

**Янин Е.П. Общие условия и основные факторы формирования водного стока в городских ландшафтах // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2006, № 9, с. 73–111.**

Введение

С экологической точки зрения современный город, представляющий собой систему элементов, взаимосвязанных структурой, функцией и процессом, отличается наиболее ярким выражением основных явлений техногенеза: концентрированием на относительно небольшой площади существенных потоков энергии, значительных масс воды и химических веществ и их последующим рассеиванием в окружающей среде. В разных странах мира городские ландшафты занимают от 0,2-0,5 до 6-10% территории; известно значительное количество городов, площадь которых приближается и даже превышает 1000 км<sup>2</sup>. Многие исследователи обоснованно считают, что город представляет собой своеобразную экосистему и поэтому может изучаться в экологической перспективе, что, в свою очередь, является методом анализа [71, 117, 122, 132, 143]. Например, Ю. Одум [75] определяет город как неполную (гетеротрофную) экосистему, которая отличается от природной экосистемы гораздо более интенсивным метаболизмом на единицу площади, для чего требуется огромный приток концентрированной энергии извне (поступающей главным образом в виде горючих ископаемых), большими потребностями в поступлении веществ извне, более мощным и более ядовитым потоком отходов жизни, многие из которых являются синтетическими соединениями (ксенобиотиками), нередко более токсичными, чем естественное сырье и природные материалы. При этом экосистема города характеризуется выраженным разорванным циклом круговорота многих химических элементов и их соединений [122]. А. Уолам [144], сформулировавший понятие «метаболизм городов», показал, что город оказывает воздействие не только на городскую среду, но и (с точки зрения потоков энергии и материалов) на окружающие его территории. Действительно, именно в городах наиболее ярко проявлен закон развития экосистемы за счет окружающей ее среды, причем в большинстве случаев город оказывает прямое или опосредованное воздействие на территории, значительно превосходящие его по площади.

Многие городские поселения издавна возникали по берегам рек, которые становились главными доминантами города, выполняли оборонительные функции, служили источниками водоснабжения и удобными транспортными путями [5, 57, 83, 90]. Со временем функции подавляющего числа городских рек в сложившейся системе природопользования коренным образом изменились: водотоки, по прежнему оставаясь неотъемлемой частью городских ландшафтов, превратились в коллекторы и приемники сточных вод и загрязненного поверхностного стока с промышленно-урбанизированных территорий.

Формирование водного стока в городских ландшафтах в существенной мере зависит от их гидрологических особенностей, в свою очередь являющихся отражением специфики водного баланса городских территорий, обусловленной климатическими изменениями, типичными для поселений, своеобразием условий формирования и режима поверхностного, внутрипочвенного, грунтового и подземного стока [49, 104, 121, 123]. Важнейшей особенностью таких районов является вовлечение во влагооборот на сравнительно небольших территориях значительных объемов воды, которая, после ее использования на хозяйственные нужды города, приобретает иные физико-химические свойства, содержит огромные массы осадочного материала и, как правило, сбрасывается в гидрографическую сеть. Для транспортировки воды к местам потребления создаются сложные

сети водоснабжения, а для отведения сточных вод и поверхностного стока (дождевого, талого, поливочного) с городской территории – канализационные и дренажные сети. Сказанное, в сущности, и обуславливает необходимость выявления условий и основных факторов формирования водного стока в городах, в значительной мере определяющих интенсивность и масштабы воздействия последних на реки и другие водные объекты.

#### Климатические особенности города

В городах формируется особый местный климат, что придает качественно новые черты элементам гидрологического цикла в пределах урбанизированных территорий (табл. 1). Для городов характерна пространственная микроклиматическая неоднородность, обусловленная их природной и искусственной топографией. Например, в пределах г. Иркутска и его ближайшего окружения выделяется пять типов микроклимата [110]. В целом, по мнению Т.Р. Оке [131], местный климат в городах представляет собой прообраз будущего климата нашей планеты.

Таблица 1. Изменения элементов климата в городах [56, 72, 121, 131]

Элементы климата	Степень изменения по сравнению с агроландшафтами
Поллютанты: Ядра конденсации и частицы Газовые примеси	В 10 раз больше В 5-25 раз больше
Количество облаков	На 5-10% больше
Туман: Зимой Летом Способствующих образованию смогов	На 100% больше На 30% больше На 10-20%
Осадки: Общее количество Число дней с осадками менее 5 мм Снегопады:	На 5-10% больше На 10% больше На 5% больше
Относительная влажность Зимой Летом	На 2% меньше На 8% меньше
Радиация: Общая Ультрафиолетовая зимой Ультрафиолетовая летом	На 15-20% меньше На 30% меньше На 5% меньше
Продолжительность солнечного потока	На 5-15% меньше
Температура: Средняя годовая Зимний минимум (среднее) Градусо-дни отопительного сезона	На 0,5-1,0°C выше На 1,0-2,0°C выше На 10% меньше
Скорость ветра: Средняя годовая Экстремальные порывы Штили	На 20-30% меньше На 10-20% меньше На 5-20% больше

Обычно различают следующие основные факторы формирования городского климата: строительные конструкции, конфигурация строений и улиц, искусственные источники тепла, искусственное водоотведение, загрязнение атмосферного воздуха, характер озеленения [37, 126, 128, 131].

В городах деформация и изменение свойств подстилающей поверхности и пограничного слоя атмосферы из-за наличия строений и своеобразия их конфигурации выражаются в особенностях

температурного и ветрового поля, режима влажности, радиационного режима [11]. Значение имеет и специфический состав городской атмосферы, который, в свою очередь, зависит от особенностей температурного и ветрового поля. Как правило, даже в центральных частях города температура воздуха в среднем на 1°C выше, нежели в его окраинной зоне [25]. Особенно резкая разница температур (до 5-8°C) наблюдается в утренние часы зимой и вечером в летнее время. Так, исследования влияния г. Вашингтона (США) на радиационный баланс территории показали, что разность температур между городом и близлежащими лесами в летнее время достигает 10°C [125].

Формирующийся над центром города «остров тепла» («городской климатологический купол») – характерная особенность городского микроклимата – вызывает конвективную циркуляцию воздуха. При этом, как правило, в приземном слое скорость ветра направлена к центру города [11], что обуславливает плохую вентилируемость его центральной части, во многом связанную с существованием зданий, приводит к скоплению здесь поллютантов [119] и, соответственно, к их более активному осаждению на подстилающие поверхности. Именно поэтому постоянно существующий в городах остров тепла в большинстве случаев сопровождается формированием «острова загрязнений», который разрушается только при очень сильном ветре или при прохождении атмосферных фронтов, но способен, однако, восстановить свою структуру за 1-2 сут. [10, 140].

Атмосфера городов характеризуется наличием значительного количества ядер конденсации, что обусловлено ее интенсивным техногенным загрязнением. Например, анализ 37-летнего ряда наблюдений, выполненных Метеорологической обсерватории МГУ, показал тенденцию к уменьшению прозрачности атмосферы в г. Москве [2]. В то же время на основе анализа данных непрерывных наблюдений (с 1955 г.) за аэрозольной мутностью атмосферы над Москвой было установлено, что из-за определенного сокращения антропогенных выбросов в результате уменьшения промышленной деятельности в городе в конце XX в. отмечалось заметное уменьшение аэрозольной мутности атмосферы [17].

Действительно, над городами практически постоянно существуют так называемые «острова мутности» [1, 140]. Например, аэрозольная мутность атмосферы в г. Москве на 20-40% больше, чем в пригородных районах [1], что приводит к увеличению естественно предопределенной для этой территории суммы осадков. Так, в 1910-1962 гг. в Москве выпадало в среднем на 11% больше осадков, нежели за ее пределами. Наблюдения в г. Бремене (ФРГ) показали, что за 15 лет здесь осадков в среднем было на 16% больше по сравнению с местностью, на 1,5 км удаленной от центра города [135]. По данным В.В. Куприянова [51], годовая сумма осадков в городах с подветренной стороны за их пределами больше (относительно зональных показателей) на 5-30%; рост числа дней с грозой для некоторых городов составляет 15-30%, а повторяемость дней с осадками более 5 мм увеличивается с подветренной стороны городских комплексов на 20-40%. Наблюдаемый в городах рост повторяемости туманов, способствующих формированию смогов, происходит не только за счет большего количества ядер конденсации, но и из-за того, что атмосферные примеси здесь содержат значительное количество гигроскопических частиц [21]. Конденсация влаги на таких частицах может начаться при относительной влажности менее 100%, однако плотность образующихся туманов – из-за наличия острова тепла – может быть меньше [11, 56]. По данным [100], величина суммарной освещенности летом в городе на 3-12%, а зимой на 20-30% ниже, чем в селе; УФ-излучение в городе в 2 раза меньше, осадков на 10% больше, сила ветра меньше на 20-30%.

Несмотря на то, что уменьшение прозрачности атмосферы приводит к снижению поступления прямой солнечной радиации на городские территории, общее тепловое влияние города, связанное с техногенными факторами, сказывается на ускорении процессов снеготаяния: коэффициент стаивания в городах значительно выше, нежели в его окрестностях. Так, изучение процессов формирования стока от снеготаяния на малых водосборах в южно-центральной части провинции Онтарио (Ка-

нада), вовлеченных в субурбанизацию (превращение сельскохозяйственной местности в пригород; в настоящее время это явление очень характерно для многих российских городов в связи со строительством коттеджей в пригородной зоне), показало, что за 14 лет здесь произошло шестикратное увеличение коэффициента весеннего стока и участились резко выраженные паводки, вызванные таянием снега [115]. Интенсификация процессов снеготаяния в существенной мере обусловлена снижением альbedo снежного покрова (из-за его техногенного загрязнения). В частности, если чистый снег имеет альbedo 0,75-0,95, то к периоду снеготаяния оно снижается до 0,30 [49] (альbedo нового асфальта составляет 0,10-0,13 [101]). Все это приводит к опережению схода снега в городах и вокруг них (в среднем на 6-48 дней по сравнению с естественными условиями). Площадь, в пределах которой город оказывает влияние на свойства и динамику снегового покрова, обычно в 2-3 раза больше городской территории [73].

