

УДК 551.4,574,624.1

ПОСЛЕДСТВИЯ ТЕХНОГЕННОГО ПОГРЕБЕНИЯ РЕК В ГОРОДАХ (НА ПРИМЕРЕ МОСКВЫ)

© 2021 г. В. А. Неходцев*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
Москва, Россия*

**e-mail: baban.n@mail.ru*

Поступила в редакцию 11.01.2020 г.

После доработки 12.12.2020 г.

Принята к публикации 22.12.2020 г.

На основе комплексного анализа предложена схема процессов – последствий антропо-техногенного погребения речных долин в городах. Для территории г. Москвы (в пределах МКАД) показана последовательность изменения компонентов сложившейся природной среды города после засыпки долин. Рассчитано, что с конца XIX в. объем поверхностного стока возрос на 200–280%; в несколько раз увеличился твердый сток с территории (до 60–90 м³/год с 1 км²). В пределах засыпанных долин развиваются просадочные, суффозионные и осадочные процессы. Грунтовый сток перестраивается, он идет по засыпанным долинам, сопровождается суффозионным выносом и общим понижением территории на 2–3 мм/год; интенсифицируются процессы подтопления; на порядок повышается минерализация грунтовых вод, которые становятся агрессивными для подземных коммуникаций. Разрушение коллекторов подземных рек ведет к аварийным провалам земной поверхности. Уничтожение гидросети вызывает ухудшение экологической обстановки: малые реки (включая их подземные части) стали коллекторами загрязняющих веществ. Через несколько лет после засыпки рек из-за изменения грунтового стока в Москве активизировались карстово-суффозионные процессы, приведшие к деформации и/или разрушению десятков зданий.

Ключевые слова: геологическая среда, город, городская геоморфология, карст, опасные процессы, подземная река, погребенный рельеф, сток, экология

DOI: 10.31857/S2587556621020126

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Примерно с конца XIX в. началось активное заключение оврагов и речных долин г. Москвы в подземные коллекторы. К настоящему времени на территории города (внутри МКАД) из имевшихся 130–140 рек и ручьев (не считая мелких оврагов) полностью или частично уцелели около 50 рек, т.е. меньше половины (Москва..., 1997; Насимович, 1996). В крупном городе с плотной застройкой техногенно-погребенные долины с закрытым “стоком” наносят значительный ущерб городскому хозяйству. Для районов, где развиты такие долины, характерна интенсификация геолого-геоморфологических и эколого-геохимических процессов, что связано в первую очередь с увеличением объема грунтовых вод.

В настоящей статье предлагается определенное обобщение результатов работ разного профиля, направленное на систематизацию данных о реальных и потенциальных рисках, связанных с искусственно погребенной эрозионной сетью на городских территориях (для платформенных условий). Результат исследования, на наш взгляд,

может быть использован при мониторинге и прогнозе опасных геопроцессов в пределах технопогребенных долин, а также для оптимизации городского пространства.

ИЗУЧЕННОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Значительное внимание подземным и погребенным формам рельефа в городах уделено в трудах Ф.В. Котлова (1962, 1968). Но геолого-геоморфологические монографии были посвящены преимущественно естественному палеорельефу – погребенным доюрским и дочетвертичным долинам. Искусственно погребенная гидросеть рассматривалась, например, в работах (Кофф и др., 1997; Город..., 1997). Много количественных данных собрано в обобщающей монографии (Москва..., 1997).

Литературные источники, посвященные устройству подземных водонесущих коллекторов, носят технический либо исторический характер; обобщающих работ в этой области срав-

нительно мало (Ивлев, 1954; Кротков, 1896; Насимович, 1996). Вместе с разновозрастными картами такая литература дает информацию о времени антропогенного погребения врезов (что необходимо для оценки скоростей подземных процессов) и о конструктивных особенностях коллекторов. Характеристики загрязнения и сведения о динамике (квази)природных процессов приводятся в ежегодно публикуемых Правительством Москвы докладах [например, (Доклад..., 2015)].

Среди работ по оценке влияния урбанизации на сток необходимо отметить труды (Львович, 1974, 1986; Коронкевич и др., 2017; Коронкевич, Мельник, 2015а, 2015б; Шикломанов, 1989; Ясинский, 2000).

Геоморфологических исследований, специально посвященных “рельефу” подземных полостей и его связи с собственно рельефом, крайне мало, а по некоторым генетическим комплексам до последнего времени практически не было геоморфологических описаний, например, по флювиальному субрельефу в искусственных коллекторах (Болысов, Неходцев, 2016; Болысов и др., 2017). Разработка научной концепции геоморфологического изучения субрельефа (“рельефа” подземных полостей) началась с 2010 г., а сбор информации — с 2007 г. (Болысов, Неходцев, 2020). Автором непосредственно изучено (подземными и наземными обследованиями) порядка 400 км искусственно погребенной московской гидросети, в том числе заключенных в коллекторы рек и ручьев. Отметим также монографию (Геоморфология..., 2017), в которой рассматривается антропогенная трансформация флювиального рельефа и речных бассейнов малых рек Москвы.

