

Brief for GSDR – 2016 Update

## Urban sub-relief as underground infrastructure, territorial resource and source of hazards

Bolysov, Sergey, Nekhodtsev, Vladimir\*

Moscow State University, Geographical Faculty, Moscow

Резюме для ПФВУ (ООН) 2016

## Субрельеф городов - как подземная инфраструктура, территориальный ресурс и источник опасностей

Болысов Сергей, Неходцев Владимир\*

Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва

Urbanization is a global process which is appearing everywhere in the world. Cities consist of many-layers systems, where the underground layer plays an important role with comprehensive underground infrastructure. There has been not much research done about how urban development is influencing development of underground natural lithospheric structures. Nevertheless, it is important to research geological processes under the urban areas, as it is a valuable resource and at the same time there are a number of ecological, geomorphological and geological hazards associated with underground cavities. The authors of this brief focus on karst, suffusion processes, and operation of underground drainage, which they call the most dangerous for urban development. They based their research on Moscow, Kiev, Nizhny Novgorod, Vienna, Berlin, Prague, Dresden, and Krakow. They emphasize that underground space of cities in the framework of sustainable development deserves more attention. Research of sub-relief is important not only because of utility infrastructure, but also because of geological, geomorphological and ecological processes.

### Введение

Урбанизация давно уже стала глобальным процессом, уровень и степень которого быстро растут. Один из главных невосполняемых ресурсов в этом отношении - подземное пространство городов. Едва ли на Земле существуют более сложно устроенные природно-антропогенные геосистемы, чем города с их многоярусным строением и феноменальной плотностью рукотворных объектов. Разнообразие инженерных решений к началу 21 века создало 160-кратный контраст высотности городской застройки от 4-5-метровых домиков до 828-метрового

небоскреба "Бурдж-Халифа" в Дубае. Но города растут не только «вширь» и «ввысь», но и «вглубь», где инженерные объекты вступают в максимально тесные связи с геологической средой, доступные современному Человечеству (рис. 1). При этом освоение подземного пространства городов не является простым продолжением вертикальной или, тем более, горизонтальной осей, поскольку эволюционирует во многом по иным законам - внутри геологической среды, в тесном контакте с подземными водами, при постоянном солидном давлении окружающих грунтов и зданий и т.д.

В настоящее время в естественных науках геоморфологических исследований подземных пустот городских территорий крайне мало. Так, история активного освоения подземного пространства в Москве имеет, по крайней мере, 150 лет, но попытки систематизировать одновременно геологические, исторические, геоморфологические, экологические данные появляются только на рубеже 20-го и 21-го века с работами В.И.Осипова, О.П.Медведева, Э.А.Лихачевой, Г.Л.Коффа, Е.А.Иксановой и др. (Экологическая геоморфология, 2015, стр.80-83). Авторами этой статьи для поверхностей подземных полостей и форм был предложен термин "субрельеф" (Болысов, Неходцев, 2011), - совокупность неровностей твердой земной поверхности, частично или полностью находящихся под твердой дневной поверхностью Земли. Яркие примеры форм субрельефа - пещеры, лавовые тоннели, шахты, различные рукотворные инженерные коммуникации.

В зарубежной литературе широко используется термин "underground" ("подземелье", "подземный", "подпольный"), но это не прямой синоним термина "субрельеф", являясь абстрактным обозначением нахождения объекта ниже дневной поверхности, он относится, скорее, к объему подземных полостей, а не к их твердой поверхности. А термин "субрельеф" дополнительно подчеркивает лито- и морфодинамическую составляющую таких образований.

Освоение подземного пространства и развитие сопутствующих субтерральных (подземных) процессов подконтрольны основным факторам: геолого-

тектоническому строению, изначальному рельефу, антропогенному влиянию и, в меньшей степени, - климату и флористико-фаунистическим условиям. В городах сложность, развитость в пространстве и по глубине и функциональность подземных инженерных сооружений зависит, в основном, от особенностей рельефа, геологических условий, истории развития города и финансово-технического уровня государства (цивилизации).



Рис. 1. Схематичная иллюстрация плотно освоенного подземного пространства в центре Москвы. Изображены: подземная река, теплотрассы, магистральный водопровод, исторический ход, кабельный коллектор, подвалы, тоннели метрополитена и прочие коммуникации. Рис. А.В.Зотовой.

Подземные пустоты в значительной степени определяют морфодинамические условия системы "геологическая среда — подземная полость — рельеф" (прим. автора: основано на собственных многолетних исследованиях, а посыл в том, что

подземные формы являются одним из факторов сложного взаимодействия геологической среды, самой же полости и рельефа. Например, карстовая полость может спровоцировать суффозионное поступление в нее песчаных материалов, что, морфодинамически, проявится на поверхности в виде воронки. А возможны и более сложные связи), все то, на чем стоит город. Этот процесс рождает новые проблемы, в основном - из-за усиления геоморфологических и геологических процессов под землей. В концепции устойчивого развития нельзя обходить стороной ни один опасный аспект, связанный с субрельефом и субтерральными процессами в городах.

