

УДК 551.435.8

## СУФФОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ТЕРРИТОРИЯХ ГОРОДОВ

Димухаметов Д.М.<sup>1</sup>, Новопоселенских Л.А.<sup>1</sup>, Бахарева Н.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [seredin@nedra.perm.ru](mailto:seredin@nedra.perm.ru)

Значительные трансформации природной среды на территориях городов способствуют возникновению и активации опасных геологических процессов. Среди комплекса опасных геологических явлений на объектах городской инфраструктуры важное место занимает суффозия, результаты проявления которой регулярно фиксируются. Качество прогноза развития суффозии как природно-техногенного процесса связано с общим представлением о нем и набором факторов, в разной степени влияющих на его динамику. Многообразие исходных параметров и их значений при природно-техногенном генезисе процесса. Классификация суффозионного процесса, обоснование роли природных и техногенных факторов его развития, определяют методологическую базу для оценки и прогноза развития суффозионных и постсуффозионных процессов на территориях городов. Необходимость использования геоинформационных систем как инструмента накопления и обработки данных, связанных с мониторингом, для районирования, прогноза и моделирования опасных геологических процессов в условиях городской застройки.

Ключевые слова: суффозия, грунты, классификация и теория суффозионных процессов, прогноз и моделирование суффозии, природно-техногенные условия, суффозионные деформации, интенсивность и активизация процесса.

## SUFFOSION PROCESSES IN THE CITIES

Dimukhametov D.M., Novoposelenskikh L.A., Bakhareva N.S.

<sup>1</sup>Perm State National Research University, 614990, Perm, Bukireva str. 15; [seredin@nedra.perm.ru](mailto:seredin@nedra.perm.ru)

Significant transformation of the natural environment in the cities contribute to the emergence and activation of dangerous geological processes. Among the complex of geological hazards in the urban infrastructure suffosion occupies an important place, the results of which are fixed on a regular basis. The quality of suffosion forecast as a natural and man-made process is connected with its general understanding and a set of the factors, influencing its dynamics at different degree. The variety of input parameters and their values at the natural and man-made process genesis. Classification of suffosion process and justifying the role of the natural and man-made factors in its development define the methodological framework for the assessment and prediction of suffosion and postsuffosion processes in the cities. The need to use geographic information systems as an instrument for data accumulation and processing related to monitoring, for zoning, forecasting and modeling of geological hazards in urban areas.

Keywords: suffosion, soil, classification and theory of suffosion processes, suffosion forecasting and modeling, natural and man-made conditions, suffosion deformation, process intensity and activation.

В настоящее время наблюдаются значительные трансформации природной среды на территориях городов, что в свою очередь повышает риск возникновения различных аварий и катастроф. Среди комплекса опасных геологических процессов важное место занимает суффозия, результаты проявления которой регулярно возникают на объектах городской инфраструктуры.

Суффозия на территориях городов носят ярко выраженный природно-техногенный характер. Развитие процесса, как правило, происходит без всякой подготовки и практически мгновенно, о чем свидетельствуют провалы и деформации поверхности и зданий на территориях городов.

Одним из аспектов, позволяющих разработать единые требования к методам изучения, моделирования и прогноза процесса суффозии, является классификация.

Вопросы классификации суффозии достаточно детально рассмотрены в работах В.П. Хоменко, где отмечается, что подходы к ней во многом обусловлены пониманием авторами самого термина и области ее применения. Ряд авторов предлагает рассматривать суффозию как фильтрационное разрушение дисперсных пород, другие авторы включают в классификацию химическое разрушение горных пород потоком подземных вод. [3]

Можно отметить, что фактически в основе всех классификаций лежит фильтрационное разрушение пород, гидромеханические изменения горных пород, следствием которых разными авторами определяются выпор, суффозия, контактное разрушение (Истомина В.С. 1957), гидравлическое разрушение, эрозия, суффозия, кольматаж (Цимс, 1967), подземная эрозия, суффозия, кольматаж, напорно-силовые деформации (А.Г. Лыкошкин, 1976).

И.А. Печеркин трактовал суффозию как сложный физико-химический процесс, в котором сочетаются механизмы растворения, выноса и эрозионного размыва.

В сфере представлений А.П. Павлова суффозия рассматривается как самостоятельная система процессов, основными факторами развития которой являются: локальная разгрузка-дренаж подземных вод, химическое и механическое разрушение горных пород.

По виду и характеру локального изъятия вещества гидросферы (Архидьяконских, 1983) выделяется 4 основных типа суффозии: дренажный, денудационный, дренажно-денудационный и сложный.

