

УДК 551.4, 624.1

С.И. Болысов¹, В.А. Неходцев², С.В. Харченко³

ПОДЗЕМНЫЙ РЕЛЬЕФ МОСКВЫ

На основании натурных подземных наблюдений и обобщения литературных источников в статье характеризуется «рельеф» подземных полостей на территории г. Москвы – природных и антропогенных. Дается описание морфологии, генезиса, современной динамики этих подземных поверхностей. Особое внимание уделено чрезвычайно слабо изученному вопросу – функционированию заключенных в коллекторы водотоков. Приводится приблизительная оценка колоссальных объемов подземных полостей столицы. Рассмотрены экологические аспекты динамики подземного «рельефа». Для твердой поверхности подземных полостей предлагается и используется термин «субрельеф» (буквально – ПОД рельефом и ПОЧТИ рельеф), исходя из устоявшегося представления о рельефе как совокупности неровностей твердой ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ (в отличие от субрельефа).

Ключевые слова: субрельеф, территория Москвы, подземные формы рельефа, пещеры, полости, подземные геоморфологические процессы.

Введение и постановка проблемы. В последние годы активно развивается городская геоморфология (работы Э.А. Лихачевой [1991, 1995, 1998, 1999, 2000, 2001, 2006] и Д.А. Тимофеева [1998, 1999, 2000], Ю.Г. Симонова и Т.Ю. Симоновой [1993, 2004, 2015], А.А. Лукашова и Е.А. Иксановой [2005], Ф.В. Котлова [1962, 1978]). По понятным причинам в меньшей степени исследован подземный (в широком толковании) рельеф городов. При этом в крупных городах подповерхностный «рельеф» бывает весьма сложным, поскольку он является отражением как длительной истории развития естественного рельефа, так и существенной антропогенной переработки. Наглядным примером такого сложного рельефа является «подземный рельеф» Москвы – крупнейшего отечественного города и одного из крупнейших мегалополисов мира. Авторы на основе обобщения литературных сведений и обследования ряда подземных полостей различного генезиса на территории Москвы (или, точнее, ПОД Москвой) предлагают характеристику подповерхностного «рельефа» столицы.

Под формами «подземного рельефа» мы понимаем те, которые находятся ниже собственно дневной твердой земной поверхности. Нередко они образуются изначально «под землей», ниже земной поверхности, внутри толщи уже залегающих горных пород (чаще осадочных). При этом в процессе образования подземные формы, например – современные карстовые полости типа карстовых колодцев, – могут проявляться и на дневной поверхности в виде понижений или (в других случаях) возвышений, однако это будут уже формы наземные, хотя и частично или полностью подземного генезиса. По терминологической логике подобные образования следует называть «субтерральными» (буквально – под-

земными), продолжая ряд терминов «субаэральных» (наземных, то есть «подвоздушных», – наземных континентальных) и «субаквальных» (подводных). Термин «субтерральные» предложил Н.И. Николаев в 1946 г. [1946] для отложений, формирующихся изначально в подземной среде, в первую очередь – в карстовых полостях (сталактиты и т. п.). Очевидно, что термин «субтерральные» может использоваться не только для отложений, образующихся в подземной среде, но и для форм рельефа. Вместе с тем, не исключено образование некоторых подземных форм при перекрытии наземных неровностей более молодыми толщами (вероятно, это нечастый случай) либо искусственными поверхностями (что более вероятно).

Следует отметить, что классификационное положение подземных форм до сих пор остается весьма неопределенным в геоморфологической науке, на что указывал ранее один из авторов: «Речь идет о подземных формах – пещерах и норах животных, не имеющих выхода на земную поверхность. Эти проявления соответственно карстового и биогенного рельефообразования занимают особое место в ряду тех образований, которые относятся к объекту геоморфологической науки, – неровностям твердой земной поверхности разных масштабов ... Менее очевидно отнесение к рельефу изолированных от дневной поверхности полостей, причем во многих случаях их вряд ли можно отнести даже к погребенному рельефу, поскольку термин «погребенный» более подходит к палеорельефу (тогда как многие пещеры и норы – формы современные) ... На наш взгляд, положение подземных форм разного генезиса в классификационных рядах до сих пор остается проблематичным в геоморфологической науке» [Болысов, 2007, с. 347]. В этой связи возникает термини-

¹ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, кафедра геоморфологии и палеогеографии, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: sibol1954@bk.ru

² Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, кафедра геоморфологии и палеогеографии, аспирант; e-mail: baban.n@mail.ru

³ Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра ландшафтной экологии, науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: har4enkkoff@rambler.ru

нологическая и, соответственно, гносеологическая проблема, которая реально существует в геоморфологической науке, давно уже изучающей «подземный рельеф». Эти поверхности, строго говоря, не являются рельефом («совокупностью неровностей твердой земной поверхности»). Исходя из сказанного, мы предлагаем для подобных подземных «форм рельефа» термин «СУБРЕЛЬЕФ». Действительно, 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 земной поверхности, и они представляют собой нередко формы переходные к «обычным» неровностям земной поверхности. К тому же они занимают «переходное» положение от собственно «рельефа» к «почти рельефу». Гносеологически термин «субрельеф» устраняет несоответствие общепринятого толкования рельефа как объекта геоморфологической науки и специфики положения и морфологии подземных форм (как и их изучения). Добавим, что к формам «субрельефа» относятся из экзогенных многие карстовые, суффозионные и биогенные формы, некоторые ледниковые (или «подледниковые») и, конечно, многочисленные антропогенные; из эндогенных – некоторые тектонические (дизъюнктивного характера) и магматические (например, полости, образующиеся при застывании магмы) [Болысов, Неходцев, Шишкин, 2015]. В статье рассматривается чрезвычайно разнообразный и объемный «субрельеф» Москвы – как «природный» (карстовый, суффозионный, биогенный), так и гораздо более масштабный антропогенный.

Работ, посвященных изучению подземных полостей как форм «рельефа» и более мелких форм в самих полостях, совсем немного. Так же немного и исследований по специфике рельефообразующих процессов внутри них. Вместе с тем, изучение геологической (и «квази-геоморфологической») среды столицы имеет достаточно длительную историю. Первое крупное обобщение исследований недр на территории тогдашней Москвы составлено профессором Московского университета Г.Е. Щуровским [1866, 1867]. Зарождение научной спелеологии (науки о подземных искусственных полостях) связывают с работами по поиску библиотеки Ивана Грозного на территории Московского Кремля, осуществленные в 30-х годах прошлого века археологом И.Я. Стеллецким [Долотов, Сохин, 2001]. Стоит отметить наличие и более ранних аналогичных работ, например, на территории Нижегородского Кремля [Медоваров, 2012], касающихся, однако, менее известных объектов.

Исключительный вклад в исследование рельефа Москвы и его хроногенетической обусловленности внес Б.М. Даньшин [1936, 1947]. В контексте рассматриваемого вопроса интересно описание склонов ложбины, сделанное Б.М. Даньшиным в бассейне р. Битцы: «...на этом участке, вследствие сравнительно неглубокого залегания известняков, наблю-

даются по оврагам и долинам следы провальных ям и характерное поглощение ручьев. Единственным пока случаем (описания пещеры естественно-го происхождения – *прим. авт.*) является открытая О.И. Тихвинским карстовая пещера в известняках близ Красной Пахры. Следует, однако, отметить, что здесь В. Зуевым в конце XVIII в. указывалась штольневая добыча известняка. Для микрорельефа склонов характерно наличие многочисленных действующих и заброшенных каменоломен, огромными цирками вдающихся в склоны: в особенности близ Подольска и ниже Каширского шоссе. Заслуживают внимания многочисленные заброшенные искусственные пещеры – штольни» [Даньшин, 1947, с. 78–79].

Новый этап изучения инженерно-геологических условий на территории Москвы связан, в первую очередь, с именем геолога, проф. В.Ф. Котлова, известного серией капитальных монографий [1962, 1978] об антропогенном прессе на геологическую среду крупных городов. Немалую роль он отводит изучению «субтерральных» геолого-геоморфологических процессов, протекающих в особых условиях пещер и прочих пустот в верхней части земной коры. Приводит он и классификацию этих процессов, делая упор, однако, на те, которые находят отражение в рельефе на поверхности и представляют собой определенную опасность.

Что касается современных обобщений, уделяется внимание инженерно-геологическим условиям формирования полостей, а также сопутствующим геоморфологическим процессам на поверхности в трудах исследовательских коллективов под руководством геологов и/или географов В.И. Осипова, О.П. Медведева [1997], Г.Л. Коффа и Э.А. Лихачевой [1997, 2006].

Изучению морфологии подземных комплексов и их «внутреннего рельефа» посвящено крайне мало публикаций. Каких-либо обобщений нет вовсе. Следует отметить, что часто сами пустоты воспринимаются (или, по крайней мере, характеризуются) исследователями как нечто статичное. Кажется, что они сформированы и находятся в поддерживаемом природой или человеком устойчивом динамическом равновесии, однако во многих случаях это отнюдь не так. На поверхностях полостей протекает комплекс видоизменяющих их процессов – рельефообразующих, но со своей «подземной» спецификой. Очевидно, это и выветривание, и флювиальные процессы в руслах коллекторных водотоков и естественных подземных участков рек, и гравитационные процессы на стенках и сводах и т. д. Не исчезли и сформировавшие эти полости карстово-суффозионные и техногенные процессы. В литературе можно встретить единичные работы, посвященные современному морфолитогенезу внутренних поверхностей пещер и искусственных подземных комплексов.

Особняком стоят работы чисто инженерной тематики, посвященные освоению подземного пространства мегалополиса. Уже давно градостроительство и сопутствующие ему перестройки природы – явление не только «вширь», но и «вглубь».