В настоящей работе использованы материалы архивных геологических отчетов, полученных в Росгеолфонде, а также информация, содержащаяся в геологическом атласе Москвы (Геологический..., 2010). На камеральном этапе изучался топографический и исторический материал с целью нахождения точных границ засыпанных долин. Этот метод оказался даже более точным, чем анализ данных колонкового бурения, при котором часто не расчлняют техногенные отложения склонов, культурный слой и грунты, которыми была засыпана долина.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Водотоки засыпанных долин и малых эрозионных форм в большинстве случаев заключали в подземные коллекторы (трубы) и включали в дренажно-ливневую систему города. При заключении водотока под землю сначала сооружают кол-

лектор, а затем, после перевода водотока в него, засыпают грунтом долину и коллектор. Параллельно под окрестными улицами сооружается ливнесточная канализация (отвод поверхностного стока), подключаемая к коллектору подземной реки. Важно отметить, что поступление грунтовых вод в коллектор конструкционно обычно не предусмотрено. Полностью подземная река (без сохранившихся наземных участков) представляет собой разветвленную древовидную сеть коллекторов с расширяющимся к устью поперечным сечением. Строго говоря, такое инженерное сооружение не является рекой (как результатом, в значительной степени, разгрузки грунтовых вод), а концентрирует лишь поверхностный сток и некоторые промышленные отходы.

Самые ранние трубы, ныне не сохранившиеся, строились из дерева и частично из кирпича. С 1870–80-х годов начинается активное сооружение речных и ливнесточных коллекторов из кирпича (Геоморфология..., 2017). Почти все кирпичные ливневые сооружения эксплуатируются до сих пор. Самые крупные кирпичные трубы, встреченные автором, достигали 5.5 м в поперечнике. С 1940-х годов технология сооружения подземных коллекторов поменялась — стали использоваться только сборные железобетонные конструкции; набирались одинаковые прямоугольные или круглые секции, а швы между ними замазывались цементом. Современные железобетонные коллекторы могут достигать в поперечнике 5–7 м.

Процесс эволюции погребенных долин как самостоятельных форм флювиального рельефа, следовательно, практически полностью остановлен. Но как геологические образования и инженерная инфраструктура они продолжают активно функционировать в течение десятков и сотен лет, участвуя в комплексе геолого-геоморфологических процессов, в том числе влияющих на современный рельеф и экологическую обстановку.

ОПАСНЫЕ И НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОГРЕБЕННЫХ ДОЛИНАХ

Техногенное погребение водотоков в геологическом масштабе мгновенно и меняет многие компоненты сложившейся городской среды. Засыпка долин приводит к уничтожению дренающего каркаса города, существенно меняет многие морфометрические показатели — уменьшаются густота расчленения и общие уклоны территории, наблюдается тенденция к общей потере энергии рельефа. Все это приводит к *изменению структуры поверхностного стока* на урбанизированных территориях. Система подземных речек и ливнесточков становится новым дренающим каркасом города, по которому осуществляется отведение стока с водонепроницаемых поверхностей. Среднегодовой сток подземных рек и ливнесточков в

плотно застроенных городах сопоставим со стоком рек, протекающих через эти города. Например, в структуре речного стока Москвы-реки (на выходе из города) около 60% составляет вода из Волги, 20% – из ливнесточной сети и только 20% – собственно расход реки (Козлова, 1983). Невозможность фильтрации и накопления атмосферной влаги в почве на значительной части территории приводит к искусственным смещениям расходной части водного баланса в пользу поверхностного стока. Естественное валовое увлажнение территории в среднем для Европы, по оценкам М.И. Львовича (1974, 1986), составляет 71% от всей расходной части водного баланса; остальные 29% приходятся на поверхностный сток. Исходя из приводимых М.И. Львовичем данных, можно ожидать, что в центральных частях крупных городов поверхностный сток увеличен на 170–200% относительно окрестных не урбанизированных территорий.

Общая протяженность водосточной сети Москвы в 2008 г. составляла 6200 км, а ее густота в пределах МКАД – 6.9 км/км². Общий годовой объем поверхностного стока, отводящегося через ливнесточную сеть с городских территорий, регистрируется на уровне 380–410 млн м³/год (Доклад..., 2008). Для сравнения: годовой сток Москвы-реки на входе в город составляет чуть более 1600 млн м³/год при площади водосбора более 7000 км². Следовательно, в речной сток с единицы территории внутри МКАД вовлекается на 280% больше воды, чем с менее застроенных окрестностей. Разница между подсчитанными выше 200 и 280% – это техногенные сбросы предприятий и коммунальных служб и частичный вклад обводнения Яузы волжской водой.

Н.И. Коронкевич и К.С. Мельник (2015) показали, что увеличение площади урбанизированных территорий речного бассейна на 1% (с учетом дорог и сельских населенных пунктов) приводит приблизительно к такому же увеличению стока, а увеличение на 1% водонепроницаемых участков – к росту стока на 2–3%.

Схожие результаты приводят американские исследователи для лесной зоны штата Коннектикут, где в естественных условиях поверхностный сток составляет 10% от количества осадков. Указывается, что рост площади водонепроницаемых поверхностей до 10–20% увеличивает сток с этой территории в 2 раза; до 35–50% – в 3 раза; до 75–100% – более чем в 5 раз (или до 55% от величины осадков) (Arnold, Gibbons, 1996, p. 244; Paul, Meyer, 2001, p. 208). Если учесть, что водонепроницаемая поверхность в Москве (внутри МКАД) составляет 50% (Коронкевич и др., 2017, с. 82), то приведенные выше наши расчеты для Москвы совпадают с выводами американских исследователей. Видимо, полученные значения можно счи-

тать закономерными, по крайней мере для зоны смешанных лесов умеренного климата.

