



УДК 574+551.4

С.И. Болысов, В.А. Неходцев

СУБРЕЛЬЕФ И СУБТЕРРАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ КАК ФАКТОР ЭКОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В ГОРОДАХ

В последние 100–150 лет бурно развивающееся градостроительство активно затрагивает геологическую среду, «вгрызаясь» в нее корнями своих подземелий и тесно взаимодействуя с подземными геолого-геоморфологическими процессами, попутно перекраивая рельеф. В узкой 30–80-метровой зоне контакта города и грунтов в обилии образуются рукотворные пустоты, оживляются старые карстовые. Все эти полости, или «субрельеф» (по терминологии авторов), вместе с антропогенно спровоцированными и некоторыми естественными субтерральными (подземными) процессами становятся полноценными экологическими и геоморфологическими факторами опасностей и рисков в крупных городах. К наиболее ярко проявляющимся процессам мы относим суффозионные, карстовые и сложные флювиально-антропогенные явления в коллекторах подземных рек и лив-нестоков. Негативное их воздействие обусловлено деформациями дневной поверхности, провалами, разрушениями построек и крупных зданий. В экологическом аспекте водонесущие коммуникации (кроме водопроводов) становятся коллекторами загрязняющих веществ, с превышениями отдельных показателей ПДК в 20–50 и более раз. Все подземные опасные геолого-геоморфологические процессы практически не поддаются прогнозированию, крайне скоротечны и убыточны.

геологическая среда, город, карст, опасные процессы, подземная река, субрельеф, суффозия, экологическая и городская геоморфология.

С начала 2010-х годов авторы направленно изучают «рельеф» подземных пустот и присущие им процессы. Особый упор делается на городские территории.

На Земле не существуют более сложно устроенных природно-антропо-генных геосистем, чем города с их многоярусным строением и феноменальной плотностью рукотворных объектов, наиболее густо заселенных и с наибольшим давлением на геологическую среду. Разнообразие инженерных решений к началу XXI 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, доступные современному человечеству, связи с геологической средой (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.



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», причем подземные формы имеют свой «рельеф» в понимании его как поверхности раздела твердого и газообразного либо жидкого вещества. Вместе с тем, по устоявшемуся определению, рельеф являет собой совокупность неровностей твердой земной поверхности разных масштабов. «Рельеф» же подземных пустот находится ниже дневной поверхности и ограничен грунтом более чем с двух сторон.

В этой связи возникает терминологическая и соответственно гносеологическая проблема, которая реально существует в геоморфологической науке, давно уже изучающей «подземный рельеф». Эти поверхности, строго говоря, не являются рельефом, исходя из вышеприведенного определения. В 2011 году авторами был предложен для

таких твердых поверхностей термин «субрельеф»¹. Приставка «суб-» имеет два основных значения: 1) расположенный ПОД, НИЖЕ чего-либо; 2) неосновной либо ПЕРЕХОДНЫЙ. Оба значения вполне отражают сущность подземных форм рельефа: они расположены ПОД, НИЖЕ твердой дневной поверхности; представляют собой нередко формы переходные к «обычным» неровностям земной поверхности. Гносеологически термин «субрельеф» успешно устраняет несоответствие общепринятого толкования рельефа в качестве объекта геоморфологической науки и специфики положения и морфодинамики подземных форм (как и их изучения). По терминологической логике подобные подземные образования следует также называть «субтерральными» (буквально — подземные), продолжая ряд терминов «субаэральные» (наземные, то есть «подвоздушные», наземные континентальные) и «субаквальные» (подводные). Напомним, что термин «субтерральные» предложил Н.И. Николаев еще в 1946 году² для отложений, формирующихся изначально в подземной среде, в первую очередь в карстовых полостях (сталактиты и т.п.), затем использовали Е.В. Шанцер³, Д.С. Соколов⁴ и др. Очевидно, что термин «субтерральные» может использоваться не только для отложений, образующихся в подземной среде, но и для форм «рельефа» («субрельефа») и процессов, их создающих или преобразующих и протекающих в подземной среде.

Принимая термин «субрельеф» в качестве основного, следует обозначить и границы его применения. Предлагается к границам его применения относить твердые поверхности полостей, то есть не заполненных грунтом пространств, выше которых располагается собственно твердая земная (дневная) поверхность. В этом случае разновидностью форм субрельефа становятся, возможно, всякого рода карнизы, ниши и т.п., над которыми в вертикальной плоскости есть поверхность рельефа. И, конечно, очевидными и ярко выраженными формами субрельефа являются подземные ходы, пещеры, полости и т.п. (как имеющие, так и не имеющие выхода к поверхности). Возможно, к субрельефу следует относить и мельчайшие подземные неровности твердой поверхности — уровня пикоформ, по Ю.Г. Симонову⁵, например, трещины, поры между частицами и т.п.

В таблице 1 предложен следующий подход к подразделению подземных форм, являющийся по существу их генетической классификацией, построенной по аналогии для поверхностных форм «собственно рельефа»⁶.

¹ Болысов С.И., Неходцев В.А. Погребенный и подземный рельеф г. Москва // Теоретические проблемы современной геоморфологии. Теория и практика изучения геоморфологических систем: материалы XXXI пленума геоморфологической комиссии РАН. Астрахань, 2001. С. 151–156.

² Николаев Н.И. Об эволюционном развитии карстовых форм и значении структурно-тектонического фактора // Советская геология. 1946. № 10. С. 46–57.

³ Шанцер Е.В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований // Труды Геолог. ин-та АН СССР. М.: Наука, 1966, 240 с.

⁴ Соколов Д.С. Основные условия развития карста. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 322 с.

⁵ Симонов Ю.Г., Болысов С.И. Методы геоморфологических исследований: методология. М.: Аспект-Пресс, 2002, 191 с.

⁶ Болысов С.И., Неходцев В.А., Шишкин В.С. Субрельеф — «рельеф» подземных полостей // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике: материалы Всерос. конф. «VII Щукинские чтения», 18–21 мая 2015 г., Москва. М.: МАКС Пресс, 2015. С. 42–47.