Объемы искусственных полостей превысили аналогичные показатели естественных, а по разнообразию форм и сложности структуры они сравнились с крупнейшими пещерными системами мира. К примеру, общая длина только известных ходов парижских катакомб превышает 300 км [Желеховский, Фатющенко, 2010], к стати, как и общая длина туннелей московского метрополитена [Сафина, Федорова, 2012], о чем подробнее скажем ниже. Несмотря на различия в генезисе для пустот естественного и искусственного происхождения, по морфологическим критериям они зачастую конвергентны.

Учет современного подземного рельефа городов при проектировании явно недостаточен, прогноз развития геоморфологических процессов в подземельях при смене режима использования территории – обычно отсутствует. Современное положение дел характеризует высказывание Р. Стерлинга: «Совершенно неприемлемо то, что планировщики затрачивают очень много усилий и времени для работы над двухмерными моделями города и так мало для осмысления трехмерной модели, понимания геологических возможностей и ограничений своего собственного города» [Сатарова, 2011]. Тем не менее, спрос на освоение подземного пространства городов неуклонно растет по всему миру, об этом свидетельствуют обширные современные исследования по территориям таких городов, как Найроби, Ханой, Пекин, особое внимание освоению подземного пространства уделяется в островном Сингапуре. При этом инженерно-геологические проблемы развития подземного пространства в них имеют много общего (часто это разновозрастные карстующиеся породы, активные современные тектонические движения и др.). Есть и специфичные для конкретных территорий геологические лимиты. В упомянутой выше столице Кении – г. Найроби – такими ограничениями стали, например, многометровые толщи грунтов «регуров», продукта выветривания пород на поверхностях обширных неогеновых и позднеплейстоценовых лавовых плато. Обладая высокой способностью к набуханию и последующей усадке, эти грунты сильно ограничивают спектр возможных видов использования верхних нескольких метров грунтовой толщи и значительно усложняют и удорожают строительство. Немало неудобств строителям доставляет сейсмичность и сложный режим подземных вод, связанные с расположением города в зоне Восточно-Африканского рифта [Мукаби с соавт., 2012].

На территории Москвы, конечно, тоже проводятся подобные изыскания, преимущественно архитектурными и проектирующими организациями [Коротяев, 2009, 2011]. Среди городов России Москва – несомненный лидер по объемам и сложности структуры подземных пустот, скорости преобразования геологической среды, и ведущую роль в формировании и развитии подземных пустот и их проектировании на поверхность здесь играют, конечно, антропогенные и антропогенно-инициированные процессы. Так, В.П. Хоменко с соавт. [2010], анализи-

руя проявления природной и техногенной суффозии на территории столицы, говорит о том, что природная суффозия довольно редка и проявляет себя почти всегда на незастроенных участках: в лесопарковых зонах, на склонах бортов речных долин, балок и оврагов, где происходит разгрузка водоносных горизонтов. Техногенная же суффозия связана с регулярным или «моментальным» (как правило, аварийным) обводнением грунтов (зачастую – прорыв подземных водопроводных коммуникаций) и распространена столь же широко, как и аварийные ситуации на водонесущих коллекторах. Иллюстрируя свои тезисы, В.П. Хоменко приводит пример обрушения дома по ул. Большая Дмитровка в 1998 г. При прокладке тоннеля в этом районе строителями была вскрыта кровля палеоаллювиальных водонасыщенных отложений погребенной речной долины, что привело к резкой активизации суффозионного выноса и последующему провалу.

Таким образом, подземный рельеф – «субрельеф» – крупных городов, включая Москву, имеет чрезвычайные масштабы и при этом относительно слабо изучен. В данной статье характеризуется субрельеф на территории Москвы.

Материалы, методика и обсуждение результатов. Направленных геоморфологических исследований подземного «рельефа», как отмечалось, крайне мало, а по некоторым комплексам практически не было геоморфологических описаний до последнего времени, например – по флювиальному подземному «рельефу» в коллекторах. Авторами подробное изучение подземного «рельефа» Москвы началось с 2010 г. на основе наблюдений В.А. Неходцева, проводившего (в том числе и ранее) подземные полевые работы [Болысов, Неходцев, 2011, 2016; Неходцев, 2012]. В общей сложности за 9 лет непосредственно изучено порядка 600 погонных километров около 250-ти подземных сооружений, в первую очередь – заключенных в коллекторы рек и ручьев, но и многих иных подземных объектов. Маршруты выбирались относительно случайно по объектам, доступным для свободного посещения.

В зависимости от погодных условий выбирается спуск в «сухое» подземелье (если дождливо или идет активное снеготаяние) или в реку, если нет опасности дождей и резкого повышения уровня воды. Ливни – главная опасность в подземных реках, поскольку уровень воды может подняться до потолка за считанные минуты. Поиск подземных рек – сложный и комплексный процесс, требующий не только времени на сам поиск, но и теоретической подготовки. Прежде всего, изучается топографический материал с целью нахождения точных границ «засыпанной» долины.

Для спусков под землю используются специальные (обычно непривычные для геоморфологов) средства – гидроизоляция, фонари, веревки, сигнальные жилеты. Главное под землей – свет, поэтому использовать приходится надежные сверхъяркие и водостойкие фонари. Для походов «в реки» используются полукомбинезоны из резины, позволяющие

передвигаться по груди в воде, иногда – надувные лодки. Так, в феврале 2013 г. В.А. Неходцевым в составе довольно крупной (около 30 чел.) группы энтузиастов была пройдена на лодках крупнейшая подземная река Москвы Хапиловка, глубина которой местами превышает 2 м. Поскольку основным фактическим материалом подземных исследований, помимо описаний, являются фотографии, то сделаны они должны быть качественно. Для фотографирования используется профессиональная фототехника со сменными объективами, которая устанавливается на штативе. Такая стабилизация фотоаппарата позволяет экспонировать в течение многих десятков секунд, что дает возможность осветить ручным фонарем все попадающее в объектив. Вся свето- и фототехника обычно весит около 5 кг. Описание подземных форм чаще всего проводится уже после посещения подземелий по фотоснимкам, поскольку в условиях полной темноты и высокой влажности делать записи и пометки почти невозможно. Однако в случаях посещения сильно-разветвленных систем коллекторов или каменоломен на месте строится план-схема. В качестве привязки к поверхности используются люки, через которые можно привязаться с помощью системы GPS. Описание подземных форм после посещения обычно не вызывает трудностей – ввиду необычности это надолго запоминается.

Динамика развития технофлювиальных форм в подземных реках устанавливается путем сравнения разновозрастных фотографий или по косвенным признакам (например, по отметинам на стенках коллектора). Для определения скоростей накопления наносов в подземных реках применяется комплексный метод, включающий, кроме измерения текущего осадка, еще и исторические данные о возрасте коллектора и годах прочисток, если таковые имеются. Таким способом (полустационарные методы) были определены характерные скорости накопления наносов для большинства крупных подземных рек – 3–5 мм/год (не считая куда большего объема транзита).

Несколько неоднозначным является юридический вопрос, поскольку есть ряд городских указов, запрещающих, например, вскрытие люков, что трактуется как мелкое административное правонарушение. Вместе с тем, не существует запретов на посещение заброшенных подземных объектов (наравне с пещерами), в обилии проводятся экскурсии в различные подземелья. Порядок спуска в канализационные и ливнесточные коллекторы регламентируется внутренними правилами эксплуатирующих организаций и касается лишь техники безопасности их сотрудников. Городским законодательством строго запрещено самовольное проникновение лишь в тоннели метрополитена. С 2016 г. законодательство еще усложнилось, поскольку уже на федеральном уровне под запрет посещения стали подпадать подземные и подводные объекты, охраняемые в соответствии с законодательством о ведомственной или государственной охране [ФЗ №441-ФЗ от 30.12.2015

«О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации и статьи 150 и 151 Уголовно-процессуального кодекса Российской Федерации»]. К таким объектам не относятся ни коммуникации, ни метрополитен, ни естественные полости, а лишь различные бункеры, военные сооружения, коммуникации госкорпораций Росатом, Ростех и Роскосмос. Вместе с тем, существуют (и активно использовались для настоящей работы) различные вполне законные способы посещения подземных коммуникаций – различные пресс-туры, экскурсионные мероприятия, сотрудничество со строительными и эксплуатирующими организациями, в частности ГУП Мосводосток, ГУП Мосводоканал, Музей Воды, Газета Метростроевец, ОАО Мосметрострой и т. д., что и позволяло одному из авторов набирать фактический материал в подземных маршрутах. Сочетание прямых полевых подземных наблюдений и обзора литературы (весьма скудной) по данной тематике позволило получить общее представление о рельефообразовании в «подземной Москве».

«Субрельеф» («подземный рельеф») Москвы включает в себя современные (либо восстановленные реликтовые – экспонированные в подземные полости) формы карстового и суффозионного, специфического флювиального (правильнее сказать – антропогенно-флювиального, флювиальные формы в коллекторах), биогенного и, конечно, антропогенного происхождения.

Современное **карстообразование** наиболее активно протекает на северо-западе столицы (поверхность хорошо дренируемой третьей террасы р. Москвы). Здесь пески залегают непосредственно на карбонатных породах, много эрозионных окон. В этой связи развитие карстовых процессов здесь происходит постоянно: по данным Е.А. Иксановой [2005], насчитывалось около 50 карстовых провалов, начиная с 60-х годов XX века (то есть примерно раз в год). Как известно, в 1969 г. в результате провалов образовались воронки (по сути – карстовые колодцы) диаметром 3–5 м и разрушился пятиэтажный дом 1950-х годов постройки по Хорошевскому шоссе. В 1977 г. были частично разрушены дома 3 и 4 по Новохорошевскому проезду, образовалась воронка диаметром до 30 м и глубиной 1 м [Лихачева, 1990]. Несколько многоэтажных панельных домов по Хорошевскому шоссе были перестроены в 1980-е годы именно в связи с образованием просадок под фундаментами. В парке Березовая роща до сих пор можно наблюдать за развитием десятка воронок диаметром от 0,5 до 3 м. Современные карстовые процессы проявляются и в подземных каменоломнях к югу от Москвы, где наблюдаются купола и причудливые пещеры, полости и вертикальные «колодцы» (типа поноров) диаметром до 20 см.