Широкое распространение незакрепленных рыхлых грунтов приводит к взрывному транзиту твердого стока во время ливневых осадков и активного снеготаяния (шлейфы песчаных и гравийных отложений на асфальто-плиточном покрытии). Активное строительство, особенности городского микроклимата (в первую очередь – интенсификация эолового транзита) дополнительно способствуют вовлечению грунта в поверхностный сток. Поэтому несмотря на общее выполаживание территории при засыпке долин и оврагов, растет объем жидкого и твердого стока в главные городские водные артерии – рр. Москву и Яузу.

Так, обследование автором ливнесточных коммуникаций многих европейских городов (Берлин, Прага, Брюссель, Антверпен, Лодзь и др.) показало почти полное отсутствие наносов в этих коммуникациях. Напротив, в аналогичных сооружениях Москвы (и других городов постсоветского пространства) активно накапливаются песчано-гравийные толщи. В Москве с 1 км² застроенной территории за год через ливнесточную сеть транспортируется порядка 60–90 м³ смытого с улиц материала (Болысов и др., 2017). Сопоставимые данные приводятся в (Доклад..., 2015) для территории внутри МКАД: в 2010 г. – 193 тыс. т; в 2011 г. – 179 тыс. т; в 2012 г. – 225 тыс. т. Такое колоссальное поступление наносов через погребенную гидросеть способствует активному заилению русел рек. Например, в Яузе в створе водовыпусков подземных рр. Хапиловки и Рыбинки глубины, измеренные автором, составили всего 40–50 см, а выше по течению – более 2 м.

Засыпка гидросети приводит к увеличению средней мощности *техногенных отложений*. Если на междуречьях их прирост происходит медленно за счет формирования “культурного слоя” (фоновые мощности в центральной части Москвы составляют 2–4 м, исключая склоны, эрозионные формы и засыпанные карьеры (Геоморфология..., 2017; Котлов, 1962)), то в пределах эрозионных форм – очень интенсивно. В течение 1–2 лет, необходимых на заключение водотока в коллектор, мощность техногенных грунтов возрастает до 8–12 м. Техногенные грунты состоят из разнородного материала – строительного мусора (кирпичи, бетон, бревна, металлоконструкции и т.д.) и изымаемых при строительстве горных пород почв. Они отличаются повышенной вибровосприимчивостью, коррозионной активностью и динамической неустойчивостью (Город..., 1997).

После засыпания долины начинается процесс уплотнения техногенных грунтов, длящийся несколько десятилетий. Его интенсивность в первые годы максимальна, а просадки крайне нерав-

номерны из-за неоднородности грунтов. Осадки сооружений на техногенных грунтах могут достигать катастрофических величин — 20–30 см и более при скорости оседания до 2–3 см/год (а в первые годы, видимо, — до 10 см/год) (Москва..., 1997, с. 260). Благодаря структурной неоднородности техногенных грунтов в пределах засыпанных долин и оврагов развивается суффозия, проявляющаяся на поверхности локальными просадками, обычно тяготеющими к контурам инженерных сооружений и зданий.

Нередко на бортах засыпанных долин продолжают склоновые процессы, которые могут активизироваться под влиянием дополнительной нагрузки со стороны расположенных на склонах зданий (Геоморфология..., 2017, с. 76), что, в свою очередь, приводит к повреждениям последних. В условиях слабых грунтов особенно опасно строительство с сооружением глубоких котлованов и подземных выемок из-за вероятности возникновения плывунов.

Техногенные грунты, заполняющие погребенные долины, отличаются гораздо меньшей вибрационной устойчивостью (к динамическому воздействию транспорта, строительной техники и т.п.) и более склонны к тиксотропному разжижению (уменьшению вязкости при механическом воздействии), чем естественные. Техногенные грунты также подвержены более интенсивному морозному пучению, которое проявляется в виде локальных деформаций асфальтового и плиточного покрытия, особенно — вдоль коллекторов и зданий (Геоморфология..., 2017). Масштабы просадок обычно не превышают нескольких десятков сантиметров, но они приносят заметный ущерб городскому хозяйству.

Очевидно, что засыпка эрозионной сети в городе через некоторое время (ориентировочно 0.5–1.5 года) вызывает кардинальную *перестройку подземного стока*. Крайне медленный сток грунтовых вод продолжается по технопогребенным долинам “по старой памяти” (рис. 1). Напомним, стоки, текущие в коллекторах, в штатном режиме не имеют связи с грунтовыми водами. С середины XIX в. общая протяженность эрозионной сети Москвы в пределах МКАД [подсчитана по (Геологический..., 2010)] сократилась примерно с 570 до 430 км, или на 25%. Соответственно, среднее расстояние между эрозионными формами на территории увеличилось с 1.6 до 2.1 км (в центральных частях города — до 3–4 км). Однако протяженность эрозионных форм с постоянными водотоками (в ненарушенных условиях) была несколько меньше — около 450 км; из них было погребено около 150 км, или 33% (Москва..., 1997, с. 165–166).

