геологической классификации закарстованных территорий Пермского края выделяется четыре категории территорий, отличающихся различной степенью устойчивости для инженерных сооружений [1].

1 категория – территории неблагоприятные в инженерно-геологическом отношении. К ним относятся районы преимущественно гипсового карста.

2 категория – территории относительно благоприятные в инженерно-геологическом отношении. К ним относятся районы развития карста в карбонатных породах.

3 категория – территории с небольшими участками, неблагоприятными в инженерно-геологическом отношении (Предуральский прогиб).

4 категория – благоприятные территории, карст отсутствует.

Классификация закарстованных территорий также предложена по интенсивности образования карстовых деформаций и их среднему диаметру (табл. 2, 3) [8].

Таблица 2

Категории устойчивости закарстованных территорий по интенсивности образования карстовых деформаций

Категории устойчивости территорий относительно карстовых деформаций	Интенсивность образования карстовых деформаций, случай/км ² ·год	Степень опасности закарстованной территории
I – очень неустойчивые территории	свыше 1,0	Опасная
II – неустойчивые	свыше 0,1 до 1,0	Опасная
III – недостаточно устойчивые	свыше 0,05 до 0,1	Опасная / потенциально опасная
IV – с пониженной устойчивостью	свыше 0,01 до 0,05	Потенциально опасная
V – относительно устойчивые	до 0,01	Потенциально опасная
VI – устойчивые территории	образование исключается	Практически неопасная

Таблица 3

Категории закарстованных территорий по средним диаметрам провалов

Категории территорий по средним диаметрам карстовых провалов	Средний диаметр карстовых провалов, м	Степень сложности конструктивной защиты зданий
A	свыше 20	крайне затруднена или невозможна
B	св. 10 ÷ 20	затруднена
B	св. 3 ÷ 10	достаточно сложна
Г	до 3	не применяется или применяется в ограниченном объеме

Таким образом, оценена карстоопасность и возможность возникновения аварийных ситуаций на закарстованных территориях. По данному признаку намечено 5 групп районов, из которых районы развития сульфатного и соляного карста входят в первые три [3].

1. Районы интенсивного сульфатного (гипсо-ангидритового) карста платформенного типа (Ксенофоновский, Полазненский, Нижнесылвенский, Иренский, Кишертский). Условия строительства определяются наличием площадок от I (очень неустойчивых) до IV (с несколько пониженной устойчивостью) категорий. Отмечается активизация карста в связи с техногенными воздействиями. Возникновение провалов может создавать аварийные ситуации. Условия водоснабжения неблагоприятны.

2. Районы соляного закрытого карста впадин и депрессий (Вишеркский, Соликамский), где отмечается активизация карста на старых солепромыслах, при эксплуатации подсолевых месторождений, бурении скважин, добыче соли, интенсивном водозаборе. Негативные процессы: медленные опускания земной поверхности (в многолетнем масштабе), заболачивание, загрязнение (засолонение) подземных вод зоны

активного водообмена. В местах интенсивной техногенной нагрузки возможны аварийные ситуации при обрушении кровли подземных выработок и карстовых полостей.

3. Районы с локальным проявлением закрытого сульфатного (гипсо-ангидритового и соляного) карста малых структур депрессий (Осинцевский, Ачитский, Кордонский). В местах неглубокого залегания гипсов возможно возникновение провалов. Активизация вероятна в местах перетока минерализованных вод нижних горизонтов в зону активного водообмена, а также при инженерных работах, сопровождающихся нарушением покровных отложений.

Наибольшую опасность для инженерных сооружений представляют деформации земной поверхности, весьма характерные для территорий с развитием сульфатного карста. Свыше 200 провалов зафиксировано в границах автомобильных дорог и их отводов. Большая часть из них образовалась в кюветах и в резервах грунтов и «спровоцирована» антропогенным воздействием на геологическую среду. При этом среди основных факторов, активизирующих карст и проявление его на поверхности, отмечается сокращение мощности (до обнажения карстующихся пород) и изменение состава и свойств (в частности, при увлажнении) покровных отложений, трансформация рельефа, приводящая к появлению (или расширению) очагов повышенной инфильтрации и инфилюации поверхностных, как правило, весьма агрессивных вод, динамические нагрузки [6].

