

В.А. Минаев, А.О. Фаддеев
ОПОЛЗНИ, ОСЕДАНИЯ, КАРСТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ
КАК ПРОЯВЛЕНИЯ "МЕДЛЕННЫХ" КАТАСТРОФ

Рассматривая достаточно узкий класс природных опасностей, так называемые экзогенные геологические процессы (ЭГП) [2, 6], можно отметить, что "ответственными" за подготовку и протекание "медленных" катастроф являются геодинамические подвижки по тектоническим разломам и сопутствующие им деформации верхних частей земной коры. Подобные подвижки, в свою очередь, приводят к появлению и накоплению деформаций в приповерхностных грунтах, опорах, несущих конструкциях, зданиях, сооружениях, развитию оползневых процессов, а также являются одной из причин генерации полей биоактивного диапазона [5].

Из всего спектра экзогенных геологических процессов рассмотрим процессы, связанные с деформацией верхних частей земной коры и приповерхностных грунтов – оседания, оползни, карстово-деформационные процессы.

Под **карстом** понимают совокупность геологических явлений в земной коре и на ее поверхности, вызванных химическим растворением горных пород и выраженных в образовании в земной коре пустот, в разрушении и изменении структуры и состояния пород, в создании особого характера циркуляции и режима подземных вод и характерного рельефа местности и режима гидрографической сети [6].

Карст – скрытый и опасный процесс, приносящий значительный ущерб [2]. Так, в 1969 г. в Москве в результате провала земной поверхности разрушен многоквартирный дом, а в 1977 г. разрушены два 48-квартирных дома. В 1992 г. в Дзержинске оседание земной поверхности привело к разрушению цеха ПО "Дзержинсхиммаш". В Уфе, Казани и Самаре неоднократно отмечались повреждения зданий из-за карстовых провалов и оседаний земной поверхности.

В октябре 1981 г. произошел Фалдинский провал (в 15-ти км южнее г. Тулы), диаметром 50 м и приблизительно такой же глубины. Огромная масса горных пород (более 90 тыс. м³) обрушилась за несколько часов. Через неделю форма и размеры провала изменились – он расширился, его диаметр увеличился до 70 м, глубина сократилась до 35–40 м. В настоящее время провал заполнен водой, образовалось карстовое озеро.

Приведенные примеры – лишь малая часть случаев нанесения материального ущерба при развитии карста на территории России, где опасному воздействию карста подвержены около трехсот городов, а возможный разовый экономический ущерб оценивается в миллионы долларов [2].

Развитие карста обуславливается многими природными, а на освоенных территориях – еще и техногенными воздействиями, соотношение кото-

рых определяет виды опасности карста (см. рис. 1).



Рис. 1. Основные виды опасностей карстовых явлений

Наиболее объективным показателем развития карста является интенсивность растворения карстующихся пород, которая может быть выражена формулой [6]:

$$Q_k = M_{nc} \cdot (C_k - C_n)_{k,a} = M_{nc} \cdot n(C_k - C_n)_{k,a}, \quad (1)$$

где Q_k – масса растворенной породы, выносимой подземными водами, контролирующими карстовый процесс ($\text{г/с} \cdot \text{км}^2$); M_{nc} – модуль подземного стока; C_k и C_n – соответственно, конечное и начальное содержание ионов (k – катионов, a – анионов), образующихся при растворении тех или иных карстующихся пород; n – некоторый коэффициент, определяемый экспериментально.

От этого показателя обычно переходят к величине карстовой эрозии H_k (см), под которой понимается условное снижение земной поверхности в единицу времени, соответствующее объему вынесенной подземными водами карстующей породы [6]:

$$H_k = \frac{Q_k}{\rho} = \frac{M_{nc} \cdot n(C_k - C_n)_{k,a}}{\rho}, \quad (2)$$

где ρ – плотность карстующихся горных пород.

Карст весьма опасной категории развит на территориях Пермской, Нижегородской, Кировской, Самарской областей, в Башкирии и Татарстане, характерен для небольших территорий Астраханской, Волгоградской и Оренбургской областей, а также для территории на стыке Костромской, Вологодской, Архангельской областей, на юго-востоке республики Коми и Кировской областей. На территориях развития карста весьма опасной категории располагаются крупнейшие промышленные города Москва, Нижний Новгород, Самара, Казань, Уфа, Пермь с населением более 1 млн. человек, а также города Альметьевск, Дзержинск, Стерлитамак, Салават, Соликамск и другие с населением более 100 тыс. человек [2, 6].