Грунтовый сток технопогребенных долин формируется за счет протечек из водонесущих

коммуникаций (видимо, основная статья прихода), поступления технических вод, используемых для полива зеленых насаждений, и фильтрации атмосферных осадков (включая таяние сугробов). Накопление слабопроницаемых, часто цементированных, техногенных илов в руслах открытых водотоков также уменьшает естественную разгрузку грунтовых вод. Исследования (Москва..., 1997, с. 156) показывают, что слой инфильтрационного питания для территории Московской области (без Москвы) составляет в среднем менее 100 мм/год при среднегодовых осадках 640 мм, а для территории города внутри МКАД — 200 мм/год. По системам водопровода в Москву поступает около 6.5 млн м³/сут воды. Даже если потери в водонесущих коммуникациях соответствуют нормативам и составляют только 4% от этого количества (а на самом деле гораздо больше из-за износа труб), то в грунт попадает около 440 тыс. м³/сут воды. Соответственно, при площади около 1000 км² слой потерь составит 0.5 мм/сут, или около 180 мм/год, что уже больше фонового значения.

Так как скорость грунтового стока в погребенной долине невелика, происходит накопление и подъем вод в относительно рыхлых техногенных отложениях. Подземные сооружения дополнительно перегораживают поток подземных вод (барражный эффект). Насыщение тела погребенной долины движущимися грунтовыми водами неизбежно приводит к поддержанию оседания грунта и локальным суффозионным явлениям даже спустя 100–150 лет после засыпки. До конца 2010-х годов в осевой части Цветного бульвара можно было наблюдать линейное возвышение шириной 2.5 м и высотой 20–25 см. Это результат оседания поверхности по обеим сторонам от построенного в 1860-х годах коллектора р. Неглинной (он опирается на естественные грунты и потому не просел). При этом Цветной бульвар реконструировали в 1947 г., и на фотографиях начала 1950-х годов отчетливо видно отсутствие линейного возвышения. Поэтому вклад этого процесса в оседание дневной поверхности нами оценивается не более чем в 2–3 мм/год.

Изменение в структуре подземного стока и вызванное им поднятие уровня грунтовых вод приводят к развитию площадного процесса, поражающего даже междуречья, — *подтопления*. Подтопленными считаются участки территории, где первый от поверхности водоносный горизонт поднимается к поверхности земли до глубины менее 3 м. “Максимальное повышение УГВ (уровня грунтовых вод — В.Н.) характерно для северных территорий г. Москвы в районе пересечения Дмитровского шоссе с Окружной железной дорогой. Здесь абсолютные отметки уровенной поверхности в настоящее время на 3–10 м выше,

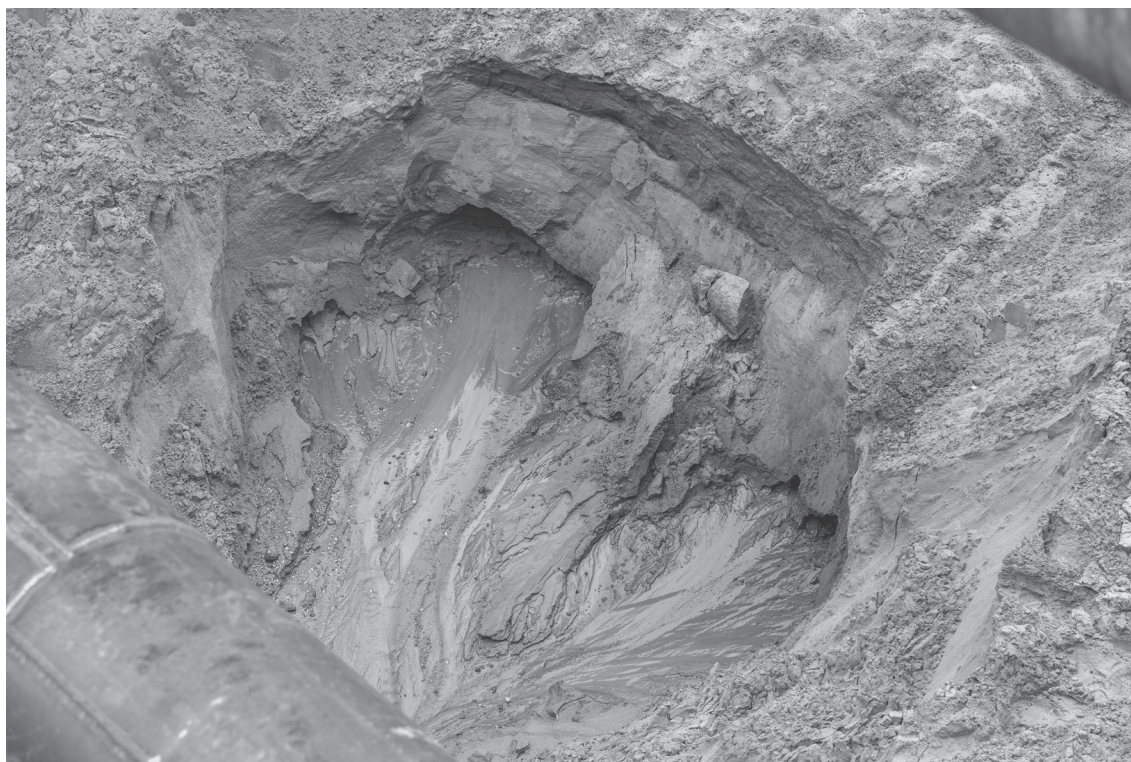


Рис. 1. Внутригрунтовый сток засыпанного оврага, вскрытый котлованом при строительстве ст. м. “Лефортово” в Москве. Фото А.В. Попова.