Необходимыми условиями развития суффозии согласно В.Д. Ломтадзе (1977) являются структурно-текстурная неоднородность пород, определенная гидродинамическая сила подземного потока, наличие области выноса пород, разрушенных механической суффозией. Среди показателей, определяющих интенсивность развития механической суффозии, он предложил критические градиенты и давление воды, при которых начинается процесс.

В естественных условиях интенсивность механической суффозии определяется характером проницаемости среды протекания процесса. При наличии в толще грунтов (пород) сквозных подземных каналов, соединяющих источник поступления воды со свободным пространством, механическая суффозия принимает вид подземной эрозии [12].

Размываемость грунтов обусловлена их составом, структурными связями и свойствами. По характеру разрушения грунтов механической и химической суффозией В.П. Хоменко выделил определенные виды. Для дисперсных несвязанных пород характерно полное и частичное фильтрационное разрушение, для дисперсных связных и несвязных – подземная эрозия; для засоленных проницаемых пород – химическая поровая суффозия; для скальных обломочных, цементированных и трещиноватых – химическая трещинная суффозия.

Размывающая способность потока определяется его скоростью и сроком его существования. При размыве происходит не только изменение минералогического, гранулометрического состава грунтов, но и увеличивается их пористость и проницаемость, что приводит к переходу от частичного фильтрационного разрушения к подземной эрозии.

Если рассматривать процесс как природно-техногенный, то источниками воды, зонами транзита и аккумуляции при суффозионном выносе частиц в условиях городских территорий, как правило, являются городские объекты, связанные с сетями водоснабжения и канализации. Наиболее неустойчивыми к подземному разрушению являются неоднородные по гранулометрическому, литологическому составу и недоуплотненные насыпные грунты. Прокладка коммуникаций часто ведется непосредственно под транспортными магистралями и формирование полости под асфальтовым покрытием не фиксируется вплоть до ее обрушения под весом проезжающего транспорта.

Кроме провалов и оседаний, связанных с суффозией денудационного и дренажно-денудационного типов, бывают деформации дренажного типа, возникающие при длительных откачках подземных вод.

Наибольшую опасность для зданий и сооружений города представляют процессы суффозионного выноса в зонах интенсивной трещиноватости и пустот, приуроченных к старым горным выработкам.

Научно обоснованные прогнозы суффозионных процессов должны основываться на знании их закономерностей и на определенной исходной информации [5]. Результаты обследования территорий и получение информации о расположении и морфометрических характеристиках поверхностных форм могут косвенно отражать степень активности процесса в пределах городской территории.

Основными факторами, провоцирующим процесс, являются не столько размываемость пород в зоне воздействий инженерных сооружений, сколько источники поступления воды в грунтовый массив, напор и наличие зоны выноса. Можно предположить, что они являются наиболее важными критериями для прогноза суффозии на городских территориях. В качестве оценочных и прогнозных показателей можно использовать количество на единицу площади и состояние водонесущих коммуникаций, наличие и емкость потенциальных зон выноса и аккумуляции разрушенных грунтов, глубину заложения старых или современных подземных выработок. Дополнительными критериями можно считать действующие системы водопонижения и техногенные воздействия, приводящие к повышению уровня грунтовых вод.

Задача количественного прогноза решается с помощью следующих групп методов: сравнительно-геологических (метод аналогий), расчетных (с использованием

детерминированных и статистических моделей) и физического моделирования.

Как отмечено В.П. Хоменко [12] данные методы имеют свои достоинства и недостатки. Метод аналогий предполагает существование как минимум одного объекта-аналога, что достаточно проблематично с учетом сложности и различий природно-техногенных условий городских территорий. Лабораторное физическое моделирование суффозии тем объективнее, чем с большей степенью достоверности воссозданы нагрузки, воздействия, условия развития процесса – все это представляет определенные трудности для сложных природно-технических систем. Статистические методы предполагают работу со значительным массивом данных, что также не всегда возможно. Расчетные методы, базирующиеся на детерминированных моделях, требуют глубокого анализа прогнозируемого процесса, а также точного выбора расчетных параметров.

Опыт физического моделирования суффозионных процессов в лабораторных условиях достаточно обширен с применением трехмерных экспериментальных установок, вертикальных фильтрационно-суффозионных приборов, горизонтальных лотков и пр. Методики позволяют решать целый ряд научных и практических задач для моделирования различных типов суффозии (закрытого и открытого разрушения восходящими и нисходящими потоками, контактного размыва и пр.), определения суффозионной устойчивости грунтов, их водопроницаемости.

