

## ОПЫТ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЦЕССАМИ ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЯ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ И ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ ИХ МОНИТОРИНГА

Казначеев П.А., Камшилин А.Н.

(Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва)

**Аннотация.** В статье представлен опыт наблюдения за образованием небольших провалов грунта в городских условиях, произошедших несколько раз в 2013-2016 гг. в одних и тех же местах. Отмечена разница в развитии провала на заасфальтированной и не заасфальтированной территориях. Рассмотрены методы мониторинга процессов провалообразования в сложных городских условиях.

**Ключевые слова:** провалы грунта, мониторинг, город, заасфальтированные территории.

Образование провалов грунта представляет серьезную угрозу для безопасности сооружений и их строительства, особенно – в городских условиях. Наличие разветвленной сети коллекторов, ограниченность поверхностного стока и повышенная активность стекающих растворов создают благоприятные условия для процессов суффозии и растворения грунтовых материалов [1]. Несмотря на непосредственное проживание человека в городских условиях, наблюдение за этими процессами затруднено тем, что скрыто от методов контроля искусственными покрытиями – асфальтом, насыпными подушками из привозного грунта и др. Предсказать развитие провала затруднительно, и большинство провалов обнаруживаются уже после выхода на поверхность и разрушения искусственного покрытия. Поэтому существенную ценность представляет опыт наблюдения за развитием таких провалов до их выхода на поверхность, а разработка методов мониторинга данной стадии провалообразования является актуальной задачей.

Проведено наблюдение за развитием двух провалов в городских условиях: от небольшого проседания грунта до выхода на поверхность. Особенностью наблюдаемых провалов являлось их неоднократное образование практически в одних и тех же местах, что явно говорит об образовании определенных, скрытых от непосредственного наблюдения суффозионных процессов. Один из провалов находился на заасфальтированной территории тротуара, другой – на не заасфальтированной территории газона на расстоянии 3-5 м от первого. На расстоянии 1-2 м от провала на газоне находился люк коллектора. Фотографии провалов на окончательной стадии развития, которую удалось зафиксировать, показаны на рис. 1. Впервые провалы были зафиксированы и сфотографированы весной 2013 года, визуальный мониторинг проводится непрерывно по настоящее время. Активное развитие провалов происходило в 2013-2016 гг., после чего состояние среды относительно стабилизировалось. Указанное место находится на востоке Москвы, в непосредственной близости от Измайловского лесопарка. По всей видимости, провалы обусловлены сложными гидрогеологическими условиями (подземные речки и сложные условия стока).

Из рис. 1 видно, что провалы представляют серьезную угрозу пешеходам. Размер провала на заасфальтированной территории составлял около 1.5 x 1.8 м (рис. 1а), размер провала на не заасфальтированной территории - около 1.5 м в диаметре (рис. 1б). При возникновении провалов таких размеров на проезжей части возможны серьезные автомобильные аварии, при возникновении на участке строительства возникает опасность для строительной бригады и строящегося сооружения.

Отличительная особенность провалов грунта в городских условиях, особенно на заасфальтированных территориях, состоит в том, что видимые проявления на определенном этапе могут быть незначительными, а при соответствующем внешнем воздей-

ствии (большая нагрузка, ударное воздействие) может резко образоваться провал. Например, после каждой засыпки провала на газоне достаточно быстро происходило новое заметное проседание грунта. После ремонта асфальтового покрытия тротуара там, где был провал на асфальте, новый асфальт проседал и ломался очень медленно. При этом, скорее всего, под асфальтом грунт разуплотнился достаточно быстро, как и в первом случае. При внешнем воздействии (например, проезде тяжелой строительной техники) асфальтовое покрытие может резко разрушиться.



**Рис. 1.** Пример образования провала грунта в городе на заасфальтированной (слева) и незаасфальтированной (справа) территории.

Поэтому для обеспечения безопасной хозяйственной деятельности в городских условиях, особенно высокой степени ответственности (строительство, эксплуатация сложных сооружений), актуальна задача разработки методов мониторинга состояния геологической среды, которые позволили бы отслеживать её небольшие изменения (разуплотнение грунта, образование пустот, не выходящих на поверхность и т.п.). Приведем краткий обзор геоэлектрических методов, которые могли бы использоваться для данных целей.

Активный геоэлектрический мониторинг (АГЭМ) предполагает искусственное возбуждение электрического поля в среде и такое размещение электрометрической установки, которое позволяет обеспечить максимальную чувствительность к наиболее интересующим нас изменениям. В зависимости от типа измерителя электрического поля, АГЭМ может быть построен на основе традиционных измерительных электродных пар [2] или на основе бесконтактных измерителей тока [3]. Первый вариант проще реализуется при использовании стандартной электроразведочной аппаратуры, но второй вариант позволяет существенно увеличить помехозащищенность за счет устранения контактных явлений. Размещение электрометрической установки, прежде всего, должно удовлетворять условию нулевого сигнала в исходный момент времени, когда производится установка аппаратуры. Отслеживание разностного сигнала позволяет обнаружить момент, когда геологические процессы существенно изменяют геоэлектрический разрез по сравнению с исходным состоянием. Второе условие для размещения электрометрической установки предполагает её максимальную чувствительность к тем изменениям среды, которые интересуют нас больше всего. Это может быть конкретно пространственная область, где подготавливается провал [4]. Теоретические исследования на модели процесса провалообразования показывают, что чувствительности современной аппаратуры достаточно для обнаружения подготовки провала на ранних этапах [5].

### Литература

1. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. - М.: ГЕОС, 2003.

2. Возможности регистрации подземных обрушений грунтов с помощью активно-го геоэлектрического мониторинга / В.П. Хоменко, А.Н. Камшилин, О.Р. Кузичкин, Е.Н. Волкова // Промышленное и гражданское строительство. - 2007. - № 11. - С. 12-14.
3. Геоэлектрические исследования процессов подготовки провалов грунта / Е.Н. Волкова, П.А. Казначеев, А.Н. Камшилин, В.В. Попов // Геофизические исследования. - 2013. - Т. 14, № 3. - С. 64-79.
4. Камшилин А.Н., Волкова Е.Н., Хоменко В.П. Способ геоэлектроразведки: патент РФ № 2426153 С1, кл. G 01 V 3/02. - Заявл. 07.04.2010. - Оpubл. 10.08.2011. - Бюлл. № 22. - 9 с.
5. Казначеев П.А., Камшилин А.Н., Хоменко В.П. Эквипотенциальный и токовый методы карстологического геоэлектрического мониторинга // Инженерные изыскания. - 2015. - № 9. - С. 32-39.