#### Особенности подстилающей поверхности и геологического фундамента городских территорий

Своеобразие подстилающей поверхности и особенности геологического фундамента городов обуславливают специфические условия формирования в их пределах поверхностного, внутрипочвенного, грунтового и подземного стока. Особенно ярко гидрологическая роль городов проявляется в том, что занимаемая ими территория отличается экстремальным состоянием проницаемости поверхности: из-за наличия асфальтовых и бетонных покрытий (так называемая запечатанность почв), крыш домов и т. п. она намного ниже, нежели в природных условиях. Воздействие таких территорий на водный баланс (и климатические условия) городов выражается в увеличении доли поверхностного стока, в замедлении формирования горизонта грунтовых вод, в снижении испаряемости, способствует интенсивному нагреву воздуха летом и приводит к дефициту влажности воздуха [114, 127, 133]. В количественном отношении площади непроницаемых для воды территорий зависят от возраста, размеров и благоустроенности городов. Для малых и средних городов с численностью населения менее 300 тыс. чел. их доля от общей городской территории, как правило, не превышает 20%; в крупных городах она возрастает до 30%; в городах с населением более 1 млн. чел. – колеблется в пределах 35-89% [102]. Например, запечатанность почв в пределах Садового кольца г. Москвы составляет не менее 80-90% площади, на территориях промышленных зон она достигает 80%; в пределах жилой застройки – изменяется от 20 до 70% [111]. Наличие дренажной сети для отведения поверхностного стока также способствует быстрому добеганию атмосферных вод в гидрографическую сеть. Обычно значения коэффициента стока для города составляют 0,3-0,9, тогда как в естественных районах они редко превышают 0,2-0,3 (табл. 2, 3). В связи с этим гидрографы для городских территорий, как правило, отличаются более крутыми ветвями подъема и спада [49, 50, 121]. Следует отметить, что в городах снег, образующийся после очистки улиц, нередко сбрасывается непосредственно в городские водотоки и(или) вывозится на снегосвалки, что также сказывается на гидрологическом режиме урбанизированных территорий.

Во многих городах естественный почвенный слой и часть зоны аэрации на значительной площади сменились культурным слоем грунта с водно-физическими свойствами, отличными от таковых в естественных условиях. Здесь на фоне различных строений и сооружений, асфальтированных автострад, улиц и площадей широко распространены различные по степени техногенной трансформации преобразованные почвы и искусственно созданные почвоподобные образования, в ряде классификаций получившие название – в зависимости от происхождения и свойств – антропоземов, техноземов, культуроземов, урбаноземов и т. д. Главными диагностическими признаками городских почв являются: сдвиг рН в щелочную сторону, обогащенность основными элементами питания, по-

вышенная плотность, каменистость, специфический водный, газовый и температурный режимы, что приводит к нарушению многих экологических функций, выполняемых почвой в природных экосистемах (табл. 4).

Таблица 2. Средние значения коэффициентов стока для различных поверхностей [49]

Характеристика поверхности	Коэффициент стока
Кровля и асфальтобетонные покрытия дорог	0,95
Брусчатые мостовые и черные щебеночные покрытия дорог	0,65
Бульжные мостовые	0,45
Щебеночные покрытия, не обработанные вяжущими материалами	0,40
Гравийные садово-парковые дорожки	0,30
Грунтовые поверхности (спланированные)	0,20
Газоны	0,10
Дубовый лес [85]	0,09

Таблица 3. Коэффициенты поверхностного стока с территории металлургических предприятий [69]

Характеристика территории	Площадь, %	Коэффициент стока
Здания и сооружения	22-24	0,95
Дороги с твердым покрытием	2,5-4,5	0,95
Железнодорожные пути	16-18	0,60
Заводские двory и площадки	21-23	0,45
Зеленые насаждения и газоны	3,5-5,0	0,10
Отвалы	19-22	0,20
Гидротехнические сооружения	8-12	–

Таблица 4. Сравнительная характеристика свойств урбаноземов (г. Москва) и дерново-подзолистых (Подмосковье) почв (верхние горизонты) [19]

Показатель	Урбаноземы	Дерново-подзолистые
Физические свойства		
Гранулометрический состав, % фракции < 0,01	5-20	10-50
Твердость почвы, кг/см <sup>2</sup>	40-45	20-25
Поровое пространство, %	30-40	50
Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	До 1,8	0,9-1,2
Влагоемкость полевая, %	5-14	14-20
Химические свойства		
С <sub>орг.</sub> , %	2-7	1-2
pH <sub>водн.</sub>	До 8	4,5-6,5
Ca <sup>2+</sup> , мг-экв/100 г почвы	5-100	5-10
Na <sup>2+</sup> , мг-экв/100 г почвы	До 30	2-3
Емкость поглощения, мг-экв/100 г почвы	До 30	10-12
Степень насыщенности основаниями, %	До 100	60-70
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г почвы	5-150	5-10
K <sub>2</sub> O, мг/100 г почвы	2-60	7-15
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , мг/100 г почвы	До 220	нет
Cl <sup>-</sup> , мг/100 г почвы	До 40	нет
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/100 г почвы	12-15	нет
Тяжелые металлы	Выше ПДК	Фоновые уровни
Биологические свойства		
Патогенные микроорганизмы	присутствуют	отсутствуют
Почвенная мезофауна	мало или нет	разнообразна

В настоящее время городские почвы выполняют функцию своеобразного «депо» для многих поллютантов, становятся одним из важнейших геохимических барьеров на пути их миграции из атмосферы в грунтовые воды и поверхностные водоемы и одновременно играют роль потенциального

вторичного источника загрязнения городской среды. Для ряда антропогенно-преобразованных почв характерно увеличение щебнистости и изменение фильтрационных свойств, наличие провальной или мозаичной водопроницаемости, обусловленной присутствием пустот в профиле за счет строительного или бытового мусора, а также за счет более глубокого проникновения корневой системы растений и некоторых других факторов [84]. В большинстве случаев естественные и искусственно созданные почвы города, независимо от характера подстилающих пород, характеризуются сильным уплотнением, особенно с поверхности (плотность сложения нередко достигает 1,3-1,6 г/см<sup>3</sup>).

В определенной мере естественные условия формирования поверхностного стока и питания грунтовых вод сохраняются в пределах городских парков, скверов и т. п. В среднем площадь зеленых насаждений в большинстве областных городов России составляет примерно 20% общей их территории (Москва – 22%, Архангельск – 21%, Липецк – 15%, Омск – 25%, Рязань – 24%, Тула и Ярославль – по 17%, С.-Петербург – 27%, Ставрополь – 19%), тем не менее в целом по стране изменяясь в очень широких пределах – от 2% в Мурманске до 51% в Уфе [64]. Но даже на таких территориях существует сеть непроницаемых покрытий (пешеходные дорожки, отмостки и т. д.), нарушающие условия формирования поверхностного стока и инфильтрацию атмосферных вод. Это способствует также наличие в пределах старых садово-парковых ансамблей различных техногенных отложений [79, 80]. В частности, для культурных слоев древних оборонительных сооружений характерны насыпи, образовавшиеся как в результате специальной инженерной подготовки территории, так и стихийного накопления продуктов жизнедеятельности человека. Мощность культурного слоя, которому присуща неоднородность состава, структуры и свойств слагающих его грунтов, изменяется в широком диапазоне – от 0,3 до 12 м (табл. 5).

Таблица 5. Мощность культурного слоя на территории оборонительных сооружений [80]

Территория	Мощность, м
Московский кремль	2,2-12,1
Ростовский кремль	0,5-5,4
Новгородский кремль	2,0-6,0
Вологодский кремль	0,5-3,5
Астраханский кремль	до 2,5
Киево-Печерская лавра	1,7-2,9
Троице-Сергиева лавра	1,2-4,4
Кирилло-Белозерский монастырь	до 3,3
Соловецкий монастырь	0,8-2,5
Ново-Иерусалимский монастырь	2,0-6,5
Новодевичий монастырь	0,5-2,2
Мирожский монастырь	0,3-2,0

В пределах городов заметно меняются рельеф и инженерно-геологические условия, что в существенной мере обусловлено спецификой литологических и физико-химических свойств широко развитых здесь техногенных отложений и техногенно преобразованных горных пород [35, 39, 59, 61, 96, 109]. Инженерно-хозяйственная деятельность человека трансформирует подземную сферу (геологический фундамент города) до глубин в несколько сотен метров. Наиболее сильное техногенное влияние на литолого-химические свойства пород прослеживается на глубину 20-50 м, иногда больше (до 100-300 м), а мощность техногенных отложений в исключительных случаях достигает нескольких десятков метров [41-43]. Например, в пределах г. Томска развиты разнообразные комплексы (насыпные наземные, насыпные подземные, намывные наземные) и типы (строительные, промышленные, хозяйственно-бытовые, производственные) техногенных отложений, достигающие мощности 7 м [41]. Около 30% территории г. Владимира характеризуется неблагоприятными инже-

нерно-геологическими условия (табл. 6). Длина оврагов в его пределах составляет от 200-300 м до 3 км; глубина врезания их изменяется от 4-6 м в верховьях до 25-30 м в устьевой части; около 10% склонов оврагов и долин рек подвержены плоскостному смыву. В черте г. Владимира еще в XIX в. при добыче строительных песков и глин были созданы карьеры, глубина которых составляет 1-7 м. К настоящему времени около 10% площади оврагов (в верховьях) засыпано. Мощность насыпных грунтов в пределах города составляет в среднем 2-3 м, достигая местами 6-9 м, а в оврагах – до 6-12 м. В отдельных случаях площадь оврагов постоянно увеличивается, в том числе, в результате эрозии их склонов промышленными стоками. Обрывистые берега р. Клязьмы, сложенные в пределах г. Владимира супесчаными и песчаными породами, активно разрушаются паводковыми водами со скоростью 1-2 м в год.

Таблица 6. Инженерно-геологическое состояние территории г. Владимира [35]

Характеристика территории	Доля от площади города, %
Земли, подверженные подтоплению (при 1% обеспеченности)	17,5
Площадь техногенного подтопления	10,6
Заболоченные территории	0,3
Овраги	8
Картеры	3
Неустойчивые склоны, подверженные оползнепроявлениям	0,2

В пределах Москвы техногенные отложения развиты практически по всей ее территории [79]. Сплошным чехлом таких образований покрыта центральная (наиболее древняя) часть столицы, а также участки естественных понижений и речных пойм. Средняя мощность отложений составляет 2-4 м, максимальная достигает 20 м. За счет отсыпки на 8-10 м увеличилась высота поверхности многих участков поймы р. Москвы и ее притоков. Например, пойменная терраса р. Яузы в среднем течение подсыпана до 4-6 м, в устье – до 8-10 м [12]. На окраинах г. Москвы техногенные отложения не имеют сплошного распространения, а мощность их здесь редко превышает 1 м [81]. В г. Ростове-на-Дону насыпные грунты приурочены к бывшим карьерам, балкам, оврагам, низким участкам пойм и достигают мощности в 3,5-6 м [84]. Гранулометрический состав насыпных грунтов достаточно разнообразен, но обычно характеризуются преобладанием песчаных фракций. Особым видом являются мелиорированные грунты. В частности, в г. Москве мелиорация пород широко применялась при строительстве подземных сооружений метрополитена, высотных зданий, мостов, подземных коллекторов для водостоков и др. Следует отметить, что в настоящее время в пределах территории Москвы протекает более 140 рек и ручьев, расположено более 360 водоемов естественного и искусственного происхождения, из которых 170 – русловые, а общая площадь водного зеркала всех водных объектов в пределах города составляет 900 га [27]. Сейчас 40 рек и ручьев полностью забраны в коллекторы и утрачены, 55 речек открыты только на 10-50%, лишь 38 рек – сохранили естественные (открытые) русла.