Генетическая классификация форм субрельефа

<i>Класс</i>	<i>Подкласс</i>	<i>Генетический тип</i>
Эндогенные		Вулканический (лавовые пещеры, опустошенные магматические камеры)
		Тектонический (тектонические пещеры)
Смешанные		Гравитационный (гравитационные клиновидные пещеры)
		Пирогенный, или псевдовулканический (полости выгорания торфяников, пластов угля)
		Структурно-денудационный (тафони, ниши под отрицательным структурным склоном куэст)
Экзогенные	Гидрогенный	Флювиальный (ниши в основании подмываемых водотоками склонов, некоторые участки сквозных долин)
		Морской («морские ворота», волноприбойные ниши)
		Карстовый (карстовые пещеры, поноры, сталактиты и т.п.)
		Суффозионный (суффозионные ниши, полости и мосты)
		Ледниковый (подледные тоннели, подледные озера)
		Мерзлотный (термоабразионные ниши, термокарстовые полости в мерзлоте)
	Аэрогенный	Эоловый (ниши выдувания, дефляционно-коррозионные арки)
	Органогенный	Биогенный (норы, ходы)
		Антропогенный (в том числе техногенный) (тоннели, шахты, подвалы, коллекторы коммуникаций и др.)

Классификация имеет три иерархических ступени:

I. Класс, характеризующий основной источник энергии при «субрельефообразовании», включающий три класса субрельефа (эндогенный, образующийся за счет глубинной энергии Земли; экзогенный, образующийся лучистой энергией Солнца; смешанный, включающий в себя черты как эндогенного, так и экзогенного источников энергии).

II. Подкласс выделяется для экзогенного класса по преобладающему агенту разрушения и перемещения вещества при образовании субрельефа. Такими агентами могут быть вода (гидрогенный подкласс), движущийся воздух (аэрогенный подкласс), живые организмы (органогенный подкласс). Можно выделять подклассы и для эндогенного рельефа в зависимости от состояния вещества, участвующего в рельефообразовании: магматический (включает вулканический и интрузивный генетические типы рельефа), тектонический (включает один собственно тектонический тип).

III. Генетический тип — конкретный ведущий процесс образования форм и комплексов субрельефа. Всего выделено 14 типов субрельефа, из них: 2 принадлежат эндогенному классу, 3 — смешанному классу, 9 — экзогенному классу. Стоит отметить, что в каждом конкретном случае возможны комбинации формосоздающих агентов.

Развитие на территории комплексов субрельефа и сопутствующих субтерральных процессов подконтрольны основным факторам: геолого-тектоническому строению, надземному рельефу, в определенной степени климату и флористико-фаунистическим условиям и в значительной степени антропогенному влиянию. 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).

Исследования проводились нами в первую очередь, в подземных пространствах (отчасти и на поверхности) городов Русской (Восточно-Европейской) равнины (Москва, Киев, Нижний Новгород, Иваново, города Черноземья) и некоторых европейских городов (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.). Все это вкуче позволило получить представление о роли субрельефа и субтерральных процессов как фактора эколого-геоморфологической (и не только) опасности в городах.

На изученных территориях наиболее распространены процессы и формы карстового, суффозионного, антропогенно-техногенного характера, а также флювиальная деятельность в коллекторных подземных реках и ливнеотоках. С этими процессами связана и наиболее высокая степень эколого-геоморфологической опасности в пределах данных городских территорий в условиях равнинного рельефа.

Карстовые процессы 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. Проявления карста существуют во многих городах Европейской России (Москва и города Подмосковья, Воронеж, Дзержинск, Нижний Новгород, Тверь) и других регионов мира ввиду широкого распространения карстующихся (преимущественно морских) осадочных пород (по некоторым оценкам — до трети площади континентов).

Современные карстовые процессы Восточно-Европейской равнины связаны нередко с каменноугольными карбонатными породами. Огромную роль в развитии карстовых процессов играют юрские морские отложения (преимущественно глины) и четвертичные моренные суглинки, поскольку являются региональными водоупорами, контролирующими нисходящую фильтрацию атмосферных осадков, которые обеспечивает достаточная гумидность современного климата. В этой связи карстовые процессы приурочены обычно к эрозионным прорезам, или «окнам», в юрских отложениях. К таким территориям относится 15 процентов площади Старой Москвы⁷, а карстовые провалы сосредоточены на площади, не превышающей 1,7 процента городской территории⁸.

Сегодня яркими карстоопасными районами в Москве являются Ходынское поле, Хорошевский, Хорошево-Мневники, Беговой, Сокол, а также большая часть города Дзержинска. Все это — поверхности хорошо дренируемых третьей и второй надпойменных террас (НПТ) рек Москвы и Волги, где песчаные отложения залегают непосредственно на коренных карбонатных породах и где много эрозионных окон. В этой связи развитие карстовых процессов происходит здесь постоянно. Так, по данным Е.А.

⁷ Комарова Н.Г. и др. *Устойчивое развитие мегаполиса в условиях природного и техно-генного рисков*. М.: Готика, 2002, 192 с.

⁸ Москва. Геология и город / под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. М.: Московские учебники и Картолитография, 1997. 398 с. Лихачева Э.А. О семи холмах Москвы. М.: Наука, 1990. 141 с.

Иксановой⁹, только в перечисленных районах Москвы насчитывалось начиная с 1960-х годов около 50 карстовых провалов, то есть примерно раз в год (подомовой список приведен в диссертации). В 1969 году в результате провалов образовались воронки диаметром 3–5 м и разрушился 5-этажный дом 1950-х годов постройки (Хорошевское шоссе, д. 35/2, корп. 2)¹⁰. В 1977 году были частично разрушены дома № 3 и 4 по Новохорошевскому проезду, образовалась воронка диаметром до 30 м и глубиной 1 м. Несколько многоэтажных панельных домов по Хорошевскому шоссе были перестроены в 1980-е годы именно в связи с образованием просадок под фундаментами.

Но, видимо, самый крупный провал, образовавшийся в результате карстовых процессов, наблюдался и был описан Б.М. Даньшиным в 1934 году¹¹. В Даниловском районе Москвы (правобережье Москвы-реки у Даниловской набережной) произошел провал с образованием «дыры» глубиной 40 м. Несколько меньших размеров достигала карстовая пещера, обнаруженная в толще верхнего карбона при строительстве метрополитена на Мясницкой улице. Она имела форму «коридора» длиной 10 м и высотой стен 1 м. Подобные полости были обнаружены и в районе Манежной площади. Сопоставимых размеров и частоты провалы достигают и в Дзержинске, где с 1950-х годов примерно раз в год разрушаются крупные строения, вплоть до заводских цехов (разрушение цеха № 1 на производственном объединении «Химмаш» 15 июля 1992 года).

Развитие карстовых процессов можно наблюдать в подземных известняковых каменоломнях, в большом количестве встречающихся к югу от Москвы и в окрестностях Воронежа, Орла, Старицы, где на сводах образуются купола или причудливые пещерки, полости и вертикальные колодцы диаметром до первых метров. Такой «потолочный» карст является одной из основных закономерных причин обрушения старых выработок.