Своеобразной разновидностью аккумулятивно-го карста является формирование травертиновых наростов на внутренних стенках подземных коммуникаций (прямой аналог вторичного аккумулятивно-

го карста в пещерах). Наросты локализуются с плотностью от 5–6 на квадратный метр до сплошного чехла мощностью до 30–40 сантиметров в виде зон длиной порядка 50–200 м и больше. В нормальных условиях аккумуляция травертина наблюдается в подземных коммуникациях лишь в объемах, которые допускают процессы выщелачивания кальция из бетона и цемента отделки. Размеры и обилие наростов заведомо превышают возможные объемы выщелачивания на первые порядки! Образуются они при выпадении в осадок растворенных карбонатов (иногда других солей), когда грунтовая вода под давлением через щели просачивается в коллектор. Наросты бывают и прочными, и хрупкими. Обычно они формируются сверху (сталактиты) или сбоку (как бы «прислоненные»), но иногда встречаются и сталагмиты, растущие снизу в виде «фонтанчиков», напоминающих фумаролы. Часто встречаются сталактиты в виде белых «сосулек» на сводах коллекторов, с типичным диаметром в 0,3–2 см. Всего внутри МКАД было локализовано 53 таких зоны, 50 из которых были встречены в коллекторах подземных рек. Аномальная интенсивность травертинообразования в коллекторах требует дополнительного осмысления.

Современные **суффозионные** процессы (нередко активизированные прорывом водопроводных коммуникаций) иногда проявляются и непосредственно на поверхности в форме провалов (как на Ленинградском проспекте в 2006 г., когда образовался провал глубиной 10 м), но провалы на поверхности в большинстве случаев возникают над подземными полостями. Фиксируются и многочисленные менее крупные суффозионные формы субрельефа – каналы диаметром обычно до 10 см и длиной в первые метры (проявления «тоннельной эрозии» – разновидности суффозии), а также отчасти поверхностные (с выходом на поверхность) суффозионные ниши в прибровочных частях эрозионных форм длиной вдоль бровки до первых метров и глубиной до 0,5 м.

В парковых зонах Москвы встречаются **биогенные** формы субрельефа – подземные ходы кротов и мышевидных грызунов, длиной до десятков метров, диаметром до 0,1 м (обычно на глубине 0,2–0,3 м от поверхности). Подземные логовища кротов имеют диаметр в несколько десятков сантиметров и располагаются на глубине 0,5–0,7 м. Как ни удивительно, но и биогенные процессы могут участвовать в деформациях объектов гражданского строительства. Наиболее явным проявлением такого воздействия являются вспучивания и трещины на тротуарах и мостовых, обусловленные ростом крупных корней (естественно, подземным) деревьев, растущих вдоль тротуаров.

Безусловно, несопоставимо по объемам с природными полостями распространение в крупных городах и, в частности, Москве **антропогенных** форм и комплексов субрельефа. Развитие городской среды вглубь началось буквально с первых поселений древних славян. Археологи находят остатки землянок возрастом 2–3 тыс. лет. Таким образом, види-

мо, землянка – древнейшее антропогенное подземное сооружение, наряду с захоронениями. В средние века с появлением монастырей сооружаются и тайные ходы, ведущие к другим монастырям или к рекам. В исторической литературе фигурируют и такие тайные ходы, как, например, тоннель, соединяющий Кремль и Старое Ваганьково, тоннель в сторону Воронцова поля. С развитием каменного строительства появилась возможность строить подвалы и даже системы подвалов. С развитием города начали заключать в подземные коллекторы и речки, первой – Неглинную в 1817–1819 гг. С конца XIX века в Москве вывозная система удаления нечистот постепенно начинает заменяться на подземные канализации, и к началу XX века город был полностью канализован. Освоение подземного пространства было наиболее активным, начиная с 30-х гг. XX века. С 1931 г. начинается строительство метрополитена, а в послевоенное время – активное строительство объектов гражданской обороны (бомбоубежищ) и специальных объектов (глубинных бункеров и правительственных спецтоннелей). Поскольку некоторые из подобных сооружений являются засекреченными, нельзя точно сказать, какова реальная глубина освоения подземного столичного пространства, но она находится в пределах от 150 до 180 м. Нет точных сведений и о суммарной их длине.

Условно можно разделить все подземные сооружения на несколько классов по их назначению: метрополитен, коллекторы коммуникаций, ливнево-дренажные системы, подземные путепроводы, подвалы и подземные автостоянки, сооружения гражданской обороны, пешеходные переходы, каменоломни и исторические ходы. Отметим, что функциональные различия во многом определяют и морфологические особенности подземных форм.

В первую очередь, рассмотрим наиболее повсеместно распространенный класс – *коллекторы коммуникаций*. К ним следует отнести систему водо-, газо-, теплоснабжения, городские канализации, кабельные и трубо-кабельные коллекторы. Первый водопровод из Мытищ (Екатерининский) был в основном построен в 1779–1787 гг. и открыт в 1804 г., однако многократно перестраивался. Были обнаружены 2 фрагмента Екатерининского водопровода общей длиной около 500 м, что делает их самыми старыми коммуникационными коллекторами Москвы. Открытие канализации осуществлено в 1898 г. С появлением систем отопления домов стали появляться и подземные теплотрассы, которые сейчас (как канализация и водоснабжение) подходят к каждому дому. Развитие кабельных коллекторов началось лишь в середине XX в., когда стала очевидной опасность надземных линий электропередач. Сейчас по разным оценкам протяженность кабельных коллекторов в столице составляет около 1000 км, а с кабельными трубками – в разы больше. Кабельный коллектор – сооружение обычное для нескольких групп кабелей, поэтому имеет диаметр сечения от полутора метров (районные) до 3,5 и более мет-

ров (магистральные). Коллекторы имеют круглое (коллекторы щитовой проходки) или прямоугольное (построенные котлованным способом) сечение, они обычно представляют собой железобетонные конструкции с внешней, реже внутренней, гидроизоляцией. А кабельные трубки – трубы малого сечения (10–30 см) из асбеста или композитных материалов. Трубки соединяют между собой практически все дома, светофоры и т. п. В перспективе количество кабельных коллекторов будет возрастать ввиду удобства их обслуживания. Часто в кабельных коллекторах находятся и трубы теплоснабжения. Это объясняется тем, что ремонт этих труб осуществляется весьма часто (из-за относительно быстрой деформации и износа), кроме того, воздух коллектора является дополнительной защитой от перепадов температур в зимний период и уменьшает потерю тепла. Трубы холодного водоснабжения в коллекторы обычно не укладываются ввиду их большей стойкости.

Канализация также распространена повсеместно. Как уже было отмечено, появление бытовой канализации относят к 1898 г., однако наиболее интенсивное ее строительство велось в 1965–80 гг., когда в год открывалось в общей сложности до 70 км участков сети. Общая протяженность канализационной сети г. Москвы на сегодняшний день составляет 7852,4 км, в том числе самотечной – 7074,2 км, напорной – 778,2 км. В связи со строительством жилого фонда в Москве протяженность сетей постоянно увеличивается в среднем на 120 км в год. В 2012 г. в связи со списанием 540,7 км ветхих канализационных сетей общая протяженность канализационной сети несколько уменьшилась [Канализационная сеть, URL: <http://www.mosvodokanal.ru/index.php?do=cat&category=canset>].

Город канализирован по сплавной, раздельной системе, осложненной серией межуровневых перекачек. Поскольку амплитуда высот в Москве превышает 100 м и имеются эрозионные врезки (в частности – долина реки Москвы) глубиной до 60 м, необходимо сооружение станций перекачек и канализационно-насосных станций (КНС), передающих сток на уровни выше для осуществления естественного сплава. Раздельность системы заключается в том, что нечистоты, грязные воды из жилых помещений, загрязненные воды фабрик, боен и бань поступают собственно в городскую (бытовую) канализацию, а верховые стоки (атмосферные осадки), дренажные воды и незагрязненные воды с фабрик поступают в ливнесточную канализацию (ливнестоки и подземные реки) и далее в реки без химико-биологической очистки. Ливневые и канализационные коллекторы отличаются формой сечения (круглые, прямоугольные, овальные и проч.) и размерами (от первых десятков см до 4–6 м) и построены из бетона, кирпича или металла. Стоки городских канализаций поступают на станции очистки (Курьяновская, Люблинская, Филевская и т. д.). Канализация имеет древовидную в плане форму и обычно (за редким исключением) при приближении

к станции очистки увеличивает диаметр сечения трубы. Чаще всего канализация представляет собой бетонную (реже кирпичную) трубу круглого сечения. Максимальный диаметр труб составляет 6 м, – трубы большего диаметра уже весьма неустойчивы к внешнему и внутреннему воздействию. Система газоснабжения так же, как и холодного водоснабжения, представляет собой обычные трубы (металлические), зарытые в землю. Крупнейшие газовые магистрали представляют собой трубы диаметром около 2 м.

Подвалы и подземные парковки имеют довольно равномерное распределение в городе и приурочены, за некоторыми исключениями, к домам. Подземные гаражи и автостоянки, как показывает мировой опыт развития крупных мегалополисов, являются важным элементом использования подземного пространства, особенно в центральных районах города. От этого фактора в некоторой степени зависит финансово-экономическая жизнь города. В решении этого вопроса отсутствует универсальный подход, каждая парковка или гараж строится по индивидуальному плану, на разной глубине и разной площади. Изнутри подземные парковки нередко представляют собой многоколонные сооружения из нескольких этажей (обычно 1–3). Одна из крупнейших парковок находится под Боткинским проездом (м. Динамо), несколько изогнутая в плане, состоит из двух уровней, в ширину имеет порядка 80–100 м, а в длину – более 300 м. Таким образом, ее эффективная площадь близка к 60 тыс. м², а объем сооружения превышает 0,003 км³. Парковки меньших размеров обычно строятся внутри фундамента новостроек на количество машин, примерно соответствующее удвоенному количеству квартир дома. Кроме того, в центре города сооружаются подземные гаражи под площадями, бульварами, внутри уже существовавших подвалов.