чем в 1933 г. В районе Савеловского вокзала поверхность грунтовых вод повысилась на 2–4 м (в районе ст. м. “Аэропорт” – до 4–6 м)” (Москва..., 1997). Все эти территории находятся между засыпанными оврагами и речками. В среднем подтоплено до 30–40% территории Москвы (Кофф и др., 1997).

Утечки из водонесущих коммуникаций усложняют общий водообмен и становятся причиной ряда *физико-химических процессов*. Загрязненные воды, попадая в грунт, оказывают отепляющее воздействие, вызывают окислительно-восстановительные реакции, коррозию и т.д. Основная часть водонесущих коммуникаций (ливнесточная сеть и бытовая канализация) прокладывается вдоль тальвегов засыпанных рек для создания самотечных условий. Коррозионное воздействие сильно загрязненных и агрессивных городских грунтовых вод приводит к преждевременному износу подземных сооружений и фундаментов зданий. В среднем для Москвы, из-за антропогенного влияния минерализация грунтовых и подземных вод увеличена в 10 раз, а в отдельных случаях – в 20 и более раз (до 10 г/л) (Москва..., 1997).

С функционированием заключенных в коллекторы водотоков связан комплекс процессов специфического *подземного морфолитогеनेза*, наиболее острый из них – деструкция обделки тонне-

лей. В отличие от природного русла, коллектор – это русло замкнутое, ограниченное стенками, поэтому в подземных реках наблюдается напорное течение. При нарушенной гидроизоляции труб вода под давлением вымывает полости в легкоразмываемых грунтах с дальнейшим обрушением коллектора и деформациями дневной поверхности.

Полевые наблюдения показали, что “исторические” кирпичные тоннели намного устойчивее современных бетонных (хотя разрушаются и кирпичные тоже). Окончательные деформации обделки тоннеля приводят к довольно быстрому размыву грунта и обрушениям, что характерно, например, для Киева (рис. 2); для Москвы – в меньшей степени. Ливневые паводки приводят к разрушению днищ коллекторов, в таких местах формируются промоины, уходящие на полметра в грунты. Нарушение целостности бетонных коллекторов наблюдается чаще, хотя они в 2–4 раза “моложе” кирпичных (Болысов, Неходцев, 2016).

В коллекторах подземных рек развиты и иные, менее аварийноопасные процессы морфолитогеनेза – аккумулятивно-карстовые (Неходцев, 2019), биофлювиальные, значительно отличающийся от естественных рек транспорт наносов, образование ледяных форм зимой.

Геоэкологические проблемы и опасности, связанные с засыпкой гидросети, весьма разнообраз-



Рис. 2. Провал глубиной около 10 м на месте разрушения коллектора р. Сырец в Киеве в 2014 г. Фото Н.В. Коробко.

ны. Подъем уровней грунтовых вод (подтопление) приводит к заболачиванию почвы, смене в ней окислительно-восстановительной обстановки; меняются состав, разнообразие и биомасса почвенной флоры и фауны; снижается аэрация корнеобитаемого слоя, и часть деревьев погибает, существенно изменяется видовой состав кустарников и травянистой растительности; увеличивается влажность приземного слоя воздуха, что негативно сказывается на здоровье людей (Геоэкология..., 1996).

Из-за объемного поступления материала с улиц подземные водотоки становятся яркими примерами коллекторов загрязняющих веществ. При этом количество загрязнителя в подземных

водостоках, особенно в центральных частях городов, оказывается феноменально высоким. В устьях подземных рек Москвы ПДК отдельных загрязнителей превышены в 10–15 раз (нефтепродукты, железо, марганец, цинк). Однако в целом за 2001–2016 гг. отмечается устойчивая динамика снижения загрязнения подземных рек (Болысов и др., 2016; Доклад..., 2008; Доклад..., 2015).

Помимо растворенных веществ, в подземные реки в больших объемах могут поступать (в основном нелегально и со строек) твердые загрязнители. Например, в 2009–2010 гг. сброс в московскую подземную р. Таракановку бентонита (природный гидроалюмосиликатный глинистый минерал), привел, по наблюдениям автора, к об-

разованию литифицированной толщи мощностью около 1.5 м, что уменьшило сечение коллектора (следовательно, и его пропускную способность) в 2 раза.

В геолого-геоморфологических условиях Москвы в долговременной перспективе уничтожение городской гидросети вызывает развитие *карстово-суффозонных процессов*. Их активизация объясняется гидрогеологической связью грунтового стока технопогребенных долин с карстующимися породами в местах отсутствия водонепроницаемых отложений (юрские глины). Эрозионные окна в этих отложениях оставлены водотоками задолго до засыпки долин; в них совмещаются наиболее загрязненные грунтовые воды и региональные надъяурский и каменноугольный горизонты подземных вод. Повышенная в пределах долин закарстованность скальных и нарушенность вышележащих водоупорных пород обеспечивают активный водообмен между горизонтами подземных вод. При преобладании нисходящих токов (при активной откачке подземных вод) в движение вовлекается тонкодисперсная составляющая рыхлых грунтов, которая аккумулируется в прежде существовавших кавернах и карстовых полостях. Развивается карстово-суффозионный процесс, проявляющийся в образовании воронок на поверхности, многие из которых приводят к разрушению зданий (Иксанова, 2005; Кочев и др., 1991).