Исследования авторов проводились, в первую очередь, в подземных пространствах (и на поверхности) городов Восточно-Европейской равнины (Москва, Киев, Нижний Новгород, Иваново, города Черноземья) и некоторых европейских (Вена, Берлин, Прага, Дрезден, окрестности Кракова). Помимо анализа и обобщения литературы по теме (весьма скудной и разрозненной), изучались инженерные отчеты и исторические карты последних двух столетий. В течение 7 лет непосредственно исследовались подземные сооружения изнутри, проявления подземных процессов на дневной поверхности (просадки, провалы и т.д.).

### **Опасности подземного рельефа**

На изученных территориях наиболее распространены процессы и формы карстового, суффозионного, антропогенно-техногенного характера, а также флювиальная деятельность в коллекторных подземных реках и

ливнестоках. С этими процессами связана и наиболее высокая степень экологической, технологической и геолого-геоморфологической опасности в пределах данных городских территорий в условиях равнинного рельефа.

**Карстовые процессы** обычно сравнительно спокойны (не скоротечны), но бороться с ними весьма сложно, а их интенсивности достаточно для разрушения целых зданий. Повышенную опасность несут импульсивные карстовые процессы – обрушение сводов подземных полостей с образованием карстовых колодцев (Рис. 2). Проявления карста существуют во многих городах мира ввиду широкого распространения карстующихся (преимущественно морских) осадочных пород (по некоторым оценкам – до трети площади континентов).



Рис. 2. Знаменитый карстовый провал глубиной 60м, произошедший в Гватемале в 2010 году. Фото взято с сайта: <http://masterok.livejournal.com/251347.html>

**Суффозионные процессы** наблюдаются на территории городов с широким распространением лессовидных и песчаных грунтов. В самом широком смысле это — разрушение и вынос потоком подземных вод отдельных мелкодисперсных компонентов. Вода, просачиваясь сквозь грунты, выносит отдельные частицы, тем самым ослабляя эти породы и даже образуя

подземные полости и каналы. Со временем ослабленные породы разуплотняются, полости обрушиваются, и на земной поверхности возникают оседания, провалы, а иногда и оползни на склонах.

Особо опасный для городов тип суффозии – антропогенно спровоцированный размыв грунта. В последнее время, с увеличением количества подземных коммуникаций, последствия этого процесса наблюдаются все чаще и чаще. При прорывах труб теплотрасс, водоснабжения и при протечках подземных рек вода, попадающая в рыхлую толщу, начинает активно ее размывать. Как следствие, разуплотнение грунта приводит к резкому, мгновенному провалу поверхности (Рис. 3). Чаще всего происходят прорывы коммуникаций околостроек, особенно если ведется строительство глубокого фундамента.



Рис. 3. Антропогенно спровоцированный суффозионный размыв грунта, приведший к провалу в Толедо. С сайта:

<http://www.jsonline.com/multimedia/photos/214321801.html>

Еще один просадочный подземный геологический процесс, связанный с суффозией и карстом, вызван откачкой грунтовых вод. Так, согласно Геологической карте Российской Федерации от 1999 г (лист N-37,38, карта подземных вод), уровень

трещинных вод в каменноугольных известняках в Москве понизился на 80-112м. Сформировалась т.н. «мульда оседания», полный диаметр которой составляет около 100 км, диаметр изолинии 2 мм/год равен примерно 70 км, а изолиния 3 мм/год практически совпадает с границей Москвы (Осипов, Медведев, 1997г, стр.167-168).

Наиболее остро эта проблема стоит для Венеции, опускание которой было резко усилено в XX веке активной откачкой грунтовых вод до скоростей порядка 5 мм/год. По разным оценкам, город стал бы непригоден к проживанию примерно к 2030-м годам, если бы отбор воды из артезианских скважин не был полностью прекращен. Похожая ситуация наблюдается в городе Величке (южная Польша). Активная откачка подземных вод и гидратация солевых пластов (происходит увеличение объемов соли) вследствие изменения гидрогеологической обстановки привели к неравномерным процессам пучения и оседания дневной поверхности, вызвавшие массовые разрушения построек и прекращение добычи соли.

Следует также отметить, что карстово-суффозионные процессы нередко приводят к деформациям подземных и наземных коммуникаций, провоцируя тем самым опасные ситуации, связанные с обнажением электрических кабелей, прорывов газопроводов и т.п.