Подвалы в настоящее время используются, в основном, в качестве складов или под размещение офисов. В отличие от парковок, подвалы обычно не выходят за границы фундаментов домов. Исключения составляют лишь подвалы под ныне несуществующими домами и крупные системы подвалов. Одна из крупнейших систем исторических подвалов Москвы расположена между ул. Соляной и Ивановской горкой, состоит из четырех-пяти галерей со сводами высотой около 3–3,5 м и глубиной заложения до 10 м. В поперечнике вся система достигает 500 м. Построены они были в конце XIX в., в XX в. в них располагались гаражи, однако сейчас подвалы не используются и находятся в аварийном (частично затопленном) состоянии. Подобных систем меньшего размера известно несколько десятков. Не менее крупные подвалы были (и некоторые сохранились) под цехами таких заводов, как «Серп и Молот», Хамовнический и Бадаевский пивоваренные и др.

Исторические ходы сохранились лишь в незначительных количествах в самом центре Москвы и представляют, по большей части, археологичес-

кий интерес, хотя при проектировании и строительстве их необходимо учитывать. Уничтожены они не столько ввиду своей «старости», сколько из-за активного современного освоения подземного пространства. Такие ходы известны внутри Кремля и в его окрестностях, под Манежем, у посольства Индии. Кроме того, в центре Москвы под землей притаилось несколько тысяч старых колодцев, которые рано или поздно приведут к провалам. Поскольку деревянный город часто горел, то люди старались поблизости от дома обустроить источник водоснабжения. В 1629 г. государь Михаил Федорович приказал вырыть «в Белом городе и за ним по большим улицам» огромные колодцы. В 1736 г. Московская Сенатская контора приступила к устройству на больших улицах колодцев с насосами, а на малых улицах обыватели должны были выкопать один колодец на два двора. В правление императрицы Елизаветы Петровны улицы Москвы расширились, и колодцы, оказавшиеся на проезжей части, были ликвидированы: их засыпали мусором, а чаще перекрывали досками, насыпали на них землю, а поверху укладывали мостовую. Следующая заделка колодцев произошла после того, как заработал Мытищинский водопровод. Но, несмотря на это, к началу XIX века в Москве, по разным данным, было от 3670 до 5000 действующих колодцев. Когда доски сгнивали, образовывались глубокие – до 10–15 м – провалы: на Театральной площади, на Моховой, у Новодевичьего монастыря (Козни малого овражка, URL: <http://www.sovsekretno.ru/articles/id/906/>).

Каменоломни на территории города Москвы известны по литературным источникам в нескольких местах – Дорогомилово (около гостиницы «Украина»), Воробьевы горы, Фили, левый берег Яузы, в Крылатском. Однако не все они были подземными, часть каменоломен давно засыпана, и найти их спелеологам не удалось. Предположительно, подземными были лишь Дорогомиловские, хотя анализ современных данных по геологии этого района заставляет усомниться в реальности их существования. Периодические провалы грунта над местами предположительного расположения бывших каменоломен до сих пор указывают на возможность существования полостей (возможно, генезис провалов карстово-суффозионный).

В XX в. свое развитие получили подземные *путепроводы* – автомобильные и железнодорожные. Создание многоуровневых подземных развязок – отличительная черта наиболее крупных городов мира. В Москве примерами наиболее сложных подземных развязок могут служить пересечение Третьего транспортного кольца и Ленинского проспекта, где на верхнем уровне проложено два тоннеля – Московского центрального кольца и Третьего транспортного кольца, а под ними расположена станция метро «Ленинский проспект»; развязка Волоколамского и Ленинградского шоссе, где на самом нижнем уровне расположен тоннель Волоколамского шоссе, выше – Алабяно-Балтийский (по названию соединяющихся улиц) тоннель, еще выше –

расположенные рядом со станцией метро «Сокол» и оборотными путями метротоннели и тоннель Ленинградского шоссе.

Крупнейшие автомобильные путепроводы – Лефортовский и Северо-Западный тоннели. Длина Лефортовского тоннеля – около 3,2 км, при глубине залегания в 30 м. Диаметр тоннеля 12 м, он имеет круглое сечение и построен горнопроходческим щитом. Северо-Западный тоннель имеет длину 3,1 км, состоит из трех «ниток» – собственно тоннелей. Два тоннеля имеют диаметр 14 м, в их нижней части расположены метротоннели Арбатско-Покровской линии, над ними – автомобильные тоннели, а под сводом – системы вентиляции. Третья «нитка», меньшего диаметра (6 м), представляет собой эвакуационно-технический тоннель. Максимальная глубина залегания тоннелей – 44 м.

Отдельного внимания заслуживает, конечно, *метрополитен* – самое грандиозное сооружение в Москве. Этот класс подземных сооружений тесно связан также с бункерами и системами правительственного метро. Все они обладают в некоторой степени сходными и достаточно специфическими условиями и методами строительства (глубокое заложение, сооружение преимущественно подземным способом) и выполняют, по сути, единую транспортную функцию с элементами защиты гражданского и военного населения, а также властных структур. Общая протяженность 12 линий метрополитена с 200 станциями достигает 333,5 км [О московском метрополитене, URL: <http://mosmetro.ru/about/>], а максимальная глубина залегания метротоннелей превышает 85 м (район станции «Парк Победы»). За период 2014–2020 гг. в столице планируется построить более 160 км линий метро и открыть более 70 новых станций. В результате – к 2020 г. протяженность линий московского метрополитена должна превысить 450 км. Это вполне сопоставимо с суммарной длиной подземных ходов крупнейшей в мире карстовой пещеры Мамонтова-Флинт в Аппалачах, которую обычно оценивают в 600 км, и почти на порядок превышает общую длину наиболее протяженной в России пещеры Большая Орешная в Саянах (около 60 км). Метротоннели бывают трех типов – круглого сечения (5,6 м), бетонные прямоугольные (мелкое заложение) и совмещенные двухпутные (мелкое заложение). Из 200 станций более 170 – подземные, и более 70 – глубокого заложения. Длина станций обычно 150–165 м, ширина различная, от 40 до более чем 100 м (станция «Деловой центр»). Кроме перегонов и станций, в систему метро входят переходы, эскалаторные наклоны и шахтные стволы. Это те пространства, посредством которых происходит сообщение метрополитена с поверхностью. Также почти у каждой подземной станции расположен блок служебных помещений и электроподстанция.

В метро нередки аварии, связанные с протечками. Одна из самых крупных аварий произошла в августе 1990 г., когда подземные воды прорвались в тоннель метро на перегоне между станциями «Пе-

рово» и «Шоссе Энтузиастов». Известны деформации обделки на служебной линии между электродепо «Красная Пресня» и станцией «Белорусская». 8 июля 2013 г. в ходе строительства перегонный тоннель «Выхино» – «Лермонтовский проспект» был существенно разрушен подземным плынуном на участке около 80 м, образовался крупный провал.

По разным оценкам (информация по различным интернет-источникам), в Москве есть от 20 до 50 глубинных противоатомных бункеров. Это глубокие (до 150 м) сооружения из одного или нескольких цилиндрических блоков. Сооружения гражданской обороны не «метрополитеновского» типа представляют собой бомбоубежища поддомные, дворовые, районные. В открытых документах содержатся сведения примерно о 250 подобных объектах в Москве. Поддомные находятся внутри переуглубленного (до 10–15 м) фундамента дома и имеют утолщенные (до 1 м) стены и перекрытия. Дворовые расположены, соответственно, под двором и рассчитаны на жителей окружающих домов, имеют характерные запасные выходы в виде оголовков вентиляционных шахт. Устройство то же, только они выходят за рамки фундаментов. Районные – рассчитаны на большее количество мест (от 300 до 2000 чел.) и располагаются под парками, пустырями, гаражными кооперативами. Представляют собой обычно одноэтажное колонное сооружение со сверхпрочными перекрытиями. Основное назначение бомбоубежищ – защита гражданского населения от авиационных бомб и зараженного воздуха, в связи с чем они оборудованы герметичными дверями и фильтро-вентиляционными установками (ФВУ). Рассчитаны на проживание в них в течение 2–7 дней, в отличие от объектов метрополитена, рассчитанных на трехмесячное проживание. Самое большое защитное сооружение в Москве находится среди промышленных зданий недалеко от станции метро «Аэропорт». Площадь подвала под одним из строений на Ленинградском проспекте – более 3,3 тыс. м² [Городские бомбоубежища ..., URL: <http://www.aif.ru/realty/city/38698>].

Пешеходные переходы приурочены к наиболее широким улицам и проспектам с интенсивным автомобильным движением, к железнодорожным участкам. Обычно это – «короб» высотой 3 и шириной 3–7 м. Глубина заложения редко превышает 5 м.

Несомненно, можно сказать, что помимо известной нам «надземной» Москвы существует и еще одна Москва – подземная, поражающая своими масштабами не менее первой. То же касается и антропогенного рельефа – подземный «рельеф» мало уступает своими размерами и сложностью рельефу поверхностному.

Особым, природно-антропогенным, комплексом субрельефа является *подземный флювиальный* (или, точнее, *антропогенно-флювиальный*) комплекс. Это те неровности подземной поверхности, которые созданы подземными реками. В Москве в подавляющем большинстве случаев это – реки, заключенные в коллекторы (как известно, естествен-

ные подземные водотоки встречаются в карстовых пещерах). На схеме исходной гидрографической сети города, составленной Ю.А. Насимовичем [Насимович, 1996; Москва: геология и город, 1997], показано более 800 водотоков. Из них с поверхности исчезли (полностью засыпаны или заключены в подземные коллекторы) примерно 465 водотоков, а сохранились полностью или частично 355 водотоков. Среди 355 учтенных на схеме сохранившихся водотоков около 70 – реки, около 80 – приточные родники с короткими ручьями, около 205 – учтенные временные водотоки, то есть весенние ручьи в балках, лощинах и ложбинах.