Погребенные земляные выемки, существующие в городах, вызывают резкую смену характеристик грунтов на небольших площадях, что в значительной мере осложняет инженерно-геологические условия территорий и изменяет их гидрогеологический режим. Состав насыпей обусловлен в основном двумя факторами: геолого-геоморфологическими условиями местности и историей развития территории [80]. В целом насыпи представлены песчано-глинистыми грунтами, содержащими грубообломочный материал, являющийся продуктом разрушения и перестройки различных сооружений. В культурном слое установлено присутствие сильногумусированных грунтов, характеризующихся обильным содержанием древесных остатков, фекальных отходов животноводства и т. п. Такие грунты отличаются значительной сжимаемостью и гидрофильностью, слабой во-

доотдачей, малой прочностью к касательным напряжениям. Постоянное увеличение мощности техногенных отложений обуславливает «врастание» стен древних сооружений в землю, что способствует нарушению поверхностного стока, миграции влаги на контакте грунт-памятник и приводит к активизации физико-химических процессов. Например, на территории комплекса оборонительных сооружений северо-западных и центральных районов России получили развитие следующие инженерно-геологические процессы [80]: подъем уровня грунтовых вод и подтопление территории, выраженные (сезонные) колебания уровня грунтовых вод, механическая деформация грунтов, температурные деформации строительных конструкций и грунтов, выветривание искусственных и естественных строительных материалов, окисление органики, гниение свай и лежней, заболачивание естественных и искусственных водотоков и водоемов.

Строительство высотных зданий обуславливает увеличение статистических нагрузок, под влиянием которых изменяется напряженное состояние грунтовой толщи, структура и некоторые физико-механические свойства пород естественных оснований, чаще всего в следующих направлениях: увеличиваются – плотность, степень плотности, показатель уплотненности, коэффициент дегидратированности, модуль деформации, степень сжатия, угол трения, сцепление; уменьшаются – влажность, пористость, коэффициент пористости, модуль осадки, показатель консистенции, коэффициент уплотнения и др. [43]. Динамическое воздействие в городах реализуется через вынужденные механические колебания, создаваемые в грунте различными источниками (табл. 7). Основная часть колебательной энергии передается поверхностными волнами, распространяющихся в пределах самой верхней части грунтовой толщи (до 10-15 см) [29, 30]. Поэтому как сами грунтовые массивы, так и все коммуникации, фундаменты зданий и большинство подземных сооружений оказываются подверженными вибрации, воздействие которой на грунты может приводить к изменению рельефа поверхности и ухудшению механической устойчивости пород. Динамические нагрузки, добавляясь к действующим статистическим, способствуют уплотнению грунтов, сдвиговым деформациям, разрушению структурных связей.

Таблица 7. Источники динамического воздействия в городах [30]

Источник динамического воздействия (вибрации)	Виброскорость, мм/с
Рельсовый транспорт	160-0,3
Промышленные установки	5-0,05
Строительная техника	1,6-0,002
Автомобильный транспорт	0,07-0,005
Дневной фон в городе	0,02-0,006
Ночной фон в городе	0,01-0,003
Уровень микросейсм (в несейсмичных районах)	≤0,5
Безопасный «инженерно-геологический» уровень	0,225
Безопасный физиологический уровень	0,12

Во многих промышленно-урбанизированных районах мира отмечается явление оседания поверхности, вызванное искусственным понижением зеркала подземных вод и(или) снятием пластового давления. Динамика развития оседания при водопонижении в общем случае зависит от интенсивности водоотбора, от величины изменения уровня или напоров, от геологического строения и морфологии района, от способности пород к сжимаемости и от мощности сжимаемых толщ [14]. Считается, что оседание поверхности земли связано в основном с дегидратацией глин и их консолидацией. Так, наибольшие оседания поверхности отмечаются при преобладании в геологическом разрезе глин и(или) песчано-глинистых переслаивающихся пород, в основном молодого возраста и в связи с этим неуплотненными, причем при снижении напорных уровней до 50-110 м оседание дневной поверхности достигает 2-3 м (и более) и прослеживается на площадях, составляющих не-

редко тысячи квадратных километров. В результате оседания поверхности повышается уровень грунтовых вод, происходит подтопление и заболачивание местности и т. д. Например, в г. Бангкоке уже к началу 1980-х гг. чрезмерная эксплуатация подземных вод привела к масштабным оседаниям слоев морских отложений между водоносными горизонтами [60]. В результате этого нарушилась поверхностная система дренажа, на мостовых и тротуарах города появились трещины, а интенсивность проседания земной поверхности в восточной части города, территория которого находится на высоте всего 1-2 м над уровнем моря, достигла 100 мм в год. Уровень воды в основных пластах на глубине 100 м и более понижался со скоростью 2,5 м в год, что вызвало вторжение в водоносные горизонты морской (соленой) воды и заставило отказаться от эксплуатации ряда скважин. Следует отметить, что последнее явление, обусловленное интенсивным отбором подземных вод, типично для многих приморских городов, что вызывает резкое ухудшение (засоление) эксплуатируемых водоносных горизонтов [60, 138, 142]. При уменьшении водоотбора и повышении уровня подземных вод опускание земной поверхности прекращается и нередко наблюдается ее подъем. Как правило, оседание земной поверхности вызывается не только интенсивной эксплуатацией подземных вод, но и различными строительными работами, связанными с освоением подземного пространства городов, с утечками сточных вод из подземных коллекторов и т. д.

В общем случае инженерное освоение подземной сферы городов и эксплуатация подземных вод оказывают существенное влияние на изменение условий взаимосвязи поверхностных и подземных вод, вызывают осушение почвогрунтов за счет снижения уровня грунтовых вод, что приводит к угнетению или гибели растительности, способствует просадке земной поверхности, что связано с процессами вторичной консолидации осушенных пород и депрессионным уплотнением песчано-глинистых толщ при снижении пластового давления, а также вызывает интенсификацию суффозионно-карстовых процессов и др. [14]. Например, в г. Москве активизация карстового процесса тесно связана с техногенным нарушением естественной гидродинамической и гидрохимической обстановки [53]. Образование провалов, обусловленных развитием депрессионных воронок, наблюдалось во многих странах мира, причем на урбанизированных территориях в большинстве случаев провалы образуются без каких-либо предвестников [14].

В пределах городских территорий наблюдается активизации, особенно по берегам рек, оползневых процессов [54]; изменяются гравитационное, температурное, электрическое, магнитное и другие физические поля, создаются шумовое и вибрационное поля [29, 30]. Формирующиеся в геологическом фундаменте городов поле блуждающих токов обуславливает изменение коррозионных условий, что интенсифицирует коррозию фундаментов зданий и т. д. Геотемпературные аномалии (так называемое тепловое, или термальное, загрязнение) обычно наиболее интенсивно развиваются на средних глубинах (в 10-30 м), что приводит к изменению инженерно-геологических условий на отдельных участках грунтов [30, 87, 88] (табл. 8).

Таблица 8. Основные источники теплового воздействия в городах [30]

Источник теплового воздействия	Температура источника, °С
Подземные газоходы промышленных предприятий	160-140
Теплотрассы	150-50
Сборные коллекторы, коммуникационные туннели	45-35
Туннели метрополитена, подземные сооружения	25-18
Грунт, замороженный при строительстве	от -10 до -26
Сжиженный газ в подземных хранилищах	-160
Естественная температура горных пород	от -2 до -10

Температурные аномалии нередко выходят за пределы городов. Например, в Московской области тепловое загрязнение распространено на 30-40% ее территории, но особенно интенсивно прослеживается в пределах некоторых городов, а также в г. Москве и лесопарковом защитном поясе [58]. По данным разновременных измерений, максимальные значения температуры в пределах территорий крупных старых заводов достигают 40-45°C, в районах жилой застройки – 20-22°C, в агро-районах – 12-16°C. Увеличение температуры отмечается во всех эксплуатационных каменноугольных комплексах в пределах г. Москвы и ряда городов Московской области, где она достигает в среднем 9-10°C на общем фоне 6-7°C, а в центре Москвы – 20°C (воды подольско-мячковского горизонта). К настоящему времени в пределах подземного пространства г. Москвы ниже постоянных температурных максимумов сформировалась зона с обратным температурным градиентом мощностью около 100 м, в пределах которой температура повысилась в среднем на 1,1°C [14]. Повышение температуры подземных вод обуславливает увеличение их растворяющей и транспортирующей способности, стимулирует многие химические и биогеохимические явления и процессы, прямо или косвенно влияющие на характер и интенсивность протекания подземной коррозии.

### Гидрогеологические особенности городов

Для промышленно-урбанизированных районов характерна смена естественного режима грунтовых и подземных вод на так называемый неустановившийся антропогенный режим городского типа [42]. Техногенное воздействие сопровождается изменением условий питания и разгрузки подземных вод и влажностного режима грунтовых толщ, исчезновением и появлением новых водоносных горизонтов, в том числе верховодки, формированием депрессионных воронок, зон подпора, нарушением сложившихся гидравлических связей поверхностных, грунтовых и подземных вод, трансформированием состава и состояния горных пород и активизацией неблагоприятных инженерно-геологических процессов [14, 15, 33, 40, 43, 88, 99, 108]. Обычно наиболее существенные изменения гидрогеологических условий свойственны большим городам, а также поселениям, где подземные воды активно используются для промышленного и хозяйственно-бытового водоснабжения. Тем не менее установлено, что техногенные изменения подземных вод характерны и для тех городов, где водоснабжение почти целиком базируется на поверхностных источниках, причем направленность таких изменений сдвинута в сторону ухудшения качества подземных вод [106].

Интенсивная эксплуатация подземных вод для водоснабжения городов (и активное освоение их подземной сферы) обуславливают развитие различных процессов, вызывающих изменение гидродинамических и геохимических условий в водоносных горизонтах, в том числе, понижение пьезометрического уровня и образование депрессионных воронок, осушение смежных водоносных горизонтов, изменение качества подземных вод, условий питания и разгрузки водоносных горизонтов, изменение ландшафта [15]. Депрессионные поверхности уровней или напоров подземных вод могут достигать значительных размеров (глубина 50-150 м и более, радиусы – десятки километров); известны понижения уровней, достигающие нескольких сотен метров, а понижения, исчисляемые первыми десятками метров, встречаются повсеместно [14].