Серия провалов была зафиксирована в Соликамском карстовом районе. Первый провал глубиной 100 м произошел в июле 1986 г. и сопровождался взрывом газов и мощными световыми вспышками. В августе 1986 г. воронка, имеющая удлиненную форму, заполнилась водой. Размеры по поверхности воды около 150×70 м, по кромке леса – 210×110 м.

В июле 2007 г. на месте прорыва грунтовых вод на первой шахте ПАО «Уралкалий» был зафиксирован второй провал диаметром около 380 м (по данным на июль 2015 г.) (рис. 2), что повлекло за собой перенос железнодорожных путей.

Начиная с 2010 г. почти ежегодно, за исключением 2012 и 2013 годов, происходило проседание грунта в окрестностях г. Березников. Последний провал был зафиксирован в феврале 2015 г. в районе школы № 26 непосредственно в самом городе, и по данным на 01.07.2015 г. составляет 30 м в диаметре.

Большую опасность карст представляет для устойчивости железнодорожных сооружений, что обусловлено как региональными особенностями развития данного явления (меридиональная вытянутость районов развития карстующихся пород и довольно большое их площадное распространение), так и спецификой конструкции железных дорог (тяготение

к речным долинам, мягкое сопряжение пути с основанием, активное динамическое воздействие на основание, линейная непрерывность и т.п.) [11].

Общая протяженность железнодорожных магистралей по Пермскому краю – 1642,1 км, из них 576,6 км (35%) проходят через карстовые районы (рис. 1). Провалы в полосе железных дорог особенно опасны и требуют изучения. Только за последние 40 лет произошло более 20 таких случаев. Примером является провал на железнодорожной станции г. Березников в ноябре 2010 г., в результате которого здесь были остановлены транзитные перевозки. Размеры провала на июль 2015 года – 110×85 м (рис. 3).