Определенная трудность объективного прогноза участков и скорости развития суффозии возникает за счет многообразия исходных параметров и их значений при природно-техногенном генезисе процесса, а также сложности определения участков резкого изменения условий при аварийных ситуациях. Скорость образования полостей и провалов в техногенных дисперсных грунтах весьма значительна, даже при отсутствии мощной зоны разгрузки в подземной части и, не взирая на различную размываемость грунтов. В процессе формирования полостей и обрушения кровли над ними при достаточных напорах возникает возможность формирования восходящего потока и резкой активизации процесса провалообразования за счет улучшения условий разгрузки и выноса грунта на дневную поверхность, изменяются гидродинамические условия (напоры, направления и скорости потока) и типы суффозионных процессов. Поверхностные суффозионные деформации дренажного типа во многих случаях создают предпосылки для сбора и перевода поверхностного стока в подземный с последующим размывом и формированием полостей уже дренажно-денудационного и денудационного типов суффозии.

Среди приоритетных подходов к решению задач районирования и количественного прогноза суффозионных процессов на территориях городов можно назвать:

- оценку степени активности процесса с помощью таких показателей как интенсивность провалообразования на единицу площади за единицу времени, их суммарная площадь в плане, общий объем;

- оценку степени техногенной нагрузки на геологическую среду с помощью показателей суммарной протяженности водонесущих коммуникаций на единицу площади, срок их эксплуатации, площади и этажности сооружений (как косвенного показателя объема водопотребления);

- определение и оценку минимальных и максимальных значений напоров при авариях на водопроводах, коэффициентов фильтрации природных и техногенных грунтов в зоне разрушения и транзита, морфометрических и емкостных характеристик предполагаемых зон аккумуляции разрушенного грунта (природного и техногенного генезиса);

- лабораторное физическое моделирование суффозии для прогноза времени, условий образования провалов их параметров и предельных состояний с последующей верификацией результатов на основании натурного наблюдения за провалообразованием в сходных условиях;

- использование геоинформационных систем как инструмента накопления и обработки данных, связанных мониторингом, районированием, прогнозом и моделированием опасных геологических процессов на территории городов.

Для оценки и прогноза развития суффозионных процессов в пределах городских территорий наиболее оптимальным представляется комплексирование различных методов прогнозов и накопления представительной базы данных. Это позволит значительно расширить спектр решаемых задач и минимизировать риски, связанные с методологическими ограничениями, присущими общепринятым методам моделирования и прогноза.

### **Список литературы**

1. Красильников, П.А., Середин, В.В., Леонович, М.Ф. Исследование распределения углеводородов по разрезу грунтового массива // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2-14. – С. 3100-3104.
2. Кузнецов, Ф.М., Козлов, А.П., Середин, В.В., Пименова, Е.В. Рекультивация нефтезагрязненных почв: учебное пособие. Пермь: Изд-во ПГТУ, 2003. – 198 с.
3. Опасные экзогенные процессы / В.И. Осипов, В.М. Кутепов и др. / Под ред. В.И. Осипова. – М.: ГЕОС, 1999. – 290 с.

4. Середин, В. В. Математические методы в гидрогеологии и инженерной геологии: курс лекций/ В.В. Середин; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Пермский гос. ун-т", каф. инженерной геологии и охраны недр. – Пермь, 2011. – С.120.
5. Середин, В.В. Исследование температуры пород в зоне трещины разрушения // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-12. – С. 2713-2717.
6. Середин, В.В. Исследование влияния вязкости поровой жидкости (углеводородов) на прочностные свойства песков // Инженерная геология. – 2014. – № 4. – С. 45-48.
7. Середин, В.В., Красильников, П.А., Чижова, В.А. Влияние вязкости поровой жидкости (углеводородов) на модуль деформации глины // Инженерная геология. – 2015. – № 4. – С. 60-63.
8. Середин, В.В., Сысолятин, С.Г., Вагин, А.Л., Хрулев, А.С. Влияние напряженного состояния грунтов на модуль деформации // Инженерная геология. – 2015. – № 2. – С. 12-16.
9. Середин, В.В., Леонович, М.Ф., Красильников, П.А. Прогноз фильтрации углеводородов в дисперсных грунтах при разработке нефтяных месторождений // Нефтяное хозяйство. – 2015. – №5. – С.106-109.
10. Середин, В.В., Стародумова, А.О., Пушкарева, М.В., Лейбович, Л.О. Экспериментальное изучение распределения углеводородного загрязнения в геологической среде // Нефтяное хозяйство. – 2014. – №10. – С.131-133.
11. Середин, В. В., Ядзинская, М. Р., Красильников, П.А. Прогноз прочностных свойств песков, загрязненных углеводородами // Инженерная геология. – 2014. – № 6. – С. 50-55.
12. Хоменко, В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. – М.: ГЕОС, 2006. – 216 с.

**Рецензенты:**

Осовецкий Б.М., д.г.-м.н., профессор кафедры минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь;

Середин В.В., д.г.-м.н., профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.