В центральных частях Московской области эксплуатация подземных вод каменноугольных отложений для целей водоснабжения привела к частичному осушению эксплуатируемых водоносных горизонтов на значительной части г. Москвы и к понижению уровня подземных вод [28]. При этом величина перетекания подземных вод из четвертичных и мезозойских отложений в нижележащие каменноугольные горизонты превышает соответствующую величину в относительно естественных условиях (до начала водоотбора) в 15 раз. В г. Фениксе (шт. Аризона, США) с 1960 г. отбор подземных вод достигал 2775 млн. м<sup>3</sup>/год, а восполнение их составляло всего лишь 1233 тыс. м<sup>3</sup>/год

[118]. В г. Гянджа (Азербайджан) в результате водоотбора подземных вод ежегодное снижение уровня последних составляет 0,8-1,6 м [108]. В критических ситуациях наблюдается практически полное истощение эксплуатируемых водоносных горизонтов, что, в частности, проявлено в г. Эр-Рияде (Саудовская Аравия). Здесь чрезмерный водоотбор привел к тому, что один из трех водоносных горизонтов, содержащих пресные подземные воды, к настоящему времени уже практически полностью истощен [130]. В некоторых городах увеличивающаяся разница в напорах артезианских и грунтовых вод способствует перетеканию загрязненных поверхностных и грунтовых вод в глубокие горизонты подземных вод [77].

В городах существенно меняется характер инфильтрационного питания грунтовых и подземных вод. Например, в пределах г. Москвы только 30% инфильтрационного питания грунтовых вод формируется за счет атмосферных осадков, остальная часть определяется причинами и явлениями, связанными с функционированием городского хозяйства [18]. Установлено, что влияние инфильтрационного питания на уровень грунтовых вод за период хозяйственного освоения городской территории возросло в 2,5 раза. На территории г. Москвы сейчас установился повсеместно нисходящий характер фильтрации, разгрузка каменноугольных водоносных горизонтов в реки прекратилась и осуществляется главным образом эксплуатационным водоотбором и шахтным водоотливом. Разгрузка четвертичных водоносных горизонтов в реки и искусственные дренажные сооружения за последние 80-90 лет увеличилась в 2-2,5 раза, т. е. модуль подземного стока рек остался примерно таким же, как и в относительно естественных условиях. Для оценки величины питания на территории Москвы авторами [28] была решена обратная задача геофильтрации, воспроизводящая ситуацию 1986 г. Установлено, что средняя величина инфильтрационного питания в жилых районах составляет 200-220 мм/год, в промзонах 250-280, в целом для территории Москвы средняя величина инфильтрационного питания достигает 230 мм/год, что в 2-3 раза выше, чем в ненарушенных условиях (табл. 9). Полученная закономерность в распределении питания грунтовых вод в общем достаточно тесно увязывается с водоподачей в городские районы.

Таблица 9. Оценка величины питания грунтовых вод на территории Москвы (расчет для 1986 г.) [28]

Тип застройки	Питание, мм/год			
	жилая зона	промзона	скверы и парки	лесопарки
Застройка в пределах Садового кольца (время застройки до 1900 г., пористость 0,8-0,9)	100-200 150	– –	100-200 –	– –
Застройка между Садовым кольцом и окружной железной дорогой (время застройки 1900-1950 гг., пористость 0,6-0,8)	120-250 200	250-450 300-350	100-200 –	– –
Застройка между Окружной железной дорогой и МКАД (время застройки 1950-1987 гг., пористость 0,4-0,6)	30-150 50	250-450 300-350	100-200 –	50-100 –

В большинстве случаев при эксплуатации подземных вод происходит уменьшение подземного стока в реки и возникновение фильтрации поверхностных и речных вод в водоносный горизонт. Такие явления особенно резко проявляются в тех случаях, когда водозаборы располагаются вблизи областей питания или разгрузки водоносных горизонтов. Величина сокращения речного стока при эксплуатации подземных вод и ее изменение во времени зависят от большого количества факторов, при этом следует учитывать, что период этого сокращения, как правило, растягивается во времени. По данным [84], на участках существования депрессионных воронок обычно наблюдается уменьшение (на 5-25% от годовых величин) речного стока (главным образом за счет сокращения подземного притока и в меньшей степени из-за снижения фильтрации речных вод). Исследования в Ме-

щерской низменности (юго-восточнее г. Москвы) показали, что модуль подземного питания рек, оказавшихся в пределах депрессионной воронки, понизился на 50% по сравнению с бассейнами с ненарушенными условиями, а норма общего стока этих рек уменьшилась на 20% [26]. Имеющиеся сведения показывают, что существенное влияние отбор подземных вод оказывает только на сток малых рек, причем известны случаи, когда в связи с эксплуатацией подземных вод малые реки на отдельных участках полностью пересыхали [14].

Для многих городов серьезной проблемой является повышение уровня грунтовых вод, что сопровождается развитием подтопления территорий, в результате чего грунтовые воды достигают глубины расположения основной части подземных коммуникаций, подвалов зданий и сооружений. Основными факторами, обуславливающими подтопления, могут быть расширение площади асфальтовых покрытий, увеличение питания грунтовых вод при утечках из водонесущих коммуникаций, фильтрация из прудов и строительных котлованов, инфильтрация поливочных вод, интенсивное таяние снега над теплонесущими коммуникациями и подземными сооружениями, изменение рельефа при строительных работах, подпор подземного потока фундаментами зданий и др. Сейчас только в России в подтопленном состоянии находятся более 2000 населенных пунктов, в т. ч. целые районы многих городов [7]. Подтоплению подвержены крупные предприятия металлургической, химической и перерабатывающей промышленности. По данным [36], на территории России подтапливаются около 900 городов, более 500 поселков городского типа и тысячи мелких населенных пунктов, 256 элеваторов. Площадь подтопленных застроенных территорий составляет более 8000 км<sup>2</sup>.

В г. Хабаровске на участках активного промышленного освоения в глинистых грунтах получила широкое распространение верховодка (на глубине 1-5 м), хотя еще 15-20 лет назад она здесь практически не встречалась [82]. Ее формирование связано с появлением дополнительных техногенных источников питания подземных вод (утечек и инфильтрации воды из коммуникаций и искусственных водоемов). Помимо верховодки, в толще насыпных грунтов образуются техногенные водоносные горизонты со специфическим режимом питания и особым химическим составом воды. При подтоплении в большинстве случаев резко интенсифицируется корродирующая способность воды по отношению к бетонным, металлическим и другим конструкциям. Подтопление активно воздействует на состав, состояние и свойства пород, увеличивая их влажность, ослабляя структурные связи, способствуя развитию набухания, размокания, снижению прочности и повышению деформируемости пород [14]. Например, в результате подтопления некоторых районов г. Усть-Илимска прочность четвертичных суглинков снизилась на 15-20%, а их деформируемость возросла на 10-20%. В г. Будапеште только за период с 1977 по 1982 г. было зарегистрировано около 2000 случаев затопления подвалов и подтопления территорий в результате подъема подземных вод [134]. Определенную роль в формировании обводненных участков играют утечки из водопроводных и канализационных сетей. Например, утечки из старой муниципальной водопроводной системы в г. Каире привели к развитию обширных обводненных участков в пределах городской застройки [139]. По данным [60], в 1978 г. потери воды в системе водоснабжения Каира составляли 1 млн. м<sup>3</sup>/сут. (или 47% от общего количества подаваемой в водопроводы). В г. Баку в начале 1990-х гг. утечки из водонесущих коммуникаций в подземные горизонты достигали 170 тыс. м<sup>3</sup>/сут. [108]. В результате этого в ряде районов города скорость подъема уровня грунтовых вод составила 1,5-7 м в год. Расчеты показали, что в приходных статьях баланса грунтовых вод на долю искусственных факторов приходится более 90%, на долю естественных – около 10%.

Нередко в пределах крупных городов оба явления – снижение уровня грунтовых (подземных) вод и подтопление – могут проявляться одновременно. Например, в г. Дессау (Германия) в период 1965-1990 гг. в результате отбора подземных вод произошло снижение уровня последних на 2-3 м на значительных площадях [136]. В последующее десятилетие из-за значительного сокращения во-

доотбора (в 10-12 раз) наблюдалось повышение уровня грунтовых вод, которые сейчас во многих районах города залегают на глубине 0,5-1 м, что привело к многочисленным подтоплениям и затоплению подвальных помещений.

Режим грунтовых вод на городских территориях, по мнению [137], во многом определяется следующими факторами: 1) изменением инфильтрационных процессов, связанного с перекрытием части земной поверхности водонепроницаемыми экранами; 2) избыточным пополнением грунтовых вод участках свободной инфильтрации, что обуславливает подъем их уровня; 3) инфильтрацией сточных вод, что приводит к повышению минерализации грунтовых вод, в особенности за счет таких консервативных элементов, как хлор и натрий (например, в западной части Нидерландов годовая поставка хлора сточными водами городов составляет 180 тыс. т). Считается, что чаще всего на городских территориях наблюдается естественно-техногенный режим грунтовых вод, при котором изменение приходных и расходных составляющих баланса грунтовых вод приводит к отклонениям (иногда существенным) в суточных, декадных, сезонных колебаниях уровня от типовых графиков естественного режима, в целом не изменяя характер годового колебания [89]. Обычно для естественно-техногенного режима грунтовых вод на подтапливаемых территориях характерно постепенное повышение поверхности грунтовых вод при сохранении закономерностей сезонных колебаний. Особую роль играет так называемое сезонное подтопление. В грунтах зоны аэрации формируются техногенные водоносные горизонты [36], меняется состав поровых растворов, которые являются накопителями загрязняющих веществ и играют роль мигранта последних, способствуя формированию обширных ореолов загрязнения [65].

Для промышленно-урбанизированных территорий характерно химическое и бактериальное загрязнение грунтовых и подземных вод, причем грунтовые воды интенсивно загрязнены как в пределах городов, так и в долинах рек ниже городов. Типичной особенностью грунтовых вод городских территорий является выраженная неоднородность их химического состава, причем наибольший уровень загрязнения отмечается в грунтовых водах старой городской застройки (табл. 10).