В практике освоения территории оценка устойчивости массивов пород и прогноз образования провалов карстового генезиса проводится на основе комплексного изучения геологической среды и характера техногенных воздействий с привлечением различных методов инженерно-геологического анализа, моделирования и стационарных режимных наблюдений. Особенно важны динамические наблюдения. Поскольку для Москвы и Дзержинска данные бурения существуют с 1930–1940-х годов, можно следить за эволюцией отдельных карстоопасных районов.

Значительные экономические потери и экологический ущерб от карстовых провалов определяют необходимость глубокого (во всех смыслах) изучения карста и выработки прогнозов его активности на этапах проектирования и эксплуатации сооружений. Так, например, учет древнего карста повлиял на особый метод борьбы с его активизацией при сооружении только что вошедшего в эксплуатацию Алабяно-Балтийского тоннеля в Москве, где закарстованное пространство ниже плиты тоннеля было под давлением заполнено бетоном.

На территории городов с широким распространением лессовидных и песчаных пород наблюдается еще один геолого-геоморфологический подземный процесс, связанный с разрушающей деятельностью подземных вод, — суффозия. В широком смысле слова, суффозия — это разрушение и вынос потоком подземных вод отдельных компонентов и крупных дисперсных и сцементированных обломочных пород. В Москве она затрагивает залегающие в верхней части массива горных пород пески, супеси и легкие суглинки, в Киеве и Воронеже — лессы и лессовидные суглинки. Вода, просачиваясь сквозь них, выносит отдельные частицы, тем самым ослабляя эти породы и даже образуя

⁹ Иксанова Е.А. Вклад докайнозойского карбонатного карста в развитие современных просадочных процессов в г. Москве: дис. ... канд. геогр. наук. М., 2005. 155 с. Даньшин Б.М., Головина Е.В. Москва. Геологическое строение // Труды Института геологии и минералогии и Московского геолого-гидрогеодезического треста. М., 1934. Вып. 10/6. 93 с.

¹⁰ Лихачева Э.А. О семи холмах Москвы. М.: Наука, 1990. 141 с.

¹¹ Даньшин Б.М., Головина Е.В. Москва. Геологическое строение // Труды Института геологии и минералогии и Московского геолого-гидрогеодезического треста. М., 1934. Вып. 10/6. 93 с.

подземные полости и каналы. Со временем ослабленные породы разуплотняются, полости обрушиваются и на земной поверхности возникают оседания, провалы, а иногда и оползни на склонах. В подобной обстановке для развития суффозии необходима определенная структурная неоднородность водопроницаемой породы, достаточная гидродинамическая сила действующего на нее потока подземных вод и наличие свободного пространства, куда выносятся отделенные от нее частицы.

По своему вещественному составу и условиям залегания наиболее благоприятной средой для суффозионного процесса являются флювиогляциальные, лессовые и аллювиальные четвертичные, а также морские меловые и юрские пески, современные оползневые и техногенные накопления. Суффозия практически не действует в непроницаемых тяжелых суглинках и глинах, например московской и днепровской морены, ее развитие часто затруднено и в покровных суглинках. Кроме того, рост и отмирание корневых систем деревьев, жизнедеятельность дождевых червей, кротов и других землеройных животных способны создавать в глинистых породах выходящие на поверхность земли каналы, которые в случае их обводнения могут служить очагами суффозии (так называемая «тоннельная эрозия», или «пайпинг»).

Своеобразный и особо опасный тип суффозии — антропогенно спровоцированный размыв грунта. В последнее время с увеличением количества подземных коммуникаций последствия этого процесса наблюдаются все чаще и чаще, отчасти и из-за изношенности большей части коммуникаций, построенных еще в советский, а иногда и досоветский период. При прорывах труб теплотрасс, водоснабжения, при протечках подземных рек вода, попадающая в рыхлую толщу, начинает активно ее размывать. Как следствие, разуплотнение грунта приводит к резкому, мгновенному провалу поверхности. Чаще всего происходят прорывы коммуникаций околостроек, особенно если ведется строительство глубокого фундамента со вскрытием котлована. Известны случаи, когда неучтенные при проектировании коммуникации пробивались строительными сваями. Так, в коллектор реки Котловки было забито 2 десятка свай при сооружении жилого комплекса «Три капитана» (Москва, Севастопольский просп., д. 28). На юго-востоке Москвы 8 марта 2011 года во дворе дома 12/14 по Красноказарменной улице возник провал грунта длиной в 10 м, шириной 5 м и глубиной 7 м. Как стало известно, причина провала в прорыве районной теплотрассы, произошедшем на фоне оттепели, когда грунты были и без того влагонасыщенными. Подобных крупных аварий только в Москве насчитывается более 3–5 в год, а мелких — во много раз больше.

Широко поражено суффозией дорожное покрытие в городах с контрастным рельефом. Так, в своих работах Ю.Г. Симонов, В.И. Кружалин, Э.А. Лихачева, С.В. Харченко¹² показывают, что деформации дорожного полотна наиболее часто приурочены к линиям перегиба склонов, то есть к тыловым швам и бровкам. Кроме того, некачественно сделанные стыки асфальтированных участков и линии смыкания дорог и тротуаров в течение лишь одного сезона начинают заметно проседать и разрушаться. Подобная деструкция сопровождается значительную часть люков и ливнесточных решеток. Отмечается, что карстово-суффозионные деформации нередко активизируются в городах вследствие вибрационных эффектов, связанных с транспортом или производством¹³.

Следует также отметить, что нередко суффозионные и карстовые процессы, особенно в городах на территориях засыпанных речных долин, оврагов и балок, идут параллельно (вместе) и/или могут провоцировать друг друга (карстово-суффозионные процессы). Примером такого явления служат воронки до 1–1,5 м и диаметром в первые

¹² Симонов Ю.Г., Кружалин В.И. Инженерная геоморфология. Основания для инженерной оценки рельефа. М.: Изд-во МГУ, 1989. 100 с.; Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология) / под ред. Э.А. Лихачевой, Д.А. Тимофеева. М.: Медиа-Пресс, 2002. Т. 1, 2. 640 с.; Харченко С.В. Геоморфологический фактор формирования городов Черноземья: дис. ... канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 2014. 171 с.

¹³ Лихачева Э.А. Экологические хроники Москвы. М.: Медиа-Пресс, 2007, 303 с.

несколько метров, в обилии прогрессирующие в засыпанной долине реки Пресни в пределах города Москвы. Воронки и просадки четко локализируются в контурах долинного вреза и проявляются в виде разрушения прифундаментной отмостки, дорожного полотна и даже в деформациях некрупных построек. Механизм их образования, по-видимому, заключается в вовлечении тонкодисперсного материала в фильтрацию грунтовых вод в карстовые понижения, образованные ранее на участках размытых юрских глин. Важной является также относительная разуплотненность техногенных толщ, выполняющих эрозионные врезы.