**Антропогенный субрельеф** – инженерные подземные сооружения – несут в себе угрозу не меньшую, чем карст и суффозия, и по динамичности влекомых опасностей они, по крайней мере, не уступают этим природным процессам. Наиболее интересными (и наименее изученными) в этом отношении оказываются коллекторы с

действующими в них водотоками. В современных крупных городах находятся по 30-150 подземных рек и сотни километров ливнеотоков.

При существенных уклонах (наклон 1-4°) скорость воды возрастает до 2-5 м/с, и поток размывает дно. Подобное явление приводит к разрушению днищ коллекторов с образованием промоин, уходящих, иногда, на метр в грунты (рис. 4). Размыв грунта под днищем коллектора зачастую приводит к серьезным деформациям «обделки» и к просадкам на дневной поверхности.



Рис. 4. Промоина в днище коллектора Клова (Киев) глубиной 1 м, образовавшаяся в ливни 2014 года. Фото Коробко Н.В.

Некачественно собранные коллекторы рек в местах повышенных уклонов сравнительно быстро разрушаются. Есть основания полагать, что «исторические» (условно до 1915-1920 годов) кирпичные тоннели намного устойчивее современных бетонных. Например, первые лондонские канализации и подземные реки функционируют уже больше 150 лет! Деструкция тоннеля приводит к довольно быстрому размыву грунта или обрушениям, что особо остро для

городов с развитыми лессовидными и песчаными грунтами (рис. 5).



Рис. 5. Провал глубиной около 10 м на месте разрушения коллектора р.Сырец в Киеве в 2014 году. Фото Коробко Н.В.

Подземные реки и канализации несут в себе и экологическую опасность. Специфичное поступление материала с улиц в ливнеоточную сеть делает их весьма яркими примерами коллекторов загрязняющих веществ. При этом количество загрязнителя в подземных водостоках оказывается феноменально высоким - по отдельным элементам превышения ПДК достигают 30-50 и более раз.

В старых европейских городах (Вена, Лондон, Прага, Берлин и т.д.) до сих пор частично сохранилась общесплавная система канализования стоков, при которой бытовая канализация утекает в очистные сооружения. Но лишь до тех пор, пока не начинается ливень, и коллектор перестает справляться с объемом стоков. В таких случаях излишки попадают в естественные водоемы (реки) через специальные переливные камеры. Т.е. бытовая канализация без очистки поступает в

природу. По наблюдениям авторов, в ливни расход в реке Вена (город Вена) увеличивается в 5-15 раз за счет подземного стока (ливневые воды с дорог + бытовая канализация), из-за чего на ее берегах остаются фрагменты жизнедеятельности человека, будто бы речь о Средних веках, а не о 21-м веке.

### **Заключение**

Таким образом, мы показали, что подземное пространство городов в рамках концепции устойчивого развития заслуживает большего внимания. Существует ряд эколого-геоморфологических и геологических опасностей, связанных с подземными полостями. Наиболее опасными и скоротечными в равнинных городах являются карст, суффозия и функционирование подземных водостоков. Развитие представлений о субрельефе важно не только коммунальным службам, но и геологам, геоморфологам и экологам.

### **Использованная литература:**

- Болысов С.И., Неходцев В.А. Погребенный и подземный рельеф г.Москва // Теоретические проблемы современной геоморфологии. Теория и практика изучения геоморфологических систем: материалы XXXI Пленум геоморфологической комиссии РАН. Астрахань, 2011, с.151-156.
- Болысов С.И., Неходцев В.А., Шишкин В.С. Субрельеф - "рельеф" подземных полостей // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике: Всероссийская конференция "VII Щукинские чтения", Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, 18-21 мая 2015 г.

Материалы конференции. МАКС Пресс Москва, 2015, с.42-47.

- Болысов, С., Бредихин, А., Борсук, О. и др. Экологическая геоморфология: новые направления /. — Географический факультет МГУ Москва, 2015. — С. 220.
- Комарова Н.Г., Кац Я.Г., Козлов В.В., Пикалова О.А. Устойчивое развитие мегаполиса в условиях природного и техногенного рисков. //М.:Готика, 2002, 192с. Москва: геология и город / Под ред. В. И. Осипова, О. П. Медведева. //М.: Московские учебники и картолитогрфия, 1997, 400 с.
- Неходцев В.А. Эрозионно-русловые процессы и субрельеф подземных (коллекторных) водотоков // Искусственные подземные сооружения городов // Спелеология и спелестология. Сборник материалов III международной научной заочной конференции. Наб. Челны: НИСПТР, 2012. 231-236с.
- Николаев Н.И. Об эволюционном развитии карстовых форм и значении структурно-тектонического фактора // Сов. геология, 1946, №10, с.46-57.