Таблица 10. Химический состав грунтовых вод селитебной зоны города, мг/л [99]

Период	Минерализация	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Район старой жилой застройки									
Март-апрель	1620 * (460-4280)**	7,67 (5,4-9,7)	380 (60-630)	35 (1-1200)	200 (20-770)	220 (20-1860)	190 (20-510)	120 (4-380)	90 (5-270)
Август-сентябрь	1650 (560-3860)	7,21 (6,7-9,1)	350 (130-530)	390 (12-1870)	260 (30-560)	220 (40-670)	160 (10-380)	160 (4-440)	110 (12-270)
Район новой жилой застройки									
Март-апрель	920 (280-2000)	7,76 (7,0-10,1)	320 (90-570)	40 (0-500)	140 (20-510)	150 (20-45)	130 (0-420)	60 (2-230)	60 (2-240)
Август-сентябрь	1050 (400-2460)	7,68 (6,2-9,6)	290 (160-690)	50 (0-700)	220 (20-720)	220 (0-490)	1700 (10-250)	60 (4-430)	70 (1-110)

\* Среднее; \*\* интервал.

В пределах г. Москвы (бассейн Яузы) выявлено (режимными наблюдениями по сети скважин) площадное изменение окислительно-восстановительных условий в грунтовых водах. Величины pH по сравнению с естественными условиями снизились с 7,8 до 4,3 [23]. В нарушенных условиях величина инфильтрационного питания может достигать 500-600 мм, что соответствует норме выпадения атмосферных осадков. Для естественных условий эта величина не превышает 80-120 мм/год. В городе на протяжении всего года происходит пополнение грунтовых вод за счет утечек из подземных коммуникаций. Закисление грунтов сопровождается уменьшением гидрокарбонатов, кальция, магния и увеличением сульфатов, хлоридов, нитратов, алюминия, марганец, кадмия, медь и других

элементов. Динамические изменения состава грунтовых вод объясняются увеличением темпов водообмена.

На формирование состава грунтовых вод в пределах урбанизированных территорий большое влияние оказывают широко развитые здесь культурные слои [38]. Например, в г. Казани на поверхности пойменной террасы лежит или мощный культурный слой, или толща песков, намытая во время и после строительства Куйбышевского водохранилища. Установлено [98], что химический состав грунтовых вод, развитых в культурном слое, заметно отличается от такового в естественных грунтах, что связано, в первую очередь, с присутствием в техногенных отложениях большого количество легко окисляемых органических веществ, а также сульфатов (до 500-800 мг/л и более) и хлоридов (до 1300-1800 мг/л и более). В таких водах продуцируется больше различных газов (метана, сероводорода, углекислого газа, аммиака). При обводнении культурного слоя на локальных участках создаются восстановительные условия; воды обогащаются аммонийным азотом (до 300-500 мг/л и более). В окислительной обстановке в нижней части города содержание нитратов часто превышает 200 мг/л. Для загрязненных вод характерно высокое содержание слабых кислот, которые увеличивают агрессивность вод.

Техногенез нередко обуславливает глубокую метаморфизацию общего состава грунтовых вод и их выраженную пространственную гидрохимическую пестроту, когда в пределах небольшой территории встречаются разнообразные по составу воды (табл. 11). Например, в пределах г. Перми в подземных водах зоны активного водообмена, наряду с преобладанием зональных гидрокарбонатно-кальциевых вод, отмечено множество автономных, в которых преобладают сульфатный, нитратный, реже хлоридный ионы; развиты многокомпонентные гидрохимические фации (Бельтюков, Двинских, 1991). Аналогичные явления характерны для многих городов мира

Таблица 11. Состав грунтовых вод различных по хозяйственному освоению районов Московского региона [16]

Территория	Минерализация, г/л	Встречаемость вод различного типа, %					
		Гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные	Хлоридные	Гидрокарбонатно-сульфатные	Сульфатно-гидрокарбонатные	Гидрокарбонатно-нитратные	Нитратно-гидрокарбонатные
Промзона	3,5	20	10	30	20	15	5
Город	2,8	42	2	30	8	13	5
Пашня	0,6	30	2	25	3	33	7
Луга	0,5	70	–	20	–	8	2
Лес	0,4	80	–	20	–	–	–

Существенные химические изменения наблюдаются и в артезианских водах, особенно в связи с их эксплуатацией для водоснабжения городов, что также приводит к трансформации химического состава (изменению уровней содержания отдельных компонентов) и к глубокой метаморфизации (изменению химического класса) подземных вод. В общем случае ухудшение качества подземных вод в результате деятельности человека сопровождается следующими гидрогеохимическими явлениями [44-48]: 1) формированием техногенных региональных гидрогеохимических провинций загрязненных вод, 2) возрастанием экологической опасности отдельных групп органических соединений, 3) образованием новых более токсичных и хорошо мигрирующих форм химических элементов.

Как известно, оптимальные для водоснабжения кислородсодержащие подземные воды имеют окислительно-восстановительный потенциал порядка +350-+500 мВ. Такие значения Eh вод определяют невозможность увеличения в них концентраций железа, марганца, аммонийного азота, фосфора, соединений тяжелых металлов с неокисленными органическими веществами [47, 48]. Техногенное воздействие приводит к снижению потенциала вод верхних водоносных горизонтов [46]. При-

чиной такого снижения чаще являются неокисленные органические вещества, поступающие со сточными водами. Эти вещества потребляют кислород на свое окисление, а также вызывают анаэробные и аэробные биохимические процессы. В результате содержание кислорода в грунтовых водах снижается до 1-3 мг/л (при обычных 10-12 мг/л в незагрязненных водах); Eh этих вод уменьшается с нормальных 400-500 мВ до +250 и менее [46, 48]. Последствия этого – создание благоприятной геохимической среды для миграции и накопления в подземных водах аммония и фосфора. При низких Eh и высоких концентрациях органического вещества происходят биохимические трансформации азота в ряду  $\text{NO}_3 - \text{NO}_2 - \text{NH}_4$ , а также формируются соединения фосфора с органическим веществом [45]. Вследствие образования таких соединений геохимические барьеры, создаваемые в естественных условиях катионами кальция и железа, оказываются недейственными, они уже не лимитируют распространение фосфора, и он приобретает способность накапливаться до высоких концентраций. В этих же водах происходит накопление всего комплекса элементов, восстановленные соединения которых более растворимы, чем окисленные (железо, марганец и др.). Как уменьшение, так и увеличение потенциала приводит к росту концентраций переменного-валентных компонентов. Снижение Eh имеет своим следствием увеличение концентраций  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , а его увеличение – рост селена, цинка, меди, свинца, кадмия.

#### Городские системы водоснабжения и водоотведения

В настоящее время системы водоснабжения и канализации городов являются неотъемлемой и важнейшей частью общегородских инженерных коммуникаций, представляющих собой сложные и масштабные сооружения и включающих, кроме того, системы теплоснабжения, газоснабжения, электроснабжения, телефонные кабельные линии и др. [4] (табл. 12).

Таблица 12. Протяженность водопроводных и канализационных (без ливневой канализации) сетей, водозабор и водоотведение (с очистных сооружений) в некоторых городах России (обобщение сведений, приведенных в [91])

Город	Население, тыс. чел.	Водопровод, км	Канализация, км	Водозабор, тыс. м <sup>3</sup> /сут.	Водоотведение, млн. м <sup>3</sup> /год
Новосибирск	1367,7	1200	–	850	550-570
Уфа	1096,4	–	470	1534	–
Волгоград	1000,3	1690	687*	–	–
Ижевск	654,5	699	595,2	–	105
Краснодар	648,3	1000	1210**	320	100
Хабаровск	616,3	470	–	422	110
Оренбург	532,1	670	–	316	79
Пермь***	1075	565,1	299	524	107
Тюмень	496,5	782,2	460	230-250	56
Курган	362,7	–	188	240	65
Орск	274,6	292,8	–	258	–
Шадринск	88,1	–	39,6	14,8	7,3

\* Из них 77 км магистральных коллекторов; \*\* из них 560 км ливневой канализации; \*\*\* по [145].

Например, в г. Москве подземные инженерные коммуникации характеризуются следующими параметрами [93]: более 3000 км магистральных теплосетей, около 10000 км трубопроводов, подводящих к зданиям тепло и горячую воду, свыше 10000 км водопроводных сетей, около 7000 км канализационных сетей, примерно 6500 км газопровода. Указанное сетевое хозяйство Москвы включает трубопроводы диаметрами от 50 мм до 5,6 м, а максимальная глубина их заложения достигает 50 м. Плотность подземных сетей коммуникаций достигает 450-500 м на 1 тыс. м<sup>2</sup> [9]. К этому надо доба-

вить коллекторы ливневого стока (в пределах г. Москвы известно более 1000 выпусков, по которым в р. Москву и ее притоки практически без очистки сбрасывается поверхностный сток с городской территории [113]), а также силовые и слаботочные кабели и линии связи, которые оказывают воздействие на геологический фундамент города и изменяют его свойства [9]. В 1990 г. общая протяженность всех трубопроводов холодного водоснабжения Москвы составляла более 800 км, из них около 70% приходилось на стальные, 30% – на чугунные, менее 1% – на железобетонные, полиэтиленовые и поливинилхлоридные трубы [13]. В г. Саранске (население около 320 тыс. чел.), где интенсивно эксплуатируются подземные воды, система водоснабжения включает более 100 артезианских скважин, 425 км водопроводных сетей и водоводов, 16 водопроводных насосных станций 2-го, 3-го и 4-го подъемов, 24 резервуара чистой воды с общим объемом 45,6 тыс. м<sup>3</sup>. Кроме того, в городе эксплуатируется 10 насосных канализационных станций, 318 км канализационных сетей и коллекторов, а также очистные сооружения с полной биологической очисткой, производительность которых составляет 160 тыс. м<sup>3</sup>/сут. В г. Перми в 2003 г. имелось 16 водопроводов и 29 отдельных водопроводных сетей [145]. Одиночное протяжение уличной водопроводной сети составляло более 565 км (57% ее нуждается в замене). Кроме того, в городе функционировали 2 канализации и 23 отдельных канализационных сети. Одиночное протяжение уличной канализационной сети составляло около 299 км, из которых 55,3% нуждается в замене. В США для типичного города с населением 100 тыс. чел. общая протяженность сточных коллекторов достигает 840 км, из которых 426 км приходятся на домовые подсоединения; число смотровых колодцев составляет 3485 [76]. В г. Нагоя (Япония) в начале 1990-х гг. функционировало 15 станций очистки сточных вод общей мощностью 1780500 м<sup>3</sup>/сут., причем канализационным обслуживанием было охвачено 89% городского населения [68]. Водоснабжение г. Гамбурга и его пригородов обеспечивается работой 21 водозаборов, эксплуатирующих воды трех водоносных горизонтов [138].