Еще один подземный геологический процесс, по-видимому связанный с суффозией и карстом, — откачка грунтовых вод, как промышленная, так и бытовая (например, дачниками). Так, согласно геологической карте Российской Федерации от 1999 года (карта подземных вод, лист N-37, 38.), уровень трещинных вод в каменноугольных известняках понизился на 80–112 м. Сформировалась так называемая 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 Москвы¹⁴. 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), где долгие столетия активно развивалась шахтная добыча соли, остановленная лишь во второй половине XX века. Активная откачка подземных вод, с одной стороны, и, с другой — 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.

Суффозионные процессы, наряду с карстованием, не только широко распространены в городах Европейской России и Украины, но и имеют прогрессирующий характер. Они являются сложно прогнозируемыми геоморфологическими процессами, практически отсутствует их профилактика, затруднительными остаются методы борьбы с ними. При сооружении зданий вероятность активизации суффозионных процессов позволяют снизить стены в грунте и заморозка грунта. Однако при оттаивании грунта достоверно спрогнозировать развитие суффозии не представляется возможным.

Биогенная подземная деятельность хотя и присутствует в городах, но, во-первых, не является опасной, во-вторых, находится в неактивном состоянии. Из биогенных форм субрельефа следует выделить полости, образованные на месте отмерших корней, которые могут становиться очагами тоннельной эрозии. Есть также специфические биофлювиальные подземные формы, представленные корнями деревьев, проросшими в коллекторы подземных рек. Зоогенные формы в городе развиваются преимущественно в приповерхностных грунтах. Наибольшее влияние на ландшафты оказывают, пожалуй, норы и системы ходов беспозвоночных животных, которые своей деятельностью «перепахивают» и ил, «проветривают» грунты, могут служить осями развития локальных суффозионных процессов. Наиболее распространенными являются прорытые норными грызунами или насекомоядными (мыши, крысы, кроты и т.д.) разветвленные ходы диаметром 2–5 см на глубинах до 60–70 см.

Ряд крупных млекопитающих также ведет норный образ жизни, к ним относятся лисы, барсуки, енотовидные собаки (иногда — и обычные дикие собаки) и т.д. Норы лисиц

¹⁴ Москва. Геология и город.

обычно состоят из глубокой норы с несколькими выходами, которая расположена между корнями, под камнями. Норы имеют вид округлых или прямоугольных отверстий с диаметром 0,3–0,8 м. Длина нор, ведущих к гнездовой камере, составляет несколько метров¹⁵. Чаще всего лисицы роют норы на склонах оврагов, при этом ищут рыхлый грунт. Барсуки также роют свои норы на склонах оврагов, их жилища также имеют несколько выходов, состоят из нескольких камер с рядом отнорков и нескольких ходов. Ширина и высота барсучьих ходов составляет 25–30 см. Эти животные встречаются также в долинах Теплостанской возвышенности и почти повсеместно в Подмосковье. Еще один роющий хищник — еж европейский. Его ходы достигают 1,5 м в длину и заканчиваются камерой с гнездом на глубине 70–80 см. Часто встречаются норные образования (пролазы) крыс, которые прорывают вдоль фундаментов в подвалы свои ходы, а также, по нашим многократным наблюдениям, рядом с люками в подземные реки. Их длина составляет обычно первые метры, а диаметр — около дециметра.

Антропогенный субрельеф — инженерные подземные сооружения — несут в себе угрозу не меньшую, чем карст и суффозия. По динамичности влекомых опасностей они, по крайней мере, не уступают этим природным или квазиприродным процессам. Площади подземных антропогенных полостей в крупных городах сопоставимы с площадью наземных рельефоидов — зданий и сооружений. Так, общая протяженность 12 линий Московского метрополитена со 194 станциями, самого грандиозного подземного сооружения в Москве, достигает 325,4 км в однотоунельном эквиваленте, а максимальная глубина залегания метротоннелей превышает 85 м (район станции «Парк Победы»). К 2020 году в столице планируется построить более 160 км линий метро и открыть более 70 новых станций. В результате к 2020 году протяженность линий Московского метрополитена должна превысить 450 км в однотоунельном эквиваленте, а с учетом всех технологических сооружений и двойных тоннелей эта цифра становится в 2 раза больше. Протяженность кабельных коллекторов составляет более 1000 км, подземной канализационной сети — более 7000 км¹⁶.

Наиболее интересными и наименее изученными в этом отношении оказываются коллекторы с действующими в них ливневыми и подземными реками. Водотоки, текущие в коллекторах, совершают во многом ту же работу, что и в природном русле: меандрируют, накапливают наносы, размывают свое русло (коллектор) и т.п. Однако в коллекторах русло ограничено («зажато») стенками («обделкой»), поэтому в подземных реках часто возникает явление напорного течения, которое в природе почти не встречается. Происходит оно при особо сильных ливнях и носит разрушающий характер вплоть до выбивания люков снизу. Характерный пример подобного явления в городе Москве — река Филька. В среднем течении диаметр коллектора превышает 3 м, однако в нижнем сужается до трубы 1,8 м, куда во время сильных ливней вода под напором устремляется и выбивает люки. В итоге, как показал в 2009 году проведенный осмотр, на протяжении километра (на участке от станции метро «Пионерская» до станции метро «Филевский парк») более 2/3 люков и кирпичных колодцев оказались разрушены. Вторая сторона подобных паводков — перенос наиболее крупных обломков и мусора в коллекторе, поскольку меженный поток не способен переносить частицы крупнее гравия. В подземных реках, порой, оказывается довольно много материала размерностью от пелитовых частиц до метровых бетонных обломков, кусков бордюров. Наиболее мелкие наносы — пелитовые, алевритовые и песчаные — попадают в коллектор преимущественно с поверхности через ливневоки либо с грунтовыми водами, просачивающимися сквозь щели коллектора. Более крупный материал — обломки кирпичной кладки, бетонные блоки, люки, дренажные решетки, палки, мусорные урны и т.п. — поставляется в большинстве случаев людьми при ремонте

¹⁵ Большов С.И. Биогенное рельефообразование на суше. Т. 2: Зональность. М.: ГЕОС, 2007. 466 с.

¹⁶ Большов С.И., Неходцев В.А. Погребенный и подземный рельеф г. Москва; Канализационная сеть. URL: <http://www.mosvodokanal.ru/index.php?do=cat&category=canset>; О Московском метрополитене. URL: <http://mosmetro.ru/about/>

или прокладке коллектора, реже привносятся потоком с поверхности, если река течет сначала в открытом русле. Самые крупные предметы, встреченные в коллекторах, — кузовы машин, 6-метровые доски, тачки и др.