В начале 1960-х годов в Москве не наблюдалось проявление активного карста. "...Карст в условиях Москвы нельзя считать угрожающим физико-геологическим явлением, каким он является в активных карстовых областях", "оживление карста не представляет непосредственной угрозы городу, целостности и устойчивости его сооружений" (Котлов, 1962, с. 121, 127). В первой половине 1960-х годов на западе Москвы (районы Беговой, Хорошевский и Хорошево-Мневники, Щукино) были заключены в подземные коллекторы ручьи Студенец, Ермаковский и Слободской, Соболев овраг, р. Таракановка и ее приток Ходынка. Таким образом территория между Ленинградским проспектом, Москва-рекой, современными ст. м. "Щукинская" и Третьим транспортным кольцом лишилась естественного дренажа грунтовых вод (уничтожено более 20 км гидросети). Здесь распространены преимущественно аллювиальные отложения 3-й надпойменной террасы Москвы-реки, лежащие поверх каменноугольных карбонатов. Начатая еще раньше эксплуатация каменноугольных водоносных горизонтов привела к снижению их пьезометрического уровня и создала условия для нисходящей фильтрации надкаменноугольных вод (раньше напор собственно каменноугольных вод препятствовал этому).

С середины 1960-х годов на этой территории, по данным Е.А. Иксановой (2005), произошло более 50 крупных карстовых провалов, разрушивших порядка 25 жилых домов. Кроме того, автором, по данным (Геологический..., 2010; Кочев и др., 1991), подсчитано, что разной степени деформации к настоящему времени подвержено еще более 60 домов. На территории, ставшей самым карстоактивным районом Москвы, при функционирующей гидросети не наблюдалось карстово-суффозионных процессов. Всего за 4–5 лет уничтожение гидросети кардинальным образом изменило геолого-геоморфологические условия строительства на 50 км² территории города.

Последствия техногенной засыпки долин в городах (в платформенных условиях) можно представить в виде схемы процессов (рис. 3). На ней дана предварительная оценка времени развития каждого из указанных процессов для условий Москвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для территории г. Москвы (в пределах МКАД) показано, что антропо-техногенное погребение гидросети приводит к существенным изменениям компонентов природной среды города. Меняется структура поверхностного стока: с конца XIX в. он увеличился на 200–280%; в несколько раз возрос твердый сток с территории – до 60–90 м³/год с 1 км²; как следствие, отмечается усиленная аккумуляция в принимающих водотоках и водоемах (вплоть до частичного тампонирувания русел и заиления прудов). В первые годы интенсифицируются просадочные, суффозионные и осадочные процессы. Формируется линейный грунтовой сток в теле погребенных долин, что по крайней мере в течение 150–200 лет поддерживает суффозионно-осадочные процессы в пределах засыпанных долин на уровне до 2–3 мм/год. Происходит подъем уровня грунтовых вод, развитие верховодки, а на значительных территориях интенсифицируются процессы подтопления. На порядок повышается минерализация грунтовых вод в пределах засыпанных долин; эти воды становятся агрессивными для подземных коммуникаций. Процессы в коллекторах подземных рек, коррозия, внешняя вибрационная и динамическая нагрузка приводят к деструкции этих коллекторов и аварийным провалам земной поверхности. Ухудшается экологическая обстановка; малые реки (особенно их подземные части) становятся коллекторами загрязняющих веществ. Из-за изменения грунтового стока и загрязнения грунтовых и подземных вод в некоторых районах города произошла активизация карстово-суффозионных процессов, которые прежде не фиксировались.



Рис. 3. Организация процессов—последствий техногенного уничтожения гидросети городов на платформенных территориях (на примере Москвы).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование проводится в рамках темы госзадания № АААА-А16-116032810089-5 “Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования”.

FUNDING

The work was carried out within the framework of the state-ordered research theme АААА-А16-116032810089-5 “Evolution of the Environment, Relief Dynamics and the Geomorphological Safety of the Nature Management.”

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Болысов С.И., Неходцев В.А.* Субрельеф и субтерральные процессы как фактор эколого-геоморфологической опасности в городах // Вестн. РГУ им. С.А. Есенина. 2016. № 1(50). С. 87–105.
- Болысов С.И., Неходцев В.А.* Концепция субрельефа — рельефа подземных полостей // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5. География. 2020. № 2. С. 13–22.
- Болысов С.И., Неходцев В.А., Харченко С.В.* Подземный рельеф Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2017. № 2. С. 59–73.
- Геологический атлас Москвы (в 10 томах с пояснительной запиской). Масштаб 1 : 10000. М.: ГУП Мосгоргеотрест, 2010.

Геоморфология городских территорий: конструктивные идеи / под ред. Э.А. Лихачевой. М.: Медиа-ПРЕСС, 2017. 176 с.

Геоэкология урбанизированных территорий // Сб. тр. Центра практической геоэкологии / под ред. В.В. Панькова, С.М. Орлова. М.: ЦПГ, 1996. 108 с.

Город — экосистема / Э.А. Лихачева, Д.А. Тимофеев и др. М.: Медиа-Пресс, 1997. 336 с.

Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2008 году. [https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/2008_\(51\).pdf](https://www.mos.ru/upload/documents/oiv/2008_(51).pdf) (дата обращения 06.07. 2018).