Водотоки, текущие в коллекторах, совершают во многом ту же работу, что и в природном русле, – накапливают наносы, размывают свое русло (коллектор). Однако в отличие от природного русла, коллектор – это русло, ограниченное со всех сторон стенками, поэтому в подземных реках существует и значительная специфика. Одно из особых явлений – напорное течение, которое в природных водотоках почти не встречается. Подобное явление часто возникает при ливнях и носит разрушающий характер, вплоть до выбивания люков снизу. Характерный пример подобного явления – река Филька, текущая в ЗАО г. Москвы. В среднем течении диаметр коллектора превышает 3 м, однако в нижнем течении сужается до трубы 1,8 м, причем сильнозасоренной. Во время сильных ливней вода под напором устремлялась в эту более узкую трубу и выбивала люки. В итоге, как показал осмотр в 2010 г., на протяжении километра (на участке от станции метро «Пионерская» до станции метро «Филевский парк») более 2/3 люков и колодцев были разрушены. Вторая сторона подобных паводков – перенос наиболее крупных обломков и мусора в коллекторе, поскольку меженный поток обычно не способен переносить частицы крупнее гравия. Наиболее мелкие наносы в подземных реках – пелитовые, алевритовые и песчаные – попадают в коллектор преимущественно с поверхности через дождеприемники либо с грунтовыми водами, просачивающимися сквозь щели коллектора. Более крупный материал – обломки кирпичной кладки, бетонные блоки, люки, дренажные решетки, палки, мусорные урны и проч. поставляются в большинстве случаев людьми при ремонте или прокладке коллектора, реже привносятся потоком с поверхности, если река течет частично в открытом русле. Самые крупные предметы, встреченные в коллекторах, – кузова машин, доски, телеги и др. Каким образом попадали в коллектор они – неизвестно.

Как и в естественных руслах, основной перенос донных наносов (в данном случае – «техноаллювия») часто происходит посредством перемещения донных гряд, которые ориентированы перпендикулярно течению. Они встречаются везде, где течение в коллекторе относительно медленное и имеется достаточное количество наносов для формирования гряд. При существенных уклонах (обычно наклон в диапазоне от 2° до 4°) скорость водото-

ка возрастает до 2–5 м/с, и отложения наносов не происходит. Поток размывает днище русла (коллектора). Подобное явление привело, в частности, к разрушению кирпичного дна р. Неглинной (коллектор постройки начала XX века) и последующему провалу части коллектора (рис. 1).

Значительная часть материала в коллекторе (по объему) – обломки валунного состава (от 100 мм в поперечнике и более). Они формируют чаще всего запруды в коллекторе. Потоком влекутся только при напорном движении воды во время ливней. На внутренней стороне поворотного участка коллектора



Рис. 1. Участок коллектора р. Неглинной с размытым дном. Фото В.А. Неходцева

Fig. 1. Fragment of the Neglinnaya River sewer with eroded bottom. Photo by V.A. Nekhodtsev

Если участок разгона потока заканчивается уступом или попадает на стык двух частей коллектора (ослабленная зона), то происходит образование эвормионного котла, глубина которого может достигать 1 м (рис. 2). Обычно во избежание подобных образований в местах перепадов высот коллектора более 30–50 см сооружается глубокая камера-бассейн. Таким образом, падающая с уступа вода не размывает 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 резком уменьшении скорости. Поскольку транспортирующая сила потока резко падает, происходит накопление аллювия. Обычно кровля этих осадков располагается 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 и сероводорода с характерными запахами. Аналогичные отложения встречаются и в местах перегораживания водотока крупными обломками или перегородками, поскольку скорость течения также падает.

могут образовываться отмели и побочни, поскольку на внешней скорости течения выше и идет более активный размыв.

Намного чаще в русле подземной реки формируются аккумулятивные формы из наносов гравийно-песчаного и более мелкого состава, поскольку легко транспортируются водотоком в «меженный» период и во время «паводков». Аккумулятивные формы – отмели и побочни – в соответствии с физическими законами формируются в местах падения энергии потока (гидравлический прыжок). К таким местам можно отнести запруды из более крупных обломков, места впадения в реку мелких притоков (в инженерной терминологии – «подключек»), реже – при слиянии сопоставимых по размеру водотоков. В устьях «подключек» нередко образуются эвормионные котлы, ооконтуренные аллювиальным валом; крутые склоны этого вала обращены к центру котла, глубина которого определяется параметрами притока и количеством наносов в принимающей реке. Так, в Калитниковском ручье находится весьма глубокий котел – глубиной 1,1 м и диаметром около 1 м. Отмели формируются и перед запрудами из крупных обломков, но только в том случае, когда уровень потока в реке часто, но не



Рис. 2. Образование эвронзионного котла на стыке двух участков коллектора ручья Поклонной горы. Фото В.А. Неходцева

Fig. 2. Formation of a kettle hole at the junction of two segments of the Poklonnaya Hill Stream sewer. Photo by V.A. Nekhodtsev

значительно (на 10–15 см) повышается без заметного увеличения скоростей, затопливая отмель и аккумулируя наносы. Вертикальный рост побочня осуществляется за счет отложения наносов при паводочном повышении уровня в реке, но без возрастания скорости потока до критического значения (когда аккумуляция сменяется размывом). Обычно при обилии наносов русло подземного водотока меандрирует, перемывая ранее отложенные наносы. Чрезвычайно динамичное развитие русловых процессов наблюдалось в коллекторе в верховье Калитниковского ручья (кирпичная труба диаметром 2,3 м), где на протяжении более чем 10 лет перегородка высотой 1,6 м «принимала на себя» наносы с площади около 1 км². По приблизительной оценке, было накоплено порядка 800–900 м³ смытого с улиц материала, то есть около 70–80 м³/год с 1 км² (!) (однако экстраполировать эту цифру на ливнесточную сеть в целом по городу сложно). Сформировалась толща аллювия разных фракций мощностью около

1,3 м. В январе 2011 г. перегородка была разрушена. Вскоре здесь образовался уступ высотой несколько десятков сантиметров, на котором скорость потока и, соответственно, его транспортирующая способность резко возрастают, что приводит, во-первых, к регрессивному отступанию уступа и, во-вторых, – к врезанию русла потока. Начали активно формироваться побочни и отмели-останцы, сформированные не в результате аккумуляции, а в результате избирательной денудации – аналог шиверов. Через 3 дня в русле уже фиксировались полноценные «острова» и «староречья». Скорость врезания русла составила около 15 см в месяц. Само новое русло меандрирует и прослеживается вверх по реке на расстояние более 400 м (Неходцев, 2012). К середине 2014 г. никаких следов этого «сюжета» не осталось на месте прежней перегородки, однако шлейф перемытых наносов прослеживался на 500–600 м вниз по течению!

Как и в наземных руслах, образовавшиеся аккумулятивные формы в коллекторе в значительной мере влияют на общий режим реки. Так, в реке Коломенке при разделении одной трехметровой трубы на три такие же сформировавшийся побочень направляет весь поток в одну из труб, вследствие чего другая труба представляет собой изредка затопляемое болото, выделяющее метан, а третья труба – сухая и затопливается только в паводок (рис. 3).

В подземных реках встречаются и весьма своеобразные био-флювиальные формы. Они образуются корнями деревьев, прорастающими сквозь щели или подключки в основной коллектор. Обычно один толстый корень, проросший в коллектор, начинает ветвиться, создавая нечто вроде «подушки», опущенной в воду, и на ней аккумулируются влекомые наносы. Встречаются такие формы, в основном, под парками, бульварами, скверами и дворами, где есть деревья. Крупный такой «побочень» был встречен в среднем течении реки Неглинной (около Самотечной площади) и достигал 2 м в поперечнике, перекрывая собой половину коллектора, однако он был ликвидирован в 2011 г. Много био-флювиальных побочней в Останкинском ручье из-за большого количества щелей в стенках коллектора. Там их насчитывается несколько десятков, а самая большая группа состоит из семи побочней, между которыми меандрирует русло. Эти формы несколько меньше, чем в Неглинной, и не превышают 1 м в поперечнике.

Как указывалось выше, характерным процессом в коллекторах является активный аккумулятив-