Специфичное поступление материала с улиц в коллекторы малых рек делает их весьма яркими примерами коллекторов загрязняющих веществ. При этом количество загрязнителя в подземных водостоках оказывается феноменально высоким. Так, полностью подземная река Неглинная в центре Москвы, при длине около 7 км, собирает поверхностные воды с полосы шириной от 1,5 км у Кремля до 2,3 км в районе третьего транспортного кольца. И все реагенты, пыль, побочные нефтепродукты и масла от автомобилей попадают в трубу диаметром 2–4 м: «На устьевом участке реки Неглинка содержание взвешенных веществ и органических веществ по БПК5 осталось на уровне 2001 г. — 56,29 мг/л и 1,9 ПДК соответственно. В 2002 г. отмечается некоторое снижение нефтепродуктов с 15,2 ПДК в 2001 г. до 13,13 ПДК. Также снижается содержание металлов: железа — с 22,6 ПДК до 17,8 ПДК; меди — с 53 ПДК до 32 ПДК; никеля — с 2,4 ПДК до следовых количеств. В то же время возрастает концентрация азота аммиака с 2,68 ПДК в 2001 г. до 5,7 ПДК в 2002 г., а из металлов марганца — с 14 до 15,8 ПДК, цинка — до 14,96 ПДК, свинца до 3,24 ПДК»¹⁷.

Помимо растворенного вещества, в подземные реки в катастрофическом объеме могут поступать (в основном нелегально и со строек) твердые, в том числе крупных размеров, загрязнители. Например, в 2009–2010 годах слив в подземную московскую реку Таракановку бентонита (природный гидроалюмосиликатный глинистый минерал, обладающий свойством разбухать при гидратации в 14–16 раз), использовавшегося при проходке Алабяно-Балтийского тоннеля, привел к образованию техноаллювиальной толщи мощностью около 1,5 м. За несколько лет бентонит спрессовался и затвердел, вдоль потока образовались твердые борта. Таким образом, сечение коллектора уменьшилось ровно в 2 раза. Поверх затвердевшей толщи встречаются фрагменты металлических и деревянных конструкций длиной до 7–8 м (рис. 2).



Рис. 2. Мощная техноаллювиальная толща в коллекторе Таракановки. Изначальная высота коллектора — 3,2 м, оставшийся зазор — около 1,5–1,6 м. Фото В.А. Неходцева

¹⁷ Оценка гидрохимического режима водных объектов на территории города: гос. доклад // О состоянии окружающей природной среды города Москвы в 2002 году. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Неглинная>.

Как и в естественных руслах, основной перенос донных наносов (в данном случае — техноаллювия) происходит посредством перемещения донных гряд, которые ориентированы перпендикулярно течению. Они встречаются везде, где течение медленное и имеется достаточное количество песка для формирования гряд. При существенных уклонах (наклон $1-4^\circ$) скорость водотока возрастает до $2-5$ м/с, отложения наносов не происходит и поток размывает дно. Подобное явление привело к разрушению днищ кирпичных коллекторов дореволюционной постройки в Москве — рек Пресни, Чечеры, Неглинной, в Киеве реки Клова и ряда других. Часто в таких местах формируются промоины, уходящие на полметра в грунты (рис. 3). Размыв грунта под днищем коллектора нередко приводит к серьезным деформациям обделки и к просадкам на дневной поверхности.

Если участок разгона потока заканчивается уступом или попадает на стык двух частей коллектора (ослабленная зона), то при разрушении обделки происходит образование так называемого эвортонного котла, глубина которого может достигать 1 м. Обычно во избежание подобных образований в местах перепадов высот коллектора более $30-50$ см сооружается глубокая камера, чтобы падающая с уступа вода не размывала дно камеры. Участок разгона потока сменяется рано или поздно более пологим отрезком, где скорость потока резко падает. Это место соответствует гидравлическому прыжку — резкому, скачкообразному повышению уровня воды в открытом русле при переходе потока из «бурного» состояния в спокойное. Поскольку транспортирующая сила потока резко падает, происходит накопление аллювия. Обычно, по нашим наблюдениям, кровля этих осадков на $10-15$ см ниже конечной точки «разгонного участка» коллектора. В наносах, если их толщина превышает $15-20$ см, происходят процессы анаэробного разложения органики с выделением метана, сероводорода и углекислого газа. Аналогичные отложения встречаются и в местах перегораживания водотока крупными обломками или перегородками, поскольку скорость течения здесь также падает.



Рис. 3. Промоина в днище коллектора Клова (Киев) глубиной 1 м, образовавшаяся во время ливней 2014 года (слева; фото Коробко Н.В.), и та же промоина в 2012 году и глубиной всего 20 см (справа; фото В.А. Неходцева)

Некачественно смонтированные коллекторы рек в местах повышенных уклонов сравнительно быстро разрушаются. Есть основания полагать, что проложенные до 1915–1920 годов кирпичные тоннели намного устойчивее современных бетонных. Окончательные деформации облицовки тоннеля приводят к довольно быстрому размытию грунта и обрушениям, что особенно опасно для Киева с развитыми там лессовидными грунтами (рис. 4).

В реках обильно распространены и биофлювиальные формы, образованные корнями (преимущественно деревьев), которые прорастают сквозь щели или подключки (мелкие трубы-притоки) в основной коллектор. Обычно один толстый корень начинает ветвиться, создавая нечто вроде подушки, опущенной в воду. На ней аккумулируются иловатые наносы, увеличивая тем самым это образование. Встречаются такие явления, в основном под парками, бульварами, скверами и дворами, где есть деревья. Самый крупный такой побочень (скопление наносов) был обнаружен в среднем течении реки Неглинной (около Самотечной площади) и достигал 2 м в поперечнике, перекрывая собой треть коллектора. Однако вскоре он был срублен и вытаскен на поверхность коммунальщиками¹⁸. Последствия питания деревьев сильно загрязненной водой должны исследоваться биологами и экологами. Однако очевидно, что жизненный цикл и условия питания таких растений сильно изменены.