В общем случае системы водоснабжения городов включают водозаборные сооружения, насосные станции, водонапорные башни или гидропневматические устройства, резервуары чистой воды, водоводы, магистральные, разводящие и внутриквартальные сети, водозаборные колонки, охлаждающие устройства, смотровые колодцы, упоры, переходы, дюкеры и другие сооружения [3, 4, 74]. Анализ особенностей систем водоснабжения 34 крупнейших городов мира, описанных в [107], показывает следующее. Прежде всего, в большинстве из них источниками водоснабжения служат реки или созданные на них водохранилища (яркий пример – система водоснабжения г. Москвы). Общее удельное водопотребление в городах изменяется от 200 до 800 л/сут. на человека. Коэффициенты суточной и часовой неравномерности водопотребления составляют более 1,2 и 1,5 соответственно. Непосредственно на нужды населения расходуется до 60-70% общего количества поступающей в системы водоснабжения воды (табл. 13).

Таблица 13. Нормы коммунального водоснабжения для населенных пунктов [31]

Степень благоустроенности зданий	Норма, л/сут. на одного жителя		Коэффициент неравномерности	
	Среднесуточная за год	Максимальная суточная	K <sub>сут</sub>	K <sub>час</sub>
Водопровод, канализация, централизованное горячее водоснабжение	275-400	300-420	1,09-1,05	1,25-1,20
Водопровод, канализация, ванны с газовыми колонками	180-230	200-250	1,11-1,09	1,0-1,25
Водопровод, канализация, без ванн	125-150	140-170	1,12-1,13	1,50-1,40
Без водопровода и канализации	39-50	40-60	1,33-1,20	2,00-1,80

Примечание. Верхний предел относится к южным, нижний – к северным районам.

В России поверхностные источники водоснабжения имеют ведущее значение для существенной части ее регионов, что, с утилитарной точки зрения, и определяет важность охраны рек от техногенного загрязнения (табл. 14-16).

Таблица 14. Забор воды на различные нужды в пределах речных бассейнов России, млн. м<sup>3</sup>/год [91]

Бассейн реки	Общий забор воды	Забор воды из источников		
		подземных	поверхностных	Доля поверхностных, %
Северной Двины	1030	54	976	94,8
Печоры	593	113	480	81
Оби	7510	1535	5975	79,6
Енисея	3612	631	2981	82,5
Лены	323	63,57	171,17	73
Индиگیрки	7,63	0,42	7,21	94,5
Колымы	88,9	10,5	78,4	89,2
Анадыря	3,4	0,3	3,1	91,2
Амура	949,8	423,6	526,2	55,4
Невы	1480	29,6	1450,4	98
Дона	9976	1504	8472	84,9
Кубани	10865	460	10450	95,8
Волги	28571	4285	24286	85
Урала	2323,2	403,2	1920	82,6

Таблица 15. Водопотребление в Центральном и Центрально-Черноземном районах России, тыс. м<sup>3</sup>/сутки \*

Область	Всего	Подземные воды	Поверхностные воды	Доля поверхностных вод, %
Центральный экономический район				
Брянская	651,9	477,2	174,7	26,8
Владимирская	1114	562,1	551,9	49,5
Ивановская	990,4	234,2	756,7	76,4
Калужская	506,3	364,6	141,7	28
Костромская	3541,7	87,8	3453,9	97,5
Московская	6536,6	3454,7	3081,9	47,2
Москва	5053,8	183,5	4870,3	96,4
Орловская	558,1	390,6	167,5	30
Рязанская	785,5	454,4	331,1	42,2
Смоленская	845,1	474,7	370,4	43,8
Тверская	3410,4	569,6	2840,8	83,3
Тульская	1451	946,2	504,8	34,8
Ярославская	1001,7	129,9	871,8	87
Всего	26449	8329,5	18119,5	68,5
Центрально-Черноземный район				
Белгородская	945,3	883,6	61,7	6,5
Воронежская	2391,4	1322,4	1069	44,7
Курская	1179,8	705,9	473,9	40,2
Липецкая	1115,2	686,3	428,9	38,5
Тамбовская	722,2	594,5	127,7	17,7
Всего	6353,9	4192,7	2161,2	34
Итого	32802,9	12522,2	20280,7	61,8

\* Рассчитано по данным [55].

Как правило, в быв. СССР и сейчас в России в среднем до 85,5% свежей воды после ее применения в промышленности сбрасывается в водные объекты [6], т. е. коэффициент использования свежей воды очень низок. Это является следствием слабого развития систем оборотного использования воды и ее существенными потерями при транспортировке к потребителю (так называемые скрытые утечки воды). В частности, установлено, что если уровень грунтовых вод оказывается вы-

ше коллектора водопровода (или канализации), то просачивание воды из него может достигать 50-5000 л/сут/км/мм (в сутки и на 1 км длины и на 1 мм диаметра коллектора) и до 400 л в сутки – на смотровой колодец [76]. В общем случае количество скрытых утечек в системах подачи и распределения воды весьма различно и зависит от материала и диаметра труб, от конструкции стыковых соединений, от качества их монтажа, периода эксплуатации, подготовки основания, характера грунтов, колебаний внутренних давлений и др. Огромное число стыковых соединений, достигающее 100-160 на 1 км водопроводной сети, априори предопределяет утечки воды. Например, в 1987 г. в г. Москве суточные потери чистой воды в квартальных сетях составляли 23 л/чел., а собственно расходы на культурно-бытовые нужды – 30 л/чел. [78]. В 1990 г. в г. Москве общая величина потерь воды из подземных трубопроводов в результате повреждений оценивалась примерно в 200 тыс. м<sup>3</sup>/сут. (почти 5% от общей подачи воды) [13]. Аналогичная ситуация типична для систем водоснабжения многих российских городов, где потери свежей воды (главным образом из-за изношенности водопроводных сетей) составляют до 25-40% и больше от общей водоподачи [91].

Таблица 16. Распределение городов быв. СССР по источникам водоснабжения, % от общего числа городов [34].

Численность населения, тыс. чел.	Воды		
	подземные	поверхностные	смешанные
До 50	74	15	11
51-100	57	21	22
101-250	46	24	30
251-500	39	34	27
501-1000	34	28	38
Более 1000	5	41	54

В общем случае в городах существуют две группы источников загрязнения, определяющие основные способы поставки поллютантов в реки (рис. 1). Первую группу составляют точечные источники, осуществляющие сброс сточных вод в водотоки по системам канализации (канализационный сток города). В большинстве городов таким основным источником являются общегородские очистные сооружения, принимающие бытовые и производственные сточные воды и сбрасывающие их после очистки в водные объекты (общегородской канализационный сток). В промышленных городах отведение сточных вод, минуя городскую канализацию, производится также с локальных очистных сооружений предприятий (локальный канализационный сток). Качественные и количественные характеристики канализационного стока зависят от размера города и численности городского населения, особенностей промышленной инфраструктуры, используемых систем сбора, очистки и отведения сточных вод.

Вторая группа объединяет неточечные (площадные) источники загрязнения: сток с территории города талых, дождевых и поливочных вод, внутрипочвенный сток и грунтовый сток (поверхностных стоков с промышленно-урбанизированных территорий). В некоторых городах определенное значение имеют снегосплав (сброс снега в водотоки), разгрузка загрязненных подземных вод и водный транспорт. В силу известных причин непосредственная поставка поллютантов в реки с атмосферными выпадениями несущественна, но она, однако, играет важную роль в формировании качественного состава поверхностного стока. При наличии в городах дренажной сети поверхностный сток с их определенной части может накапливаться в прудах-отстойниках и затем сбрасываться в водотоки (иногда с очисткой, главным образом механической и от нефтепродуктов). Тем не менее, с точки зрения условий формирования состава стока, такой способ поставки поллютантов в водотоки также относится к группе неточечных источников. Как правило, в дренажную (ливневую) канализацию поступают оросительные и поливочные воды. Качественные и количественные пара-

метры поверхностного стока с городской территории в существенной мере определяются гидрологическими особенностями города, его размерами, благоустроенностью, зависят от интенсивности поступления загрязняющих веществ на подстилающую поверхность и ее характеристик, в свою очередь обусловливаемых степенью очистки промышленных выбросов, существующими системами сбора промышленно-бытовых отходов и санитарной уборки городских территорий.



Рис. 1. Основные источники и пути поступления загрязнителей в городские реки.

Канализационный сток города включает производственные сточные воды и хозяйственно-бытовые сточные воды [24, 112]. В некоторых городах в систему канализации поступает и поверхностный сток с промплощадок предприятий и с территории города (так называемые поверхностно-ливневые стоки). В официальных статистических документах отводимые в пределах городов сточные воды обычно разделяют на загрязненные, нормативно очищенные, нормативно чистые сточные воды (например, от охлаждающих агрегатов). Как уже отмечалось, для приема, очистки, обеззараживания и отведения сточных вод за пределы промышленных предприятий и населенных пунктов создаются системы канализации, представляющие собой сложный комплекс инженерно-технических сооружений и устройств. Различают раздельную (полную и неполную), полураздельную, комбинированную и общесплавную системы водоотведения [4, 24, 76, 112]. В большинстве случаев удаление сточных вод осуществляется самотеком. Насосные станции обычно сооружаются перед очистными сооружениями или на отдельных участках канализационной сети, особенно в районах со сложным рельефом.

При полной раздельной системе прокладывают две самостоятельные подземные сети труб и каналов, из которых одна служит для отведения бытовых и загрязненных производственных сточных вод, а вторая – для отведения поверхностного стока (талых, дождевых, поливочных вод). При неполной раздельной системе поверхностный сток отводится по открытым лоткам и каналам. Первая сеть называется производственно-бытовой (транспортировка стоков на очистные сооружения), вторая – ливневой (по которой, как правило, осуществляется сброс стоков в ближайшие водные объекты). Следует отметить, что в сеть дождевой канализации наряду с водами поверхностного стока (дождевых, талых, поливочных) в ряде случаев разрешается сбрасывать дренажные воды,

а также условно чистые сточные воды, т. е. стоки, образующиеся, например, при охлаждении производственных установок и т. п.

Полураздельная система отличается от полной раздельной тем, что в ее составе предусматривается создание общесплавного главного коллектора, обычно расположенного вдоль водного объекта. Этот коллектор принимает сточные воды всех категорий для их транспортировки на общегородские очистные сооружения. Нередко в точках примыкания к главному общесплавному коллектору уличных коллекторов, предназначенных для отведения поверхностного стока, устраивают разделительные камеры, через которые при сильных ливнях вода полностью или частично сбрасывается в ближайший водный объект без очистки. Вода, аккумулируемая уличными дождевыми коллекторами при небольших дождях и первые наиболее загрязненные порции дождевых вод при любых дождях, а также талые и поливомоечные воды через разделительные камеры поступают в главный общесплавный коллектор и отводятся на очистные сооружения. В зависимости от района, местных условий и других факторов, в том числе, вследствие исторического развития водоотводящей системы города применяют различные комбинации систем водоотведения.