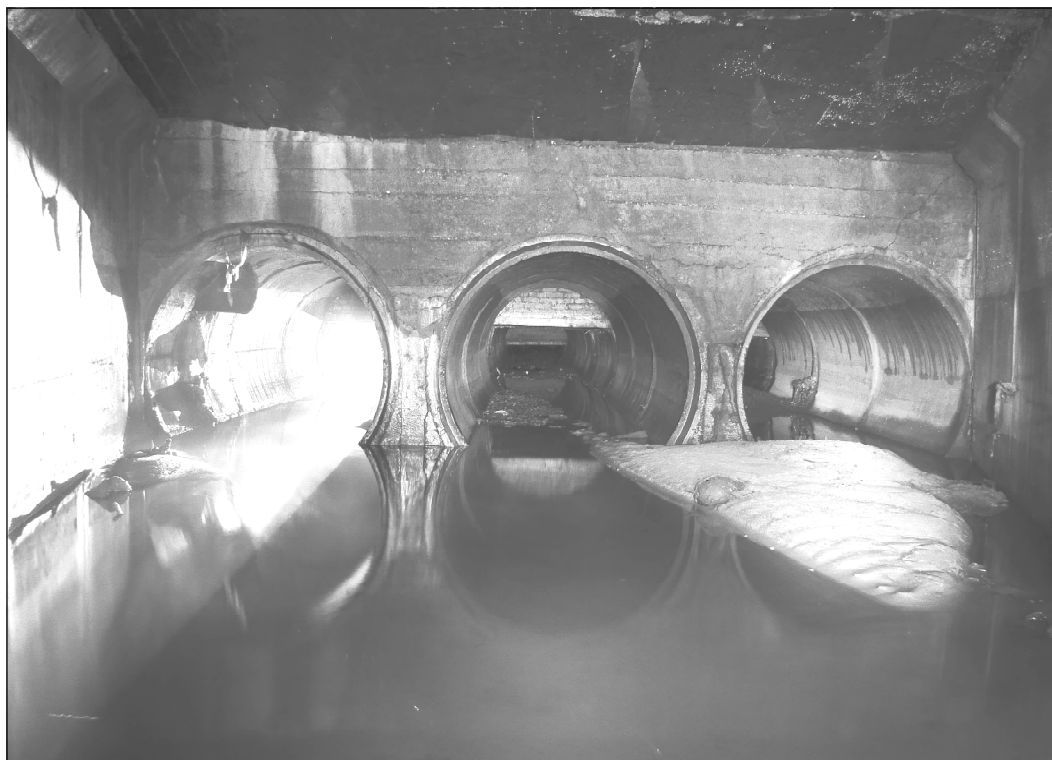


Рис. 3. Побочень в реке Коломенке. Фото В.А. Неходцева

Fig. 3. Point-bar in the Kolomenka River. Photo by V.A. Nekhodtsev

ный карст. Не менее эффектными являются и ледниковые наросты – наледи, образующиеся вблизи порталов (выходов подземных рек на поверхность). Формируются зимой при резко отрицательных температурах в местах, где грунтовые воды просачиваются в коллектор, в котором есть воздушная тяга. Поскольку воздух зимой в коллекторах теплее (и легче), чем на улице, то он выдувается через ливнесточки в верховьях, а в низовьях сюда поступает холодный уличный. Поэтому обильные наледи встречаются при уличной температуре ниже $-10... -15^{\circ}\text{C}$ и в пределах 100–150 м вверх по течению от порталов. Такие наледи могут перекрывать коллектор полностью, и вода тогда протекает подо льдом.

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, не свойственные «надземным» рекам.

Из изложенного очевидны те **экологические проблемы**, которые сопутствуют функционированию заключенных в коллекторы рек и речек (нередко – и иных подземных полостей). Наиболее острая из них – накопление в коллекторах больших объемов мусора, что приводит к чрезмерному загрязнению подземных вод, участвующих в питании наземных водотоков (как отмечалось выше – около 20% стока реки Москва), выделениям метана и сероводорода в мощных накоплениях (с опасностью взрывов и пожаров), распространению ряда инфекций. Эрозия и выветривание со временем (а иногда – через короткие периоды) разрушают оболочку кол-

лектора, и это может приводить к суффозионным эффектам и, соответственно, поверхностным провалам. Описанные выше напорные явления в подземных руслах могут приводить к взрывоподобным выбросам воды и техноаллювия с частичным разрушением коллекторных и ливневых дренажных систем (Болысов, Неходцев, 2016).

Следует отметить, что проблемы, связанные с подземными полостями, неизбежно возникнут и при освоении обширных площадей Новой Москвы, где также довольно широко распространены природные карстовые и суффозионные (или карстово-суффозионные) образования [Аникина с соавт., 2013; Лихачева, Шварев, 2013] и встречаются антропогенные (преимущественно уже заброшенные) формы [Долотов, Парфенов, 2013].

Потенциал использования геоморфологических подходов к изучению подземных полостей практически не реализован. В особенности это касается процессов морфодинамики в подземельях. Изучение спектра, особенностей и интенсивности протекания таких процессов под плотно освоенными участками городских территорий приобретает особую актуальность, и в первую очередь – именно в связи с экологическими аспектами. Совершенно очевидно, что все возрастающие объемы подземных полостей (в разных геологических условиях) вкупе с возрастающими наземными нагрузками пропорционально увеличивают опасность возможных просадок, провалов или, по крайней мере, деформаций в подземных и наземных объектах. Под угрозой оказываются сотни и тысячи обитателей и гостей столицы (как и иных крупных городов). Как отмеча-

лось, катастрофическими бывают и технические аварии в подземных коммуникациях – прорывы водопроводов могут инициировать мощные суффозионные просадки и затопления подземных помещений (как неоднократно уже бывало в Москве), прямую опасность несут повреждения электрических кабелей и т. д. Соответственно, детальные и направленные исследования городского субрельефа (включая мониторинг подземных форм) становятся необходимыми для профилактики этих геоморфологических опасностей, и эта работа – «в начале пути».

Выводы:

- масштабы подземного «рельефа» Москвы (как и большинства крупных городов) чрезвычайно велики. В Москве более или менее крупные подземные полости располагаются на глубинах от первых до, по крайней мере, 180–200 метров. Безусловно, основной объем их имеет антропогенное происхождение. Общая длина метротоннелей уже составляет около 350 км и в ближайшее пятилетие превысит 450 км. Общая протяженность подземной канализации – около 7000 км, коллекторов коммуникаций – тоже первые тысячи км. Порядка 200 водотоков заключены (полностью или частично) в подземные коллекторы, их суммарная длина – почти 1000 км. По приблизительной оценке общий объем подземных полостей под Москвой составляет порядка 0,5–0,6 км³! По существу речь идет о второй – подземной – Москве, мало уступающей по масштабам Москве надземной;

- помимо доминирующих антропогенных подземных полостей, в Москве распространены формы карстового, суффозионного, биогенного происхождения;

- особый феномен представляют собой заключенные в подземные коллекторы реки. В их функционировании сочетаются общие для водотоков механизмы (меандрирование, формирование побочной и островов, эвразийских котлов, а также своеобразных стариц и микротеррасок) и весьма специфические по сравнению с надземными реками осо-

бенности (перенос сверхкрупных частиц, особые эффекты гидравлических ударов в пределах изолированного коллектора-русла – взрывоподобные выбросы воды при паводках);

- с подземными полостями на городской территории связан целый комплекс экологических (в первую очередь – эколого-геоморфологических) проблем. Высока опасность провалов и просадок над карстовыми, суффозионными, антропогенными полостями, затопления подземными водами функционирующих тоннелей и помещений (нередко эта опасность уже реализовывалась на территории Москвы). Заключенные в коллекторы реки и ливневые стоки зачастую провоцируют засорение и загрязнение надземных водотоков, а замусоривание коллекторов может приводить к скоплению и взрывам горючих газов. Деформации в полостях могут провоцировать нарушения подземных коммуникаций, замыкания в электросетях и т. п. Подземные коллекторы рек и соседствующих с ними коммуникаций могут разрушаться и при упомянутых выше импульсивных выбросах вод. В свете сказанного крупные города (и конкретно Москва) нуждаются в регулярном мониторинге состояния подземных полостей и заключенных в коллекторы водотоков;

- до последнего времени существовало терминологическое несоответствие между определением рельефа земной поверхности как объекта геоморфологической науки и реально вовлеченными в сферу геоморфологических исследований подземными полостями. Строго говоря, их поверхность не является рельефом (рельеф – совокупность неровностей твердой земной ПОВЕРХНОСТИ), будучи расположенной ПОД поверхностью. В этой связи авторами предлагается и используется для «рельефа» подземных полостей термин «субрельеф» (буквально – «ПОД рельефом» и «почти рельеф»), что, на наш взгляд, устраняет указанное несоответствие. Термин «субтерральные» предлагается использовать не только для подземных (накопившихся ПОД землей) отложений, но и для подземных форм субрельефа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аникина Н.В., Шварев С.В., Неходцев В.А., Самойлова Е.А. Оценка природно-антропогенных геолого-геоморфологических условий Новой Москвы // Геоэкологические проблемы Новой Москвы. М.: Медиа-Пресс, 2013. С. 88–93.

Болысов С.И. Биогенное рельефообразование на суше. Том 2. Зональность. М.: ГЕОС, 2007. 466 с.

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: Техноград, 2011. С. 151–156.

Болысов С.И., Неходцев В.А. Субрельеф и субтерральные процессы как фактор эколого-геоморфологической опасности в городах // Вестник РГУ им. С.А. Есенина. 2016. № 1(50). С. 87–105.

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». М.: Макс-ПРЕСС, 2015. С. 42–47.

Геоэкология Москвы: методология и методы оценки состояния городской среды / Под ред. Г.Л. Коффа, Э.А. Лихачевой, Д.А. Тимофеева. М.: Медиа-ПРЕСС, 2006. 199 с.

Городские бомбоубежища: где в Москве можно спрятаться от конца света. 2012. URL: <http://www.aif.ru/realty/city/38698> (дата обращения: 08.08.2016).

Даньшин Б.М. Геологическое строение и полезные ископаемые Москвы и окрестностей. М.: Изд-во МОИП, 1947. 305 с.