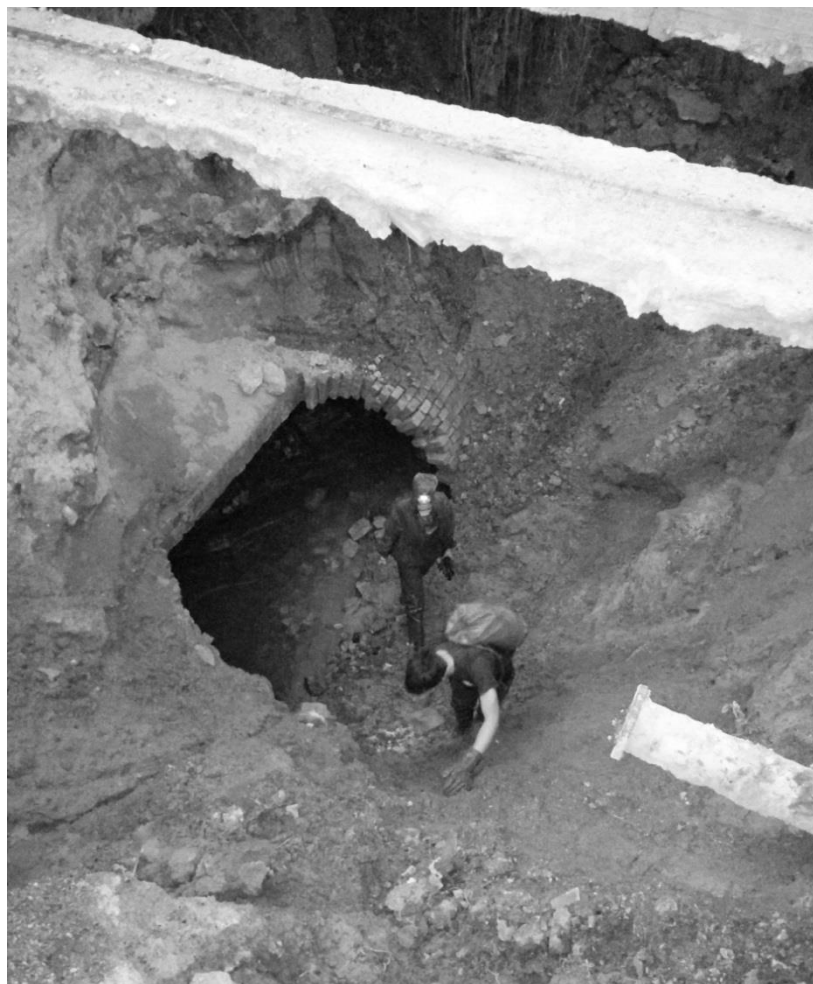


Рис. 4. Провал глубиной около 10 м на месте разрушения коллектора реки Сырец в Киеве в 2014 году. Фото Н.В. Коробко

¹⁸ Неходцев В.А. Эрозионно-русловые процессы и субрельеф подземных (коллекторных) водотоков // Искусственные подземные сооружения городов. Спелеология и спелестология: сб. материалов III Междунар. науч. заоч. конф. / НИСПТР. Набережные Челны, 2012. С. 231–236.

Причудливыми хемогенными формами являются различные известковые и кальцитовые наросты на стенах и потолке коллекторов. Встречаются они практически во всех реках. Образуются при выпадении в осадок растворенных карбонатов и других солей, например, при просачивании в коллектор через щели грунтовой воды. Наросты, особенно известковые, очень прочны. Формируются они обычно сверху (сталактиты), но иногда встречаются и растущие снизу в виде водных «вулканчиков», похожих на фумаролы (сталагмиты). При достаточно больших скоростях потока образуются натечные формы, но если скорость потока близка к нулю или вода вообще стоячая, то по фронту коллектора может формироваться слоистая толща хемогенных осадков в виде террасок мощностью в первые несколько миллиметров. Было замечено, что зоны с особо интенсивным выделением наростов весьма локальны, а объемы наростов несопоставимо больше объемов штукатурки или раствора, которые могли вымыться из обделки. Причины такого явления исследуются, но, возможно, такая хемогенная активность связана с восходящими токами напорных подземных вод в зонах трещиноватости коренных скальных массивов.

Как видим, в подземных реках проявляются как обычные для водотоков гидравлические и геоморфологические процессы (и соответственно образуются «обычные» русловые формы рельефа), так и специфические образования, несвойственные «надземным» рекам. Говоря об опасности геоморфологических процессов, коллекторные водотоки требуют постоянного мониторинга во избежание развития суффозии в грунтах и образования провалов на дневной поверхности.

Иные коммуникации, подвалы, транспортные системы менее динамичны по причине отсутствия в них текучих вод (кроме бытовой канализации), однако и в них часто происходят провалы. Частый случай — не выдержавшие веса, например полного грузовика, своды старых подвалов. Известны случаи деформации (вплоть до деструкции) тоннелей метрополитена под действием подземных плывунов: у станций метро «Дубровка» и «Баррикадная» в Москве; авария в Санкт-Петербурге 8 апреля 1974 года на перегоне между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества».

Особый экологический аспект связан с дренажно-канализационными сетями ряда старых европейских городов (Вена, Лондон, Прага, Берлин и т.д.), где до сих пор частично сохранилась общесплавная система канализования стоков. При таком типе отведения бытовые канализационные стоки утекают в очистные сооружения, но лишь до тех пор, пока не начинается ливень и коллектор переполняется. В таких случаях излишки попадают в естественные водоемы (обычно реки) через специальные переливные камеры, то есть 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, в том числе подземного стока (ливневые воды с дорог + бытовая канализация), в результате на ее берегах остаются фрагменты жизнедеятельности человека (и это в XXI веке!). Такие же сбросы происходят в остальных городах с фрагментами общесплавных канализаций. Стоит отметить, что, например, в Москве при раздельной системе канализования таких сбросов не наблюдается.

Во многих городах и пригородных зонах распространены подземные выработки — каменоломни и шахты. Основная проблема, которую создает наличие подземных горных выработок, — возможность их обрушения с образованием на поверхности деформаций и провалов. В настоящее время в связи с относительно небольшим возрастом каменоломен и достаточной устойчивостью вмещающих их пород — эта угроза пока невелика. Однако примеры, связанные с просадками над каменоломнями, уже есть: деформация школьного здания в поселке Чурилково к востоку от подмосковного Домодедова, деформации зданий, построенных над выработками в подмосковном селе Камкино, разубоживание сельскохозяйственных угодий, образование провальных воронок и т.д. В дальнейшем можно ожидать учащения аварийных ситуаций, особенно в случаях застройки капитальными зданиями.

Вместе с тем, помимо весьма широкого спектра опасностей, связанных с подземельями и подземными процессами, некоторые сооружения, напротив, призваны бороться с не менее актуальными геолого-геоморфологическими проблемами. Так, созданные в Киеве и Нижнем Новгороде обширные многоуровневые субгоризонтальные разветвленные дренажно-штольневые системы (ДШС) успешно снизили оползневую деятельность вплоть до ее полного затухания. Построенные со специальными зазорами, они отводят из грунтов воду, осушая таким образом склоны. Подобные, но более современные системы глубокого дренажа построены в Москве для принудительного водопонижения в районе Замоскворечья для предотвращения подтоплений и развития глубоких оползней после подъема в 1937 году уровня Москва-реки Перервинской плотиной.