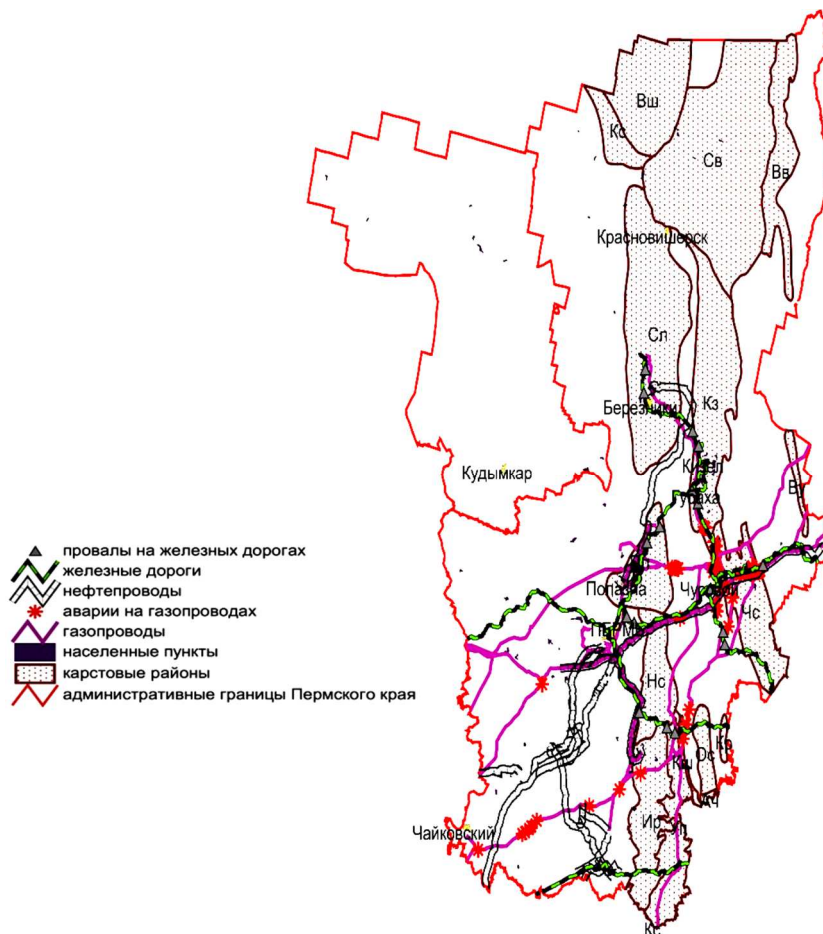


Рис. 1. Схема магистральных трубопроводов и железных дорог в карстовых районах Пермского края [10].



Рис. 2. Провал на территории БКПРУ-1
ПАО «Уралкалий».

Рис. 3. Провал на железнодорожном полотне в
г. Березниках.

Значительное развитие в Пермском крае получил трубопроводный транспорт. По территории региона проходит ряд крупных магистральных нефте- и газопроводов общероссийского и международного значения. Это две трассы нефтепровода Сургут – Полоцк, пять магистральных нефтепроводов Уренгой – Центр, экспортный газопровод Уренгой – Помары – Ужгород [7]. Протяженность магистральных трубопроводов достигает 11,2 тыс. км, из них 1,3 тыс. км нефтепроводов и 9,9 тыс. км газопроводов. Через территорию региона проходит около 22% добытой в стране нефти и 53% добытого природного газа.

Особую опасность представляет антропогенная активизация карста в совокупности с другими опасными геологическими процессами: суффозией, эрозией, подтоплением, обвалами, землетрясениями и др. Так, строительство магистральных газопроводов в Кунгурско-Иренском междуречье, проводившееся с нарушением гидрологического режима территории и использованием взрывного способа рыхления скальных и мерзлых грунтов, привело к резкому повышению интенсивности провалообразования [6].

Магистральные трубопроводы и железные дороги пересекают почти все карстовые районы (Полазненский, Чусовской, Иренский, Кизеловский и др.), а также и наиболее опасные районы развития соляного (например, Соликамский карстовый район) и сульфатного (например, Нижнесылвинский карстовый район) карста (рис. 1, табл. 4). Карстовые районы являются местом повышенного риска для строительства объектов транспортно-коммуникативной сети.

Известно большое количество аварий на магистральных трубопроводах и железных дорогах, приуроченных к карстовым районам (табл. 4, рис. 1).

Таблица 4

Приуроченность к карстовым районам трубопроводов и железной дороги

Карстовые районы [4]	Наличие		Протяженность железных дорог, км	Случаи аварий
	газопроводов	нефтепроводов		
Полазненский (Пл)	+	+	85,6	+
Нижнесылвинский (Нс)	+	+	47,5	+
Иренский (Ир)	+	+	29,1	+
Уфимского плато (Уп)	+		28,9	+
Кишертский (Кш)	+		19,4	+
Соликамский (Сл)	+	+	73,6	+
Осинцевский (Ос)			17,3	+
Ачитский (Ач)			10,3	
Кордонский (Кр)			6,0	

Кизеловский (Кз)	+		146,0	+
Чусовской (Чс)	+	+	112,9	+
Верхнеустьвинский (Ву)	+			
Всего в карстовых районах (в % к общей протяженности)			576,6 (35%)	

В.В. Толмачевым [9] на основе анализа аварий и повреждений сооружений на закарстованных территориях был составлен условный ряд степени тяжести их последствий.

1. Катастрофические разрушения (потеря общей устойчивости сооружения или повреждение технологического оборудования), приводящие к гибели людей или недопустимому заражению местности вредными химическими, радиоактивными и другими веществами.

2. Частичные разрушения и повреждения, приводящие к временному прекращению нормальной эксплуатации сооружений.

3. Повреждения, приводящие к существенному затруднению нормальной эксплуатации сооружений.

4. Повреждения, могущие при определенных условиях привести к временному затруднению нормальной эксплуатации сооружения.

5. Повреждения, практически не приводящие к затруднению нормальной эксплуатации сооружения.