Одной из главных задач изучения закарстованных территорий является количественная оценка устойчивости массивов пород и прогноз их развития в пространстве и во времени [6].

При прогнозе широко используются методы геологического анализа, гидрогеохимических расчетов, инженерно-геологических аналогий, вероятностно-статистические методы [3].

На их основе прогнозируют количество и размер воронок и провалов. Для количественной оценки прогноза карстового процесса используется также его моделирование (физическое и математическое) [3, 4]. Исследование развития карста позволило разработать методику количественной оценки устойчивости закарстованных территорий, основанную на анализе напряженного состояния массивов горных пород. Опыт показывает, что для своевременного предупреждения карстовой опасности на закарстованных участках необходимо слежение за уровнями подземных вод. Для природно-техногенных карстовых катастроф дополнительными критериями являются величина техногенной нагрузки и чувствительность территории к ней.

Оседание поверхности земли, формирующееся под влиянием как природных, так и техногенных факторов, широко распространено в мире, в частности, в США, Мексике, Японии, Таиланде, Италии, Нидерландах, России и некоторых странах СНГ.

В естественных условиях понижение поверхности земли происходит вследствие уплотнения пород под действием давления вышележащих отложений в результате тектонических прогибаний, под влиянием колебаний атмосферного давления, лунно-земных и солнечных связей. Понижение земной поверхности под влиянием естественных факторов происходит медленно и становится заметным лишь через продолжительный промежуток времени. Значительно более интенсивным по амплитуде и времени формирования является оседание поверхности под воздействием антропогенных факторов.

Оседание земной поверхности может привести и приводит к формированию многих опасных геологических явлений и техногенных последствий [1, 6]. Среди них наиболее распространенными являются подтопление и заболачивание территорий, изменение высоты и уклона русел, повреждение обсадных труб, эксплуатационных скважин, а в районах морских побережий – затопление территорий, в результате чего выбывают из строя земли городов и населенных пунктов. Неравномерное оседание вызывает разрушение железных дорог, различных подземных коммуникаций, мостов, портов, набережных и т. п.

Наблюдениями установлено, что скорость и амплитуда оседания может достигать значительных величин. Так, в Осаке на некоторых участках скорость оседания достигала 2,2 см/год, в Мехико – 24 см/год, в Лос-

Анджелесе – 75 см/год, в Таллинне – 30 см/год, в Риге – 3 см/год, в Санкт-Петербурге – 1,5 мм/год, в Москве – 3 мм/год.

В общем виде многофакторный процесс формирования оседания земной поверхности $N(t)$ можно отобразить в виде суммы фактических воздействий [6]:

$$N(t) = -A(t) + B(t) + C(t) + D(t) + E(t) + F(t), \quad (3)$$

где $A(t)$ – общее возможное тектоническое вертикальное движение местности; $B(t)$ – упругая деформация грунтов под влиянием изменения атмосферного давления, лунных приливов и отливов и т. д.; $C(t)$ – упругая деформация грунтов, вызванная колебаниями свободной поверхности подземных вод; $D(t)$ – пластическое необратимое уплотнение глинистых отложений под действием снижения уровня подземных вод; $E(t)$ – консолидационное уплотнение грунтов под влиянием весовой нагрузки зданий и сооружений; $F(t)$ – уплотнение грунтов от техногенных вибраций.

Задача изучения оседания земной поверхности заключается в выявлении удельных весов факторов и в прогнозе суммарного опускания поверхности земли. Величина $A(t)$ для условий северо-запада России составляет, по данным многочисленных измерений, около 1–2 мм/год.

Основное влияние на оседание поверхности Земли оказывают техногенные факторы. Среди них определяющая роль принадлежит тем нагрузкам на грунт, которые вызываются зданиями, сооружениями, строительными конструкциями и др. В условиях мегаполисов и крупных городов строительные нагрузки на грунт могут достигать больших величин, и, как следствие, оседание земной поверхности в случае слабых глинистых отложений может достигать величины 0,5 м. Дополнительными факторами уплотнения грунтов могут явиться вибрационные воздействия от транспортных средств, механизмов ударного действия и другой техногенной деятельности. Так, например, при закладке свайных фундаментов отмечается дополнительное оседание на 70 и более мм вблизи расположенных зданий.