Выводы

1. В крупных городах площади и объемы подземных полостей сопоставимы с таковыми для наземных рельефоидов (зданий и сооружений). В первую очередь, это антропогенные формы, а также карстовые, суффозионные, биогенные и др.

2. Твердую поверхность подземных полостей предлагается называть «субрельефом» (в отличие от собственно твердой дневной земной поверхности), а протекающие в таких полостях квазигеоморфологические процессы — субтерральными (по аналогии с подземными отложениями).

3. Наиболее опасными и скоротечными на территории равнинных городов являются карст, суффозия и функционирование подземных водостоков. Прочие инженерные и шахтные сооружения обычно не дают столько резких деформаций дневной поверхности, часто остаются инертными, но при антропогенном воздействии вновь могут стать источником потенциальной опасности (провалы, деформации и т.д.).

4. Основные экологические опасности связаны с субрельефом и субтерральными процессами в городе: загрязнение подземной среды и гидросети (в том числе и поверхностной), потенциальные опасности взрывов (при скоплении горючих газов в коллекторах), деформации коммуникаций, включая повреждение электрических кабелей, газопроводов и т.п., мостовых, зданий и т.д.; опасности провалов, просадок и т.п.; нарушения дренажных систем и ливнеотоков, подтопления и затопления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ

1. Болысов, С.И. Биогенное рельефообразование на суше [Текст]. — Т. 2 : Зональность. — М. : ГЕОС, 2007. — 466 с.

2. Болысов, С.И. Погребенный и подземный рельеф г. Москва [Текст] / С.И. Болысов, В.А. Неходцев // Теоретические проблемы современной геоморфологии. Теория и практика изучения геоморфологических систем : материалы XXXI пленума геоморфологической комиссии РАН. — Астрахань, 2011. — С. 151–156.

3. Болысов, С.И. Субрельеф — «рельеф» подземных полостей [Текст] / С.И. Болысов, В.А. Неходцев, В.С. Шишкин // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике : материалы Всерос. конф. «VII Щукинские чтения», Москва, 18–21 мая 2015 г. — М. : МАКС Пресс, 2015. — С. 42–47.

4. Даньшин, Б.М. Москва. Геологическое строение [Текст] / Б.М. Даньшин, Е.В. Головина // Труды Института геологии и минералогии и Московского геолого-гидрогеодезического треста. — 1934. — Вып. 10/6. — 93 с.

5. Иксанова, Е.А. Вклад докайнозойского карбонатного карста в развитие современных просадочных процессов в г. Москве [Текст] : дис. ... канд. геогр. наук. — М., 2005. — 155 с.

6. Канализационная сеть [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [http:// www.mosvodokanal.ru/index.php?do=cat&category=canset](http://www.mosvodokanal.ru/index.php?do=cat&category=canset) : сайт.

7. Комарова, Н.Г. *Устойчивое развитие мегаполиса в условиях природного и техногенного рисков* [Текст] / Н.Г. Комарова и др. — М. : Готика, 2002. — 192 с.
8. Лихачева, Э.А. О семи холмах Москвы [Текст]. — М. : Наука, 1990. — 141 с.
9. Лихачева, Э.А. Экологические хроники Москвы [Текст]. — М. : Медиа-Пресс, 2007. — 303 с.
10. Москва. Геология и город [Текст] / под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. — М. : Московские учебники и Картолитография, 1997. — 398 с.
11. Неходцев, В.А. Эрозионно-руслловые процессы и субрельеф подземных (коллекторных) водотоков [Текст] // Искусственные подземные сооружения городов // Спелеология и спелестология : сб. материалов III Междунар. науч. заоч. конф. / НИСПТР. — Набережные Челны, 2012. — С. 231–236.
12. Николаев, Н.И. Об эволюционном развитии карстовых форм и значении структурно-тектонического фактора [Текст] // Советская геология. — 1946. — № 10. — С. 46–57.
13. О Московском метрополитене [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://mosmetro.ru/about/> : сайт.
14. Оценка гидрохимического режима водных объектов на территории города [Электронный ресурс] // О состоянии окружающей природной среды города Москвы в 2002 году : гос. доклад. — Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Неглинная> : сайт.
15. Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология) [Текст] / под ред. Э.А. Лихачевой, Д.А. Тимофеева. — М. : Медиа-Пресс, 2002. — Т. 1, 2. — 640 с.
16. Симонов, Ю.Г. Инженерная геоморфология. Основания для инженерной оценки рельефа [Текст] / Ю.Г. Симонов, В.И. Кружалин. — М. : Изд-во МГУ, 1989. — 100 с.
17. Симонов, Ю.Г. Методы геоморфологических исследований: методология [Текст] / Ю.Г. Симонов, С.И. Болысов. — М. : Аспект-Пресс, 2002. — 191 с.
18. Соколов, Д.С. Основные условия развития карста [Текст]. — М. : Госгеолтехиздат, 1962. — 322 с.
19. Харченко, С.В. Геоморфологический фактор формирования городов Черноземья [Текст] : дис. ... канд. геогр. наук. — М. : Изд-во МГУ, 2014. — 171 с.
20. Шанцер, Е.В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований [Текст] // Труды ГИН АН СССР. — М. : Наука, 1966. — 240 с.