Доклад “О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2014 году” / под ред. А.О. Кульбачевско-го. М.: ДПиООС; НИА-Природа, 2015. 384 с.

Илев А.П. Под улицами города. М.: Изд-во Мин. ком-мун. хоз-ва РСФСР, 1954. 48 с.

Иксанова Е.А. Вклад докайнозойского карбонатного карста в развитие современных просадочных процессов в г. Москве: Дис. ... канд. геогр. наук. М., 2005. 155 с.

Козлова Н.М. Особенности формирования состава воды реки Москвы в нижнем течении и перспективы улучшения качества воды // Гидрологические исследования и водное хозяйство в бассейне р. Москвы. М., 1983. С. 27–70.

Коронкевич Н.И., Бибикина Т.С., Долгов С.В., Кашутин Е.А., Мельник К.С., Ясинский С.В. Гидрологические последствия хозяйственной деятельности на водосборах // Водные ресурсы: но-

- вые вызовы и пути решения. Новочеркасск: Лик, 2017. С. 78–84.
- Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Антропогенные воздействия на сток реки Москвы. М.: Макс Пресс, 2015а. 168 с.
- Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Трансформация стока под влиянием ландшафтных изменений в бассейне реки Москвы и на территории города Москвы // Водные ресурсы. 2015б. Т. 42. № 2. С. 159–169.
- 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 / под ред. Н.А. Богданова, А.И. Шеко. М.: РЭФИА, 1997. 174 с.
- Кочев А.Д., Зайяц И.Л., Мамонтов В.В. Отчет по изучению инженерно-геологических условий на участках возможного проявления карстово-суффозионных процессов в западной части Москвы (зона А). М.: Гидропедгеология, 1991. 499 с. (Инв. № 459287 “Росгеолфонд”).
- Кротков П.В. Исторический очерк инженерных сооружений г. Москвы. М.: Городская типография, 1896. 34 с.
- Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 448 с.
- Львович М.И. Вода и жизнь: Водные ресурсы, их преобразование и охрана. М.: Мысль, 1986. 254 с.
- Москва. Геология и город / под ред. В.И. Осипова и О.П. Медведева. РАН, Ин-т геоэкологии; Мосгоргеотрест. М.: Московские учебники и Картолитография, 1997. 398 с.
- Насимович Ю.А. Аннотированный список названий рек, ручьев и оврагов Москвы. М.: ВИНТИ РАН, 1996. 114 с.
- Неходцев В.А. Обзор травертиногенеза в подземных реках Москвы // Спелеология и спелестология. 2019. № 10. С. 296–303.
- Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 334 с.
- Ясинский С.В. Геоэкологический анализ антропогенных воздействий на водосборы малых рек // Изв. РАН. Сер. геогр. 2000. № 4. С. 74–82.
- Arnold C.L., Gibbons C.J. Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. Am. Planners Assoc., 1996. P. 243–258.
- Paul M.J., Meyer J.L. Streams in the Urban Landscape // Annual Rev. of Ecol. and Syst. 2001. V. 32. P. 333–365.

Consequences of Man-Made Burial of Rivers in Cities (Case of Moscow)

V. A. Nekhodtsev*

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

*e-mail: baban.n@mail.ru

This article reviews the consequences of man-made burial of river valleys in urban areas. Deep analysis of above-mentioned sources enabled to reveal the consequences of river system destruction in urban areas, located on platforms. Backfilling of the river valleys leads to the following negative changes: surface runoff increases by 200–280%, sediment load increases up to 60–90 m³ per year by 1 km², suffusion and land subsidence begin to develop within man-made buried valleys (2–3 mm per year). Subsurface flow changes cause progressive groundwater flooding and growing level of water mineralization. Total dissolved solids index grows, these waters become aggressive which results in drainage destruction and damaging of urban infrastructure, such as pipelines and sewerage. Destruction of urban river system leads sharp to the environmental issues: small rivers (including storm drain) accumulate various pollutants and deplete flora and fauna. Karst processes were activated in Moscow a few years after backfilling of the river valleys due to subsurface flow changes.

Keywords: buried relief, karst, city, dangerous processes, ecology, environmental geology, runoff, subsurface flow, urban geomorphology

REFERENCES

- Arnold C.L., Gibbons C.J. Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator. *J. Am. Plann. Assoc.*, 1996, vol. 62, no. 2, pp. 243–258.
- Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A. Concept of subrelief – relief of the underground cavities. *Vestn. Mosk. Univ. Ser. 5. Geogr.*, 2020, no. 2, pp. 13–22. (In Russ.).
- Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A. Subrelief and underground processes as environmental and geomorphologic threats in urban areas. *Vestn. RGU im. S.A. Esenina*, 2016, vol. 50, no. 1, pp. 87–105. (In Russ.).
- Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A., Kharchenko S.V. Underground landforms of Moscow. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5. Geogr.*, 2017, no. 2, pp. 59–73. (In Russ.).
- Doklad o sostoyanii okruzhayushchei sredy v gorode Moskve v 2008 godu* [Report on the Environmental Situation in Moscow in 2008]. Moscow: Dep-t Prirodopol'zovaniya i Okhrany Okruzh. Sredy Moskvy, 2009. 209 p.