- Даньшин Б.М. Геологическое строение Москвы и ее окрестностей // Геология в реконструкции г. Москвы. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. С. 19–66.
- Даньшин Б.М. Геологическое строение Московской области // Тр. ВИМСа и МГТ. М.-Л.: ОНТИ, 1936. Вып. 105(18). С. 58 с.
- Долотов Ю.А., Парфенов А.А. Подземные горные разработки на территории Новой Москвы // Геоэкологические проблемы Новой Москвы. М.: Медиа-Пресс, 2013. С. 94–107.
- Долотов Ю.А., Сохин М.Ю. Проблемы спелеологии // Пещеры. 2001. № 27–28. С. 83–96.
- Желеховский С., Фатхуценко М.В. Подземные камеломни Парижа: разрушение или защита? // Спелеология и спелеология: развитие и взаимодействие наук. Сб. мат-лов междунар. научно-практ. конф. Набережные Челны: НГПИ, 2010. С. 202–204.
- Иксанова Е.А. Вклад докайнозойского карбонатного карста в развитие современных просадочных процессов в г. Москве. Дис. ... канд. геогр. н. М., 2005. 155 с.
- Канализационная сеть. 2016. URL: <http://www.mosvodokanal.ru/index.php?do=cat&category=canset> (дата обращения: 08.08.2016).
- Коротав В.П. Использование подземного пространства в Москве // Архитектура и строительство Москвы. 2009. № 1(543). С. 39–44.
- Коротав В.П. Москва: градостроительный потенциал подземного пространства // GRADO. Журнал о градостроительстве и архитектуре. 2011. № 2. С. 70–81.
- Котлов Ф.В. Изменение природных условий территории Москвы под влиянием деятельности человека и их инженерно-геологическое значение. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 263 с.
- Котлов Ф.В. Изменения геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 264 с.
- Кофф Г.Л., Петренко С.И., Лихачева Э.А., Котлов В.Ф. Очерки по геоэкологии и инженерной геологии Московского столичного региона. М.: РЭФИА, 1997. 174 с.
- Лихачева Э.А. О семи холмах Москвы. М.: Наука, 1990. 141 с.
- Лихачева Э.А., Бахирева Л.В., Станковянски М., Урбанек Я. Оценка городской морфолитосистемы (на примере Москвы и Братиславы) // Геоморфология. 1991. № 1. С. 30–42.
- Лихачева Э.А., Локишин Г.П., Просунцова Н.С., Тимофеев Д.А. Эколого-геоморфологическая оценка территории г. Москвы // Геоморфология. 2000. № 1. С. 48–55.
- Лихачева Э.А., Маккавеев А.Н., Курбатова Л.С. Древние и современные процессы в долине реки Неглинной // Геоморфология. 2001. № 4. С. 58–66.
- Лихачева Э.А., Маккавеев А.Н., Локишин Г.П., Некрасова Л.А. Анализ устойчивости и динамичности рельефа города Москва // Геоморфология. 2006. № 4. С. 32–38.
- Лихачева Э.А., Маккавеев А.Н., Тимофеев Д.А., Бронгулеев В.Вад., Козлова А.Е., Курбатова Л.С., Некрасова Л.А., Горещкий К.В., Локишин Г.П. Геоморфология Москвы по материалам карты «Геоморфологические условия и инженерно-геологические процессы г. Москвы» // Геоморфология. 1998. № 3. С. 41–51.
- Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А., Локишин Г.П., Просунцова Н.С. Эколого-геоморфологические критерии оценки городской территории // Геоморфология. 1999. № 3. С. 18–26.
- Лихачева Э.А., Чеснокова И.В., Курбатова Л.С., Локишин Г.П. Исторический анализ геоморфологических условий урбанизации центральной части Восточно-Европейской равнины // Геоморфология. 1995. № 3. С. 32–39.
- Лихачева Э.А., Шварев С.В. Геоморфологические проблемы освоения территории Новой Москвы // Геоэкологические проблемы Новой Москвы. М.: Медиа-Пресс, 2013. С. 83–87.
- Медоваров Е.В. Деятельность Нижегородской губернской ученой архивной комиссии по изысканию подземных сооружений Нижегородского Кремля в начале XX века // Спелеология и спелеология. Сборник материалов III международной научной заочной конференции. Наб. Челны: НИСПТР, 2012. С. 286–288.
- Москва: геология и город / Под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. М.: Московские учебники и картолитогрфия, 1997. 398 с.
- Мукаби Дж.Н., Кимура Й., Котеки С., Нзиги А. Основные инженерно-геологические проблемы развития подземного пространства в г. Найроби // Международный журнал «Гео-техника». 2012. № 4. С. 50–59.
- Насимович Ю.А. Аннотированный список названий рек, ручьев и оврагов Москвы. М.: ВНИИ охраны природы Мин-природы РФ, 1996. 114 с.
- Неходцев В.А. Эрозионно-русловые процессы и субрельеф подземных (коллекторных) водотоков // Спелеология и спелеология. Сборник материалов III международной научной заочной конференции. Наб. Челны: НИСПТР, 2012. С. 231–236.
- Николаев Н.И. Об эволюционном развитии карстовых форм и значении структурно-тектонического фактора // Сов. геология. 1946. № 10. С. 46–57.
- О московском метрополитене. 2016. URL: <http://mosmetro.ru/about/> (дата обращения: 08.08.2016).
- Сатарова Д. Трудности подземного роста: интервью президента АСУС профессора Рэймонда Стерлинга // GRADO. Журнал о градостроительстве и архитектуре. 2011. № 2. 34 с.
- Сафина Г.Ф., Федорова В.А. Искусственные подземные сооружения городов // Спелеология и спелеология. Сборник материалов III международной научной заочной конференции. Наб. Челны: НИСПТР, 2012. С. 276–280.
- Симонов Ю.Г., Кружалин В.И. Инженерная геоморфология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 208 с.
- Симонова Т.Ю. Эколого-геоморфологические исследования городских территорий // Экологическая геоморфология. Новые направления. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2015. С. 46–59.
- Федеральный закон от 30.12.2015 № 441-ФЗ «О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации статьи 150 и 151 Уголовно-процессуального кодекса Российской Федерации» // СПС Консультант Плюс.
- Хоменко В.П., Калашников М.А., Потапов И.А. Карстовые и суффозионные провалы в г. Москве: особенности инженерно-геологических изысканий и прогнозирования // Вестник МГСУ. 2010. № 4. С. 158–162.
- Человек, общество, рельеф. Основы социально-экономической геоморфологии / Под ред. В.И. Кружалина, Ю.Г. Симонова, Т.Ю. Симоновой. М.: Диалог культур, 2004. 120 с.
- Щуровский Г.Е. История геологии Московского бассейна. М.: ОЛЕ, 1866, 1867. Т. 1, 2. 172, 144 с.

Поступила в редакцию 08.09.2016
Принята к публикации 09.12.2016

S.I. Bolysov¹, V.A. Nekhodtsev²,
S.V. Kharchenko³

UNDERGROUD LANDFORMS OF MOSCOW

The «relief» of natural and anthropogenic caves and cavities under the Moscow city territory is described basing on field observations and literary sources. The description of morphology, genesis and recent dynamics of the underground surfaces is also given. Special attention is paid to a poorly studied issue – the functioning of sewer streams. Volumes of Moscow caves and cavities are estimated, environmental aspects of underground landforms dynamics are also reviewed. A special term «subrelief» (meaning »UNDER landforms» and «NEARLY landforms») is introduced for describing surfaces of underground caves and cavities. It could be explained by the concept of «relief» which is regarded in the Russian geomorphologic science as a system of landforms on the Earth's surface (in contrast to «subrelief»).

Key words: subrelief, Moscow area, underground landforms, caves, cavities, underground geomorphic processes.

REFERENCES

- Anikina N.V., Shvarev S.V., Nekhodtsev V.A., Samojlova E.A. Ocenka prirodno-antropogennykh geologo-geomorfologicheskikh uslovij Novoj Moskvy [Assessment of natural and anthropogenic geological and geomorphologic features of New Moscow area] // *Geoekologicheskie problemy Novoj Moskvy*. M.: Media-Press, 2013. P. 88–93 (in Russian).
- Bolysov S.I. Biogennoe rel'efoobrazovanie na sushe. Tom 2. Zonal'nost' [Terrestrial biogenic relief formation. V. 2. Zonality] // *GEOS*. M., 2007. 466 p. (in Russian).
- Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A. Pogrebyonnyj i podzemnyj rel'ef g. Moskva [Buried and underground landforms of Moscow], *Teoreticheskie problemy sovremennoj geomorfologii. Teorija i praktika izuchenija geomorfologicheskikh sistem: materialy XXXI Plenum geomorfologicheskoy komissii RAN*. Tehnograd, Astrahan', 2011. P. 151–156 (in Russian).
- Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A. Subrel'ef i subterrall'nye processy kak faktor jekologo-geomorfologicheskoy opasnosti v gorodah [Subrelief and underground processes as factors of geomorphologic hazards within urban areas] // *Vestnik RGU imeni S.A. Esenina*. 2016. № 1(50). P. 87–105 (in Russian).
- Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A., Shishkin V.S. Subrel'ef – «rel'ef» podzemnyh polostej [Subrelief as relief of underground caves], *Geomorfologicheskie resursy i geomorfologicheskaja bezopasnost': ot teorii k praktike: Vserossijskaja konferencija «VII Shhukinskie chtenija»*. Maks-PRESS. M., 2015. P. 42–47 (in Russian).
- Chelovek, obshchestvo, rel'ef. Osnovy social'no-jekonomicheskoy geomorfologii [Man, society, landforms. Basics of socio-economic geomorphology] / Pod red. V.I. Kruzhalina Ju.G. Simonova, T.Ju. Simonovoy. M.: Dialog kul'tur. 2004. 120 p. (in Russian).
- Dan'shin B.M. Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Moskvy i okrestnostej [Geology and mineral resources of Moscow and its neighborhood]. M.: Izd-vo MOIP, 1947. 305 p. (in Russian).
- Dan'shin B.M. Geologicheskoe stroenie Moskovskoj oblasti [Geology of the Moscow oblast] // *Tr. VIMSa i MGT*. 1936. Vyp. 105(18), ONTI, Moscow-Leningrad. 58 p. (in Russian).
- Dan'shin B.M. Geologicheskoe stroenie Moskvy i ee okrestnostej [Geology of Moscow and its neighborhood]. *Geologija v rekonstrukcii g. Moskvy*. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1938. P. 19–66 (in Russian).
- Dolotov Yu.A., Parfenov A.A. Podzemnye gornye vyrabotki na territorii Novoj Moskvy [Underground mining developments within the New Moscow area] // *Geoekologicheskie problemy Novoj Moskvy*. M.: Media-Press, 2013. P. 94–107 (in Russian).
- Dolotov Yu.A., Sohin M.Ju. Problemy speleologii [Problems of speleology] // *Peshhery*. 2001. № 27–28. P. 83–96 (in Russian).
- Federal'nyj zakon ot 30.12.2015 № 441-FZ «O vnesenii izmenenij v Uголовnyj kodeks Rossijskoj Federacii stat'i 150 i 151 Uголовno-procussual'nogo kodeksa Rossijskoj Federacii» [Federal Act no. 441 of 12.30.2015 «About changes in the Criminal Code of RF, articles no. 150 and 151 of the Code of Criminal Procedure RF»] // *SPS Konsul'tantPljus* (in Russian).
- Geoekologiya Moskvy: metodologiya i metody ocenki sostojaniya gorodskoj sredy [Environmental geography of Moscow: methodology and the methods of assessment of the state of urban environment]. M.: Media-PRESS, 2006. 199 p. (in Russian).
- Gorodskie bomboubezhishha: gde v Moskve mozžno spryatat'sya ot konca sveta [Urban bombshelters. Where to shelter in Moscow from the end of the world?]. 2012. URL: <http://www.aif.ru/realty/city/38698> (08.08.2016).
- Homenko V.P., Kalashnikov M.A., Potapov I.A. Karstovye i suffuzionnye provaly v g. Moskve: osobennosti inzhenerno-geologicheskikh izyskanij i prognozirovaniya [Karst and suffusion failures in Moscow: specific features of engineering-geological surveys and forecasting] // *Vestnik MGSU*. 2010. № 4. P. 158–162 (in Russian).
- Iksanova E.A. Vklad dokajnozojskogo karbonatnogo karsta v razvitie sovremennykh prosadochnykh processov v g. Moskve [Influence of under-cenozoic carbonate karst on the development of modern subsidence processes in Moscow]. *Dis. ... kand. Geogr. n. M.*, 2005. 155 p. (in Russian).
- Kanalizacionnaja set' [Sewer network]. 2016. URL: <http://www.mosvodokanal.ru/index.php?do=cat&category=canset> (08.08.2016).
- Koff G.L., Petrenko S.I., Likhacheva E.A., Kotlov V.F. Ocherki po geoekologii i inzhenernoj geologii Moskovskogo stolichnogo regiona [Essays on geoecology and engineering geology of the Moscow metropolitan region] // *RJeFIA*. M., 1997. 174 p. (in Russian).
- Korotaev V.P. Ispol'zovanie podzemnogo prostranstva v Moskve [Use of the underground space in Moscow] // *Arhitektura i stroitel'stvo Moskvy*. 2009. № 1(543). P. 39–44 (in Russian).
- Korotaev V.P. Moskva: gradostroitel'nyj potencial podzemnogo prostranstva [Moscow: urban development potential