REFERENCES

1. Bolysov, S.I. Biogennoe rel'efoobrazovanie na sushe [Biogenic relief formation in the land] [Text]. — Vol. 2 : Zonal'nost'. Zoning. — Moscow : GEOS, 2007. — 466 p.
2. Bolysov, S.I. Pogrebennyu i podzemnyu rel'ef g. Moskva [Buried underground and relief of Moscow] [Text] / S.I. Bolysov, V.A. Nekhodtsev // Teoreticheskie problemy sovremennoy geomorfologii. Teoriya i praktika izucheniya geomorfologicheskikh sistem : materialy XXXI plenuma geomorfologicheskoy komissii RAN. — Theoretical problems of modern geomorphology. Theory and practice of studying geomorphological systems: materials of XXXI plenum of geomorphological commission of sciences. — Astrakhan, 2011. — P. 151–156.
3. Bolysov, S.I. Subrel'ef — “rel'ef” podzemnykh polostey [Subrelief — “relief” of underground cavities] [Text] / S.I. Bolysov, V.A. Nekhodtsev, V.S. Shishkin // Geomorfologicheskie resursy i geomorfologicheskaya bezopasnost': ot teorii k praktike : Materialy Vseros. konf. «VII Schukinskie chteniya» — Geomorphological resources and geomorphological security: From Theory to Practice: Proceedings of national conference. «VII Schukin's read», Moscow: Moscow State University named for M.V. Lomonosov, 18–21 May 2015. — Moscow : MAKS Press, 2015. — P. 42–47.
4. Dan'shin, B.M. Moskva. Geologicheskoe stroenie [Moscow. The geological structure] [Text] / B.M. Dan'shin, E.V. Golovina // Trudy Instituta geologii i mineralogii i Moskovskogo geologo-gidrogeodezicheskogo tresta. — Proceedings of the Institute of Geology and Mineralogy and Moscow geological and geodetic trust. — 1934. — Ed. 10/6. — 93 p.
5. Iksanova, E.A. Vklad dokaynozoyskogo karbonatnogo karsta v razvitie sovremennykh prosadochnykh protsessov v g. Moskve [The contribution of pre-Cenozoic carbonate karst subsidence in the development of modern processes in Moscow] [Text] : dissertation for degree... Candidate of Geography. — Moscow, 2005. — 155 p.

6. Kanalizatsionnaya set' [Sewage network] [Electronic resource]. — Mode of access : <http://www.mosvodokanal.ru/index.php?do=cat&category=canset> : website.
7. Komarova, N.G. Ustoychivoe razvitie megapolisa v usloviyakh prirodno i tekhnogenogo riskov [Sustainable development of the metropolis in terms of natural and technological risks] [Text] / N.G. Komarova and others. — Moscow : Gothic, 2002. — 192 p.
8. Likhacheva, Eh.A. O semi kholmakh Moskvy [Of seven hills of Moscow] [Text]. — Moscow : Science, 1990. — 141 p.
9. Likhacheva, Eh.A. Ehkologicheskie khroniki Moskvy [Environmental Moscow Chronicle] [Text]. — Moscow : Media-Press, 2007. — 303 p.
10. Moskva. Geologiya i gorod [Moscow. Geology and the city] [Text]/ under the editorship of V.I. Osipova, O.P. Medvedeva. — Moscow : Moskovskie uchebniki i kartolitografiya.- Moscow textbooks and map-lithography, 1997. — 398 p.
11. Nekhodtsev, V.A. Ehrozionno-ruslovye protsessy i subrel'ef podzemnykh (kollektornykh) vodotokov [Erosion-channel processes and sub-relief of underground (collector) watercourses] [Text] // Iskusstvennye podzemnye sooruzheniya gorodov. — Artificial underground structures of cities // Speleologiya i spelestologiya : sb. materialov III Mezhdunar. nauch. zaoch. konf. — Proceedings of the science distance conference / NISPTR. — Naberezhnye Chelny, 2012. — P. 231–236.
12. Nikolaev, N.I. Ob ehvolyutsionnom razvitii karstovykh form i znachenii strukturno-tektonicheskogo faktora [Of the evolutionary development of karst forms and significance of the structural and tectonic factors] [Text] // Sovetskaya geologiya. — Soviet Geology. — 1946. — N 10. — P. 46–57.
13. O Moskovskom metropolitene [Of Moscow subway] [Electronic resource]. — Mode of access : <http://mosmetro.ru/about/> : website.
14. Otsenka gidrokhimicheskogo rezhima vodnykh ob"ektov na territorii goroda [Evaluation of hydrochemical regime of the water bodies in the city] [Electronic resource] // O sostoyanii okruzhayushhey prirodnoy sredy goroda Moskvy v 2002 godu : gos. doklad. — Of the state of Moscow environment in 2002: state report. — Mode of access : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Neglinnaya> : website.
15. Rel'ef sredy zhizni cheloveka (ehkologicheskaya geomorfologiya) [Relief of human life environment (environmental geomorphology)] [Text] / ed. by Eh.A. Likhacheva, D.A. Timofeeva. — Moscow : Media-Press, 2002. — Vol. 1, 2. — 640 p.
16. Simonov, Yu.G. Inzhenernaya geomorfologiya. Osnovaniya dlya inzhenernoy otsenki rel'efa [Engineering Geomorphology. Reasons for the engineering assessment of the relief] [Text] / Yu. G. Simonov, V.I. Kruzhalin. — Moscow : Moscow University Press, 1989. — 100 p.
17. Simonov, Yu.G. Metody geomorfologicheskikh issledovaniy: metodologiya [The methods of geomorphological research: methodology] [Text] / Yu.G. Simonov, S.I. Bolysov. — Moscow : Aspect-Press, 2002. — 191 p.
18. Sokolov, D.S. Osnovnye usloviya razvitiya karsta [The main conditions of karst development] [Text]. — Moscow : Gosgeoltekhizdat, 1962. — 322 p.
19. Kharchenko, S.V. Geomorfologicheskii faktor formirovaniya gorodov Chernozem'ya [Geomorphological factor in the formation of cities of the Black Earth Belt] [Text] : dissertation for degree ... of Candidate of Geography. — Moscow : Moscow University Press, 2014. — 171 p.
20. Shantser, E.V. Ocherki ucheniya o geneticheskikh tipakh kontinental'nykh osadochnykh obrazovaniy [Essays on the doctrine of the genetic types of continental sedimentary formations] [Text] // Trudy GIN AN SSSR. — Proceedings of Geological Sciences of the USSR. — Moscow : Science, 1966. — 240 p.

S.I. Bolysov, V.A. Nekhodtsev

SUB-RELIEF AND UNDERGROUND PROCESSES AS ENVIRONMENTAL AND GEOMORPHOLOGIC THREATS IN URBAN AREAS

During the last 100–150 years urban development has been influencing the geological environment, modifying the underground structures and interacting with the geological and geomorphologic processes. The narrow 30–50 meter strips of soil exposed to urban influence abound in artificial and natural caverns. Both artificial and natural caverns (to denote which the authors use the term sub-relief structures) together with

anthropogenic and natural underground processes trigger off ecological and geomorphologic factors that endanger urban areas. Among these factors the authors single out such factors as internal, karst and fluvial erosion processes in subsurface rain and river water reservoirs (both natural and artificial). Erosion processes bring about the deformation and destruction of surfaces and buildings. Natural subsurface water reservoirs collect pollutants whose TLVs exceed the norm 20–50 times. The dangerous underground processes, being very rapid and excessively detrimental, do not lend themselves to forecasting.

geological environment, urban area, karst, dangerous processes, subsurface river, sub-relief, internal erosion, ecological and urban geomorphology.