При общесплавной системе по одной сети труб и каналов (искусственных или естественных) отводятся сточные воды всех категорий; специальных коллекторов для удаления поверхностного стока в этом случае не устраивают. Таким образом, при необходимости очистки поверхностного стока такая система существенно уступает по основным показателям полураздельной системе. В принципе, с середины 1980-х гг. в быв. СССР, согласно существовавшим тогда требованиям, поверхностный сток с городских территорий перед его сбросом в водные объекты должен был очищаться [95, 97], однако это требование выдерживалось и сейчас в России выдерживается далеко не во всех городах, поскольку во многих из них отсутствует необходимая для этого дренажная сеть. В лучшем случае воды поверхностного стока предварительно аккумулируются в прудах-отстойниках, где подвергаются главным образом механической очистке, а затем сбрасываются в поверхностные водные объекты.

Для очистки и удаления производственных сточных вод, образующихся на промышленных предприятиях, используются три основных способа: 1) индивидуальная очистка на заводских локальных очистных сооружениях с последующим сбросом в водные объекты, 2) сброс стоков (иногда предварительно очищенных на локальных очистных сооружениях) в городскую канализацию (с последующим поступлением на общегородские очистные сооружения, куда, в свою очередь, поступает бытовой сток города), 3) комбинация указанных способов. Для очистки сточных вод применяются различные схемы и системы: предварительная очистка (удаление грубых включений, решетки, флотация), первичная очистка (отстаивание в сооружениях различного типа – пруды, первичные отстойники и пр.), промежуточная (добавление перед отстаиванием коагулирующих веществ, химическое осаждение), вторичная (биологическая обработка стоков), третичная (или доочистка – коагуляция и отстаивание, адсорбция, электролиз, биологическая денитрификация, обратный осмос, отделение пены, ионный обмен, дистилляция) [112]. Вторичная очистка обеспечивает в лучшем случае удаление 85-95% органических веществ. Этот процесс малоэффективен в отношении многих растворенных соединений, особенно металлов, и биогенных элементов. Дезинфекция стоков производится путем хлорирования (используют жидкий хлор, гипохлорат кальция или натрия), при этом жидкий хлор, растворяясь в воде, образует хлорноватистую кислоту и ион гипохлорита.

В большинстве случаев канализационный сток города характеризуется специфическим химическим составом и высокими содержаниями твердых взвешенных веществ (техногенного осадочного материала). Основными материальными продуктами (техногенными отложениями), в значительных объемах образующих в ходе городского водоснабжения и водоотведения, являются промышленные шламы, осадки городских сточных вод и осадки природных вод. Указанные техногенные

образования являются своеобразными аналогами осадочного вещества, поступающего в водотоки городских ландшафтов и определяющего ход и направленность процессов современного аллювиального седиментогенеза в реках урбанизированных районов.

Поверхностный сток с промышленно-урбанизированных территорий – дождевой, талый, поливочно-моечный – является важнейшим источником поставки различных поллютантов в реки городских ландшафтов, в том числе, техногенного осадочного материала. Основными источниками питания поверхностного стока осадочным материалом являются промышленная пыль, осаждающаяся на подстилающую поверхность, уличная пыль, загрязненные выбросами и отходами городские почвы и снежный покров, бытовые и промышленные отходы. П.-А. Малмквист и Г. Свенссон [129] считают, что состав дождевого стока достаточно хорошо предсказывается, если известны источники загрязнения и условия формирования поверхностного стока. В частности, они полагают, что состав стока определяется двумя группами факторов – так называемыми зависимыми факторами (интенсивность выпадения пыли, дождевых осадков, коррозии) и независимыми факторами (особенности планировки города, степень развития транспорта и промышленности, топография и геология местности, климатические условия, характер землепользования). Тем не менее, как правило, уровень нагрузки химическими компонентами поверхностного стока зависит от многих факторов и среди главных: интенсивность, периодичность и продолжительность дождя или периода снеготаяния, уровень загрязненности атмосферы, качественный и количественный состав аэрозолей, характер планировочной структуры поселений, особенности землепользования, интенсивность транспортного движения, геолого-геоморфологические условия территории, уровень ее благоустройства и технология уборки. Существенную роль играют плотность населения и наличие водонепроницаемых территорий, прямо отражающихся на уровнях содержания поллютантов в поверхностном стоке. Имеет значение также и площадь водосбора, но в данном случае с ее увеличением, как правило, снижаются удельные нагрузки стока загрязняющими веществами (за счет разбавляющего эффекта атмосферных вод, аккумуляирования части поллютантов в местных понижениях рельефа и дренажной сети, а также из-за инфильтрации).

Объемы отводимых в городах всех видов сточных вод чрезвычайно велики, причем до сих пор во многих странах значительная часть стоков сбрасывается без очистки или недостаточно очищенными. Например, в 1998 г. в России из общего объема сточных вод ( $66,2 \text{ км}^3$ ), поступивших в поверхностные водные объекты, около 39% ( $22 \text{ км}^3$ ) относились к категории «загрязненных». Основной объем таких вод поступил от промышленности (31%) и жилищно-коммунального хозяйства (55%) [20]. В целом в пределах городских территорий формируется сложная генетическая структура сточных вод, но, нередко, ведущая роль принадлежит сточным водам с общегородских очистных сооружений (табл. 17). В приводимом примере велика роль стоков ТЭЦ (типичная для многих городов ситуация), в большинстве случаев относимых к категории нормативно-чистых. Третью позицию занимает ливневой (поверхностный) сток с селитебных территорий. Доля локального канализационного стока (от предприятий) невелика, хотя очень часто именно он характеризуется наиболее высокими содержаниями многих поллютантов. Поверхностный сток с городских территорий является важным источником поступления в водные объекты техногенного осадочного материала (табл. 18).

#### Водный баланс города и его составляющие

Большие объемы водопотребления и, соответственно, водоотведения в городах в конечном счете приводят к тому, что структура водного баланса городских территорий, особенно наиболее урбанизированных их частей, претерпевает существенные изменения, а это, в свою очередь, сказывается на характере их вещественного обмена. Как правило, водоподача и водоотведение (включая

поверхностный сток с городской территории) являются главными элементами водного баланса городов и городских агломераций. Важно отметить, что изменяются и природные составляющие водного баланса промышленно-урбанизированных территорий, особенно за счет увеличения объемов поверхностного стока, снижения доли подземного стока и уменьшения испарения (табл. 19-23). Например, по расчетам [66], в 1940 г. поверхностный сток с урбанизированных территорий в бассейне р. Сейм составлял 0,5-1% зимне-весеннего стока и 2-3% летне-осеннего, что примерно в 3-6 раз меньше, чем в соответствующие периоды 1975-1979 гг. Это обусловлено развитием и благоустройством городов Курской области, прежде всего, расширением асфальтированных и слабопроницаемых территории, что привело к увеличению поверхностного стока.

Таблица 17. Поступление сточных вод в поверхностные водные объекты г. Твери [105]

Источники поступления сточных вод	Сточные воды	
	млн. м <sup>3</sup> /год	доля, %
Очистные сооружения города	80,3	32,58
Очистные сооружения предприятий	5,31	2,16
Выгреба предприятий	0,1	0,04
Аварии канализации	0,1	0,04
Ливневые стоки через очистные сооружения предприятий	5	2,03
То же, без очистки (от предприятий)	5	2,03
Ливневые стоки селитебной зоны	41,38	16,79
Все ливневые стоки	51,38	20,85
Стоки ТЭЦ	107,67	43,68
Стоки от неканализованного жилого сектора	1,5	0,61
Обслуживание частного транспорта	0,01	0,004
Автотранспортные предприятия	0,1	0,04
Итого	246,47	100

Таблица 18. Содержание взвешенных веществ в поверхностном стоке с городских территорий [67]

Характеристика водосбора	Взвешенные вещества, г/л
Современная жилая застройка	1,4-1,5
Недостаточно благоустроенные территории с преобладанием усадебной застройки	1,8-2,5
Центральные, благоустроенные районы с интенсивным движением транспорта и пешеходов	1,7-2,2
Районы крупных промышленных предприятий	1,7-2,5
Селитебные районы с наличием эродлируемых склонов или стройплощадок	4-6

Таблица 19. Водный баланс территории г. Москвы, мм [63]

Показатель	Вся Москва			В пределах Садового Кольца (год)
	Зима-весна	Лето-осень	Год	
Осадки	200	500	700	700
Полный сток	150	150	300	510
Питание подземных вод	27	23	50	350
Поверхностный сток	123	127	250	475
Валовое увлажнение территории	77	373	250	425
Испарение	50	350	400	190
Коэффициент стока	0,75	0,30	0,43	0,73

Канализационный сток городов уже становится важной составляющей водных балансов крупных речных бассейнов и основным (нередко единственным) поставщиком многих загрязняющих веществ в реки крупных регионов (табл. 24, 25). Например, в Польше с городами связано образова-

ние около 82% сточных (очищенных) вод и около 86% неочищенных стоков, а также 82% пылевого загрязнения и 74,9% газовых выбросов [146].

Таблица 20. Элементы водного баланса территории г. Владивостока, мм [94]

Составляющие водного баланса	Естественный режим (для города в целом)	Центральная часть города, S= 5,8 км <sup>2</sup>		Город с пригородами, S= 66 км <sup>2</sup>	
		1975 г.	2000 г. *	1975 г.	2000 г. *
Атмосферные осадки	720	740	740	720	720
Водоподача	0	2500	5000	240	1400
Испарение	430	300	350	400	400
Поверхностный сток в море	210	330	330	300	330
Подземный сток в море	80	40	40	80	80
Канализационный сброс в море	0	2570	5020	180	1310

\* Прогноз.