С учетом разрушительного воздействия тех или иных видов карстовых деформаций опасность карста для некоторых типов сооружений можно представить следующим образом (табл. 5).

Таблица 5

Опасность карста для различных типов сооружений [9]

Тип сооружений	Возможные последствия карстовых деформаций			
	провалы	проседания	просадки	оседания
Гражданские и промышленные здания	1-4	1-4	2-4	2-4
Высотные здания башенного типа	1-3	1-3	1-4	1-4
Атомные и тепловые электростанции	1-2	1-2	1-4	2-3
Дымовые трубы	1-2	1-2	1-3	1-4
Мосты и путепроводы	1-2	1-2	1-3	2-4
Главные пути магистральных железных дорог	1-3	1-4	1-5	3-5
Дорожная конструкция автомобильных	1-4	2-4	3-4	3-4

дорог				
Магистральные трубопроводы	2-5	2-5	4-5	4-5

Закарстованность территории Пермского края усложняет ведение хозяйственной деятельности и повышает риск возникновения аварийных и чрезвычайных ситуаций. Опыт освоения карстовых районов показывает, что наименьший ущерб нанесен тем из них, где до начала деятельности осуществлялось детальное изучение особенностей развития карста, разрабатывались и проводились научно обоснованные противокарстовые мероприятия [5].

Таким образом, наличие карстовых пород, особенно на территории с высокой степенью техногенной нагрузки, является причиной значительных проблем для инженерных сооружений и окружающей среды. В связи с этим необходимо проводить специальные защитные мероприятия для снижения негативных последствий и больших затрат на их ликвидацию.

Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания № 2014/153 № 269 в сфере научной деятельности.

Список литературы

1. Горбунова К.А. Карст некоторых районов Пермской области : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Пермь, 1956.
2. Горбунова К.А. Карст гипса СССР : учеб. пособие по спецкурсу. – Пермь : Изд-во Перм. ун-та, 1977. – 84 с.
3. Горбунова К.А. Районирование территории Пермской области по карстоопасности // Катастрофы и аварии на закарстованных территориях: тезисы докладов совещания. – Пермь : Дом науки и техники, 1990. – С. 27-28.
4. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. – Пермь : Изд-во Перм. ун-та, 1992. – 200 с.
5. Катаев В.Н., Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю. Типы карста Пермского края // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2013. – Вып. 1. – С. 56-66.
6. Костарев В.П., Димухаметов М.Ш., Папириная В.Т. Элементы мониторинга и аварийные ситуации на линейных сооружениях в карстовых регионах Пермского Приуралья // Катастрофы и аварии на закарстованных территориях: тезисы докладов совещания. – Пермь : Дом науки и техники, 1990. – С. 31-32.
7. Назаров Н.Н., Шарыгин М.Д. География. Пермская область : учеб. пособие. – Пермь : Книжный мир, 1999. – 248 с.

8. Территориальные строительные нормы Пермского края. Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарстованных территориях Пермской области. ТСН 11-301-2004По. – Пермь : Администрация Пермского края, 2005.
9. Толмачев В.В. Классификация последствий повреждений сооружений вследствие воздействия карстовых деформаций // Катастрофы и аварии на закарстованных территориях : тезисы докладов совещания. – Пермь : Дом науки и техники, 1990. – С. 9-10.
10. Шумилова О.Ю., Максимович Н.Г. Распределение транспортно-коммуникативной сети в карстовых районах Пермского края // Проблемы и задачи инженерно-строительных изысканий. Проблемы инженерной геологии карста урбанизированных территорий и водохранилищ : материалы Всерос. науч.–практ. конф. – Пермь, 2008. – С. 302-306.
11. Яковенко П.И. Сульфатный карст Среднего Предуралья и оценка устойчивости железнодорожных сооружений : дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Свердловск, 1969. – 362 с.

Рецензенты:

Земсков А.Н., д.т.н., вице-президент по науке и технической политике ГП «ЗУМК», член
Высшего горного совета России, г. Пермь;

Середин В.В., д.г.-м.н., профессор, генеральный директор ООО НИПППД «Недра»,
г. Пермь.