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Palaeogeography, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: sibol1954@bk.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Palaeogeography, postgraduate student; e-mail: baban.n@mail.ru

³ Kazan (Volga Region) Federal University, Institute of Environmental Sciences, Department of Landscape Ecology, Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: xar4enkoff@rambler.ru

of underground space] // GRADO. Zhurnal o gradostroitel'stve i arhitekture. 2011. № 2. P. 70–81 (in Russian).

Kotlov F.V. Izmenenie prirodnykh usloviy territorii Moskvy pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka i ikh inzhenerno-geologicheskoe znachenie [Changes of natural conditions of Moscow area under anthropogenic influence and its engineering significance]. M.: Izd-vo AN SSSR, 1962. 263 p. (in Russian).

Kotlov F.V. Izmeneniya geologicheskoy sredy pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka [Changes of geological environment under human activities]. M.: Nedra, 1978. 264 p. (in Russian).

Likhacheva E.A. O semi kholmakh Moskvy [About the seven hills of Moscow]. M.: Nauka, 1990. 141 p. (in Russian).

Likhacheva E.A., Bakhireva L.V., Stankovjanski M., Urbanek Ja. Ocenka gorodskoj morfologicheskoy sredy (na primere Moskvy i Bratislavy) [Assessment of urban morpholithosystems (with special reference to Moscow and Bratislava)] // Geomorfologiya. 1991. № 1. P. 30–42 (in Russian).

Likhacheva E.A., Chesnokova I.V., Kurbatova L.S., Lokshin G.P. Istoricheskij analiz geomorfologicheskikh usloviy urbanizatsii central'noy chasti Vostochno-Evropejskoy ravniny [Historical analysis of geomorphic control over urbanization in the central East European Plain] // Geomorfologiya. 1995. № 3. P. 32–39 (in Russian).

Likhacheva E.A., Lokshin G.P., Prosuncova N.S., Timofeev D.A. Ekologo-geomorfologicheskaya ocenka territorii g. Moskvy [Ecological-geomorphologic assessment of the Moscow territory] // Geomorfologiya. 2000. № 1. P. 48–55 (in Russian).

Likhacheva E.A., Makkaveev A.N., Kurbatova L.S. Drevnie i sovremennyye processy v doline reki Neglinnoj [Ancient and recent processes in the Neglinnaya River valley] // Geomorfologiya. 2001. № 4. P. 58–66 (in Russian).

Likhacheva E.A., Makkaveev A.N., Lokshin G.P., Nekrasova L.A. Analiz ustojchivosti i dinamichnosti rel'efa goroda Moskva [The analysis of stability and dynamism of the Moscow territory relief] // Geomorfologiya. 2006. № 4. P. 32–38 (in Russian).

Likhacheva E.A., Makkaveev A.N., Timofeev D.A., Bronguleev V.V., Kozlova A.E., Kurbatova L.S., Nekrasova L.A., Goreckij K.V., Lokshin G.P. Geomorfologiya Moskvy po materialam karty «Geomorfologicheskie usloviya i inzhenerno-geologicheskie processy g. Moskvy» [Geomorphology of Moscow according to the map «Geomorphologic conditions and geological-engineering processes in Moscow»] // Geomorfologiya. 1998. № 3. P. 41–51 (in Russian).

Likhacheva E.A., Shvarev S.V. Geomorfologicheskie problemy osvoeniya territorii Novoy Moskvy [Geomorphological problems of New Moscow territory development] // Geokologicheskie problemy Novoy Moskvy. M.: Media-Press, 2013. P. 83–87 (in Russian).

Likhacheva E.A., Timofeev D.A., Lokshin G.P., Prosuncova N.S. Ekologo-geomorfologicheskie kriterii ocenki gorodskoj territorii [Ecogeomorphological criteria for an urban territory evaluation] // Geomorfologiya. 1999. № 3. P. 18–26 (in Russian).

Medovarov E.V. Deyatel'nost' Nizhegorodskoy gubernskoy uchenoy arhivnoy komissii po izyskaniyu podzemnykh sooruzhenij

Nizhegorodskogo Kremlja v nachale XX veka [Activities of provincial scientific archival commission of Nizhny Novgorod on the search of underground buildings of the Nizhny Novgorod Kremlin in the early 20th century] // Speleologiya i speleotologiya. Sbornik materialov III mezhdunarodnoj nauchnoj zaochnoj konferencii. NISPTR, Nab. Chelny, 2012. P. 286–288 (in Russian).

Moskva: geologiya i gorod [Moscow: geology and the city] // Moskovskie uchebniki i kartolitografija. M., 1997. 398 p. (in Russian).

Mukabi Dzh.N., Kimura J., Koteki S., Ngigi A. Osnovnye inzhenerno-geologicheskie problemy razvitiya podzemnogo prostranstva v g. Najrobi [The main geotechnical problems of Nairobi underground development] // Mezhdunarodnyj zhurnal «Geotekhnika». 2012. № 4. P. 50–59 (in Russian).

Nasimovich Yu.A. Annotirovannyj spisok nazvanij rek, ruch'jov i ovragov Moskvy [Annotated list of river, small river and ravine names], VNII ohrany prirody Minprirody RF. M., 1996. 114 p. (in Russian).

Nekhodtsev V.A. Eroзионно-ruslovyye processy i subrel'ef podzemnykh (kollektornykh) vodotokov [The erosion and channel processes and subrelief of the underground water courses] // Speleologiya i speleotologiya. Sbornik materialov III mezhdunarodnoj nauchnoj zaochnoj konferencii. NISPTR, Nab. Chelny, 2012. P. 231–236 (in Russian).

Nikolaev N.I. Ob jevoljucionnom razvitii karstovykh form i znachenii strukturno-tektonicheskogo faktora [On the evolution of karst landforms and the role of structural-tectonic factor] // Sov. Geologiya. 1946. № 10. P. 46–57 (in Russian).

O moskovskom metropolitene [About the Moscow metro]. 2016. URL: <http://mosmetro.ru/about/> (08.08.2016).

Safina G.F., Fedorova V.A. Iskusstvennyye podzemnye sooruzheniya gorodov [The man-made underground urban constructions] // Speleologiya i speleotologiya. Sbornik materialov III mezhdunarodnoj nauchnoj zaochnoj konferencii. NISPTR, Nab. Chelny, 2012. P. 276–280 (in Russian).

Satarova D. Trudnosti podzemnogo rosta: interv'ju prezidenta ACUUS professora Rjejmonda Sterlinga [Problems of underground development: interview of ACUUS president Prof. R. Sterling], GRADO // Zhurnal o gradostroitel'stve i arhitekture. 2011. № 2. 34 p. (in Russian).

Shhurovskij G.E. Istorija geologii Moskovskogo bassejna. [History of geology of the Moscow basin. V. 1, 2]. OLE. M., 1866–1867. T. 1, 2. 172 p., 144 p. (in Russian).

Simonov Ju.G., Kruzhalin V.I. Inzhenernaya geomorfologiya [Engineering Geomorphology]. M.: Izd-vo MGU, 1993. 208 p. (in Russian).

Simonova T.Ju. Ekologo-geomorfologicheskie issledovaniya gorodskih territorij [Ecological-geomorphologic researches of urban areas], Ekologicheskaja geomorfologiya. Novye napravleniya, MGU (Publ.). M., 2015. P. 46–59 (in Russian).

Zhelehovskij S., Fat'jushhenko M.V. Podzemnye kamelomni Parizha: razrushenie ili zashhita? [Underground quarries of Paris: destroying or protecting?]. Speleologiya i speleotologiya: razvitie i vzaimodejstvie nauk. Sb. Mat-ov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konf. NGPI, Naberezhnye Chelny, 2010. P. 202–204 (in Russian).

Received 08.09.2016

Accepted 09.12.2016