- Doklad o sostoyanii okruzhayushchei sredy v gorode Moskve v 2014 godu* [Report on the Environmental Situation in Moscow in 2014]. Kul'bagevskii A.O., Ed. Moscow: DPiOOS, NIA-Priroda Publ., 2015. 384 p.
- Geoekologiya urbanizirovannykh territorii* [Geoecology of Urban Areas]. Pan'kov V.V., Orlov S.M., Eds. Moscow: Tsentr Prakt. Geokol., 1996. 108 p.
- Geological Atlas of Moscow*, scale 1 : 10 000 (with explanatory note), in 10 vols. Moscow: Mosgorgeotrest, 2010. (In Russ.).
- Geomorfologiya gorodskikh territorii: konstruktivnye idei* [Urban Geomorphology: Constructive Ideas]. Likhacheva E.A., Ed. Moscow: Media-Press Publ., 2017. 176 p.
- Iksanova E.A. Influence of pre-Cenozoic carbonate karst on the modern subsidence processes extension in Moscow. *Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Moscow State Univ., 2005. 155 p.
- Ivlev A.P. *Pod ulitsami goroda* [Under the City's Streets]. Moscow: Ministerstvo Kommun. Khoz-va RSFSR, 1954. 48 p.
- Kochev A.D., Zaiyants I.L., Mamontov V.V. *Otchet po izucheniyu inzhenerno-geologicheskikh uslovii na uchastkakh vozmozhnogo proyavleniya karstovo-suffuzionnykh protsessov v zapadnoi chasti Moskvy (zona A)* [Research Report of Geo-engineering Conditions of Karst-Suffusion Possible Processes in Western Part of Moscow (zone A)]. Moscow: Gidrospegeologiya Publ., 1991. 499 p.
- Koff G.L., Petrenko S.I., Likhacheva E.A., Kotlov V.F. *Ocherki po geoekologii i inzhenernoi geologii Moskovskogo stolichnogo regiona* [Essays on Geoecology and Engineering Geology of the Moscow Capital Region]. Bogdanov N.A., Sheko A.I., Eds. Moscow: REFIA Publ., 1997. 174 p.
- Koronkevich N.I., Bibikova T.S., Dolgov S.V., et al. Hydrological effects of economic activities in catchment area. In *Vodnye resursy: novye vyzovy i puti resheniya* [Water Resources: New Challenges and Solutions]. Novocherkassk: Lik Publ., 2017, pp. 78–84. (In Russ.).
- Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. *Antropogennyye vozdeistviya na stok reki Moskvy* [Anthropogenic Impacts on the Flow of the Moskva River]. Moscow: Media-Press Publ., 2015. 168 p.
- Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. Runoff transformation under the effect of landscape changes in the Moskva R. Basin and in the territory of Moscow City. *Water Resour.*, 2015, vol. 42, no. 2, pp. 159–169.
- Kotlov F.V. *Izmenenie prirodnykh uslovii territorii Moskvy pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka i ikh inzhenerno-geologicheskoe znachenie* [Changes of Natural Conditions of Moscow Area under Anthropogenic Influence and their Engineering Significance]. Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1962. 263 p.
- Kotlov F.V. *Izmeneniya geologicheskoi sredy pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka* [Changes of Geological Environment under Human Activities]. Moscow: Nedra Publ., 1978. 264 p.
- Kozlova N.M. Features of water composition formation of the Moskva River in the lower course and prospects for improving water quality. In *Gidrologicheskie issledovaniya i vodnoe khozyaistvo v basseine r. Moskvy* [Hydrological Research and Water Management in the Basin of the Moskva River]. M., 1983, pp. 27–70. (In Russ.).
- Krotkov P.V. *Istoricheskii ocherk inzhenernykh sooruzhenii g. Moskvy* [Historical Essay about Engineering Structures of Moscow]. Moscow: Gorodskaya Tipografiya Publ., 1896. 34 p.
- L'vovich M.I. *Mirovye vodnye resursy i ikh budushchee* [World Water Resources and Their Future]. Moscow: Mysl' Publ., 1974. 448 p.
- L'vovich M.I. *Voda i zhizn': Vodnye resursy, ikh preobrazovanie i okhrana* [Water and Life: Water Resources, Their Transformation and Protection]. Moscow: Mysl' Publ., 1986. 254 p.
- Likhacheva E.A., Timofeev D.A. et al. *Gorod – ekosistema* [City – Ecosystem]. Moscow: Media-Press Publ., 1997. 336 p.
- Moskva: geologiya i gorod* [Moscow: Geology and the City]. Osipov V.I., Medvedev O.P., Eds. Moscow: Moskovskie Uchebniki i Kartolitografiya Publ., 1997. 398 p.
- Nasimovich Yu.A. *Annotirovannyi spisok nazvanii rek, ruch'ev i ovragov Moskvy* [Annotated List of Moscow Rivers, Streams, and Ravines Names]. Moscow: VINITI RAN, 1996. 114 p.
- Nekhodtsev V.A. The review of speleothems formation in Moscow drains. *Speleologiya i spelestologiya*, 2019, no. 10, pp. 296–303. (In Russ.).
- Paul M.J., Meyer J.L. Streams in the urban landscape. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 2001, vol. 32, no. 1, pp. 333–365.
- Shiklomanov I.A. *Vliyanie khozyaistvennoi deyatel'nosti na rechnoi stok* [Influence of Economic Activity on River Runoff]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1989. 334 p.
- Yasinskii S.V. Geoeological analysis of anthropogenic impacts on catchments of small rivers. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2000, no. 4, pp. 74–82. (In Russ.).