Наиболее универсальным инструментом изучения и прогноза оседания земной поверхности является трехмерная гидрогеологическая модель, сопряженная с одномерной моделью уплотнения водовмещающих и разделяющих слоев. Результаты прогнозирования с помощью комплексной модели позволяют получить многовариантную картину будущей ситуации для различных количественных схем извлечения подземных вод [3, 6].

Альтернативным методом количественного прогноза оседания выступает метод аналогий. Основным методом изучения процесса оседания земли по площади и во времени вследствие откачки подземных вод или извлечения нефти и газа является метод повторного прецизионного нивелирования.

Оползни – это смещение горных пород вниз по склону без потери

контакта между смещающимися и неподвижными породами. Скорость перемещения земляных масс может изменяться в широких пределах, от долей $мм/с$ до $м/с$.

Наибольшую опасность представляют оползни, которые смещаются с большой скоростью. Проявление таких оползней часто сопровождается человеческими жертвами [6].

Интенсивное формирование оползней характерно для горных регионов Северного Кавказа и Приангарья. За пределами горных территорий оползни наиболее широко распространены в предгорьях Кавказа (Ставропольский край), по склонам рек и оврагов на территории Среднерусской и Смоленско-Московской возвышенностей, в Правобережном Поволжье, в верховьях бассейна Оби, в южной части Восточной Сибири и в Приморье.

Оползни неоднократно отмечались в Среднем и Нижнем Поволжье на правобережном склоне р. Волги. Наибольший из них возник в 1915 г. на площади 100 га при строительстве моста через Волгу в г. Симбирске (Ульяновск). Подвижки таких оползней в ряде случаев приводили к нарушению ж.-д. движения (в Ульяновске, на станциях Князевка и Увек южнее Саратова, в Волгограде и др. пунктах), в г. Вольске они вызывали деформирование зданий цементных заводов: в 1968 г. на Соколовой горе в г. Саратове в зону оползня (размером вдоль берега 1150 м и площадью 48 га) попали несколько десятков одноэтажных жилых домов поселка "Затон" на берегу протоки Волги.

Следует особо отметить четко прослеживающееся повышение интенсивности развития оползней в местах техногенного изменения природной обстановки. Наиболее четко это проявляется в пределах городов. Воздействию оползней подвержено 725 из 1036 городов в Российской Федерации.

Формирование оползней представляет собой весьма сложный и многофакторный процесс. Факторы, определяющие возможность появления и особенности развития оползневых смещений, достаточно четко разделяются на две основные группы. К первой группе факторов относятся условия, отражающие исходное состояние геологической среды, в которой формируются оползни – рельеф (наличие склона определенной морфологии и крутизны); литология, условия залегания и инженерно-геологические свойства горных пород, слагающих склон; положение водоносных горизонтов в массиве склона, фильтрационные градиенты и величины напоров подземных вод.

Вторую группу факторов представляют процессы и воздействия, изменяющие исходное состояние склонов – речная и овражная эрозия, абразия, выветривание, тектонические движения (современные и неотектони-

ческие), а также различные техногенные воздействия, оказывающие негативное влияние на устойчивость склона: техногенные изменения рельефа (особенно подрезка склонов), пригрузка склона весом зданий и сооружений, нарушение условий поверхностного стока, техногенное увеличение обводненности пород (в том числе – при развитии подтопления), техногенная суффозия, вибрационные нагрузки от работающих механизмов и движущегося транспорта, сотрясения от взрывов ("возбужденная сейсмичность").

Литература

1. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н.; МЧС России. Риски в природе, техно-сфере, обществе и экономике. –М.: Деловой экспресс, 2004. –352 с.
2. Опасные экзогенные процессы / Осипов В.И., Кутепов В.М., Зверев В.П. и др. Под ред. Осипова В.И.. –М.: ГЕОС, 1999. –290 с.
3. Толстых Е.А., Ключин А.А. Методика измерения количественных параметров экзогенных геологических процессов. –М.: Недра, 1984. –117 с.
4. Трофимов В.Т. Зилинг Д.Г. Инженерная геология и геоэкологическая геология: теоретико-методологические основы и взаимоотношение. –М.: МГУ, 1999. –120 с.
5. Фаддеев А.О. Геоэкологический аспект функционирования подразделений УИС и управления ими. – Рязань: Академия права и управления Минюста России, 2003. – 190 с.
6. Экзогенные геологические опасности. Тематический том / Под ред. Кутепова В.М., Шеко А.И.. –М.: Издательская фирма "КРУК", 2002. –348 с.