Таблица 21. Водный баланс агломерации г. Владивостока, мм (S=28100 км<sup>2</sup>) [94]

Составляющие баланса	Естественный режим	1975 г.	2000 г. (прогноз)	Максимальное изменение
Атмосферные осадки	620	620	620	620
Приток речных вод из-за предела района	40	40	40	40
Водоподача из-за пределов района	0	0	30	60
Испарение	440	460	500	540
Поверхностный сток в море	120	110	80	40
Подземный сток в море	80	80	80	80
Канализационный и дренажный сток в море	0	0	10	20
Безвозвратное водопотребление	0	0	10	40

Таблица 22. Основные элементы годового водного баланса различных территорий (среднее за 1975-1976 гг.), мм [103]

Территория	Осадки	Поверхностный сток	Коэффициент стока	Потери
Центрально-Черноземный заповедник	490	0,72	0,0	490
Курская сельскохозяйственная станция	479	9,87	0,02	469
г. Курск (в целом)	428	59,6	0,14	368

Таблица 23. Водный баланс городской и сельской местности, мм [63]

Элементы водного баланса	Москва (в пределах Садового кольца)	Москва (полностью)	Водосбор р. Москвы до г. Звенигорода
Осадки	700	700	700
Полный речной сток	510	300	200
Подземный сток	35	50	70
Поверхностный сток	475	250	130
Испарение	190	400	500
Валовое увлажнение территории	225	450	570
Коэффициент полного стока	0,73	0,43	0,28
Коэффициент питания подземными водами	0,15	0,11	0,12
Подземный сток в % от речного стока	7	16	35

В настоящее время в пределах городских ландшафтов водный сток многих ручьев и малых рек практически полностью формируется за счет поступающих в них промышленных и бытовых сточных вод или загрязненного поверхностного стока. В зависимости от водообильности малых и средних рек, определяемой гидрологическим сезоном и водностью года, сточные воды составляют от 15-20 до 50-80% общего речного стока и в существенной мере определяют геохимические осо-

бенности и экологическое состояние водотоков. Например, в 1967 г. отношение объема сточных вод, сбрасываемых с очистных сооружений г. Москвы, к расходу воды в р. Москве составляло 1:1,51 (Савранская, 1968, по [92]). Сток крупных рек, протекающих по промышленно-урбанизированным районам, в среднем на 10% состоит из поступающих сточных вод (разной степени очистки).

Таблица 24. Основные характеристики водопотребления и водоотведения в крупных городах бассейна Кубани, 1997 г., млн. м<sup>3</sup> [91]

Город	Забор свежей воды*	Использование воды**			Потери
		1	2	3	
Краснодар	141,5 (612,3)	717,2	90,4	613,6	35,6
Армавир	11,8 (12,8)	18	13,8	3,1	6,6
Черкесск	0,4 (36,5)	24,5	18,2	5,9	12,3
Майкоп	39,5 (2,2)	31,3	25,8	5,4	10,4
Невинномысск	0,06 (804,1)	776,6	21	750,2	4,3

Окончание табл. 24

Город	Отведено сточных вод в поверхностные водные объекты				
	всего	загрязненных		нормативно-чистых	нормативно-очищенных
		без очистки	недостаточно очищенных		
Краснодар	714,5	3,6	108,3	600,4	2,2
Армавир	19,9	1,8	18,1	0	0
Черкесск	47,7	2,8	44,9	0	0
Майкоп	42,7	0	42,7	0	0
Невинномысск	82,6	10,1	34	38,5	0

\* Из подземных (поверхностных) источников; \*\* 1 – всего, 2 – на хозяйственно-питьевые нужды, 3 – на производственные нужды.

Таблица 25. Основные показатели водопотребления и водоотведения в г. Днепродзержинске [8]

Показатель	1985 г.		1987 г.	
	Город, млн. м <sup>3</sup>	Доля в области, %	Город, млн. м <sup>3</sup>	Доля в области, %
Забрано воды из водных объектов	1055	22	642,9	15
в том числе подземных	0,004	11	5,2	2,3
Использовано	442,6	11	405,3	5,2
в том числе хозяйственно-питьевые нужды	64,5	11	57,4	10
производственные	374,6	13	347,4	10
в том числе питьевые	2,5	2	2,4	1,5
Сельскохозяйственное водоснабжение	0,5	0,6	0,5	0,6
Сброшено сточных вод	828,7	25	447,6	15
загрязненных (без очистки)	45,3	58	37,7	51,5
недостаточно очищенных	230,2	60	204,4	55
нормативно-чистых (без очистки)	543,2	22	34,2	2
Безвозвратное потребление и потери	99,5	7	90,9	7
в том числе при транспортировке	11,0	11,5	6,0	8
Использовано в системах оборотного и повторно-последовательного водопользования	1680	15,3	1765	15,7

Уменьшение испарения, увеличение поверхностного стока с городских территорий и большие объемы отводимых сточных вод, несмотря на определенное снижение доли подземного стока, как правило, способствуют возрастанию водности рек на выходе из городов. Например, расчеты И.В. Михайлова [66] показывают, что водный (поверхностный) сток с территории городов и поселков Курской области во второй половине 1970-х гг. (по сравнению с 1940 г.) увеличился в 3-6 раз. Доля урбанизированных территорий от площади крупных речных бассейнов чаще всего не превышает 2-

3%. Показательно, что увеличение годового стока под влиянием городских территорий для таких бассейнов (например, Дона) также составляет около 2-3%.

Обычно в малых и средних городах наблюдается меньшее увеличение стока на единицу прироста непроницаемых площадей (от 25 до 50% по сравнению с естественными водосборами), нежели в крупных и крупнейших городах (здесь сток увеличивается на 50% и больше). По данным В.В. Куприянова [51], в районах, где объем и режим годового стока с городской территории определяются ливневыми осадками, увеличение годового речного стока может достигать 100-200%. Расчет водного баланса г. Москвы показал, что полный речной сток с городской территории по сравнению с естественными условиями увеличился на 50%, а поверхностный – почти вдвое [63]. Сопоставление данных по водному балансу городских (Курск, Москва, Минск и др.) и прилегающих сельских территорий свидетельствует, что под влиянием города полный речной сток возрастает на 20-97%, подземный сток сокращается на 6-34%, поверхностный сток увеличивается на 26-186%, испарение снижается на 4-42% [62]. Расчеты годовых водных балансов для г. Минска за 1974-1977 гг. указывают на то, что существовавшие тогда городские системы водообеспечения и использования вод увеличивали годовой сток р. Свислочи более чем в 2 раза [52].

В то же время известны случаи, когда водный сток рек на выходе из городов заметно снижается, что связано с изъятием поверхностных вод на различные нужды города и населения. В частности, годовой сток р. Урал (уровень 1975 г.) только за счет изъятий на промышленно-коммунальные нужды уменьшился в средние по водности годы на 10% в створе с. Кизильское и на 5,5% в створе г. Оренбурга, а в маловодные годы – на 33 и 18% соответственно [22]. Уменьшение стока р. Волги у г. Волгограда связано с влиянием различных антропогенных факторов: орошение – около 60%, промышленно-коммунальное и сельскохозяйственное водоснабжение – 30%, агротехнические мероприятия – 10% [68]. Наиболее сильно влияние антропогенных факторов на гидрологический режим Волги проявляется в маловодные и особенно в очень маловодные годы, когда годовой сток реки уменьшается почти на 15%.

Следует отметить, что урбанизация территории нередко способствует увеличению повторяемости паводков и увеличению их высоты [120], а также значительному возрастанию как общих объемов дождевых стоков, так и их пиковой мощности [116]. Данные наблюдений за ливневым стоком на урбанизированных территориях показывают, что максимальные расходы на небольших водосборах могут возрастать в десятки раз [124]. Исследования, выполненные в Польше, установили, что на территории городских агломераций увеличивается поверхностный сток, особенно во время паводков [141]. Тем не менее, несмотря на видимый характер более яркой выраженности весенних паводков в городах, здесь прослеживается тенденция внутригодового выравнивания стока из-за поступления сточных и поливомоечных вод, а также за счет увеличения поверхностного стока с урбанизированных территорий.

Факторы, действующие на водосборах, основное влияние оказывают чаще всего не на годовой сток малых и средних рек, а на его внутригодовое распределение, на экстремальные характеристики стока, а также на качество вод. В частности, в зависимости от конкретных условий такие факторы воздействуют на речной сток в разных направлениях, т. е. могут увеличивать или снижать его.

Как показано В.П. Зверевым [32], в настоящее время величина антропогенных (техногенных) массопотоков вод стала соизмерима с массопотоками природных вод и, например, уже почти в 2 раза превышает подземный сток через береговую линию океанов и морей (табл. 26). В формировании антропогенных массопотоков вод огромная роль принадлежит водному хозяйству городов. При этом большая часть воды, забираемая на бытовые и промышленные нужды, в измененном (загрязненном) виде возвращается обратно, что приводит к изменению гидрологических и гидрохимических характеристик водных объектов. Значительная масса воды (до 80%), израсходованная на сель-

скохозяйственные нужды, в основном на орошение, теряется на испарение, что также оказывает серьезное влияние на формирование гидрологического баланса освоенных территорий.

Таблица 26. Основные массопотоки природных вод антропогенного происхождения (1985 г.) [32]

Водопотребление	Изъятие		Сброс	
	км <sup>3</sup>	<i>n</i> x 1018 г/год	км <sup>3</sup>	<i>n</i> x 1018 г/год
Населением	245,3	0,25	207,6	0,21
Промышленностью	1065	1,06	1011	1,02
Сельским хозяйством	2448	2,45	510	0,51
Водохранилищами	165,5	0,26	95,0	0,10
Всего	3923,8	3,92	1823,6	1,84

### Заключение

Формирование водного стока в городах определяется их гидрологическими особенностями, являющихся отражением специфики водного баланса промышленно-урбанизированных территорий, в свою очередь обусловленной климатическими факторами, своеобразием условий формирования и режима поверхностного, грунтового и подземного стока, а также масштабами водопотребления и отведения сточных вод.

В результате нарушения естественного теплового режима и из-за загрязнения воздушного бассейна в городах изменяется режим атмосферных осадков и испарения. Как правило, годовая сумма осадков в городах с подветренной стороны за их пределами больше (относительно зональных показателей) на 5-30%, а повторяемость дней с осадками более 5 мм увеличивается с подветренной стороны городских комплексов на 20-40%. Тепловое влияние, связанное с техногенными факторами, приводит к опережению схода снега в городах и вокруг них (в среднем на 6-48 дней по сравнению с естественными условиями). Площадь, в пределах которой город оказывает влияние на свойства и динамику снегового покрова, в 2-3 раза превышает городскую территорию.

Городские территории отличаются специфическими условиями формирования поверхностного, внутрипочвенного, грунтового и подземного стока, что определяется своеобразием подстилающей поверхности, особенностями геологического фундамента, наличием дренажно-канализационных систем. Особенно ярко гидрологическая роль городов проявляется в том, что занимаемая ими территория отличается экстремальным состоянием проницаемости поверхности, которая намного ниже, нежели в природных условиях. Воздействие непроницаемых территорий на водный баланс городов выражается в увеличении доли поверхностного стока (на 25-250% по сравнению с естественными водосборами), в замедлении формирования горизонта грунтовых вод, в снижении испаряемости. Развитие в городах техногенных отложений и преобразованных горных пород, характеризующихся специфическими литологическими и физико-химическими свойствами, способствует изменению (обычно уменьшению) инфильтрационного питания грунтовых и подземных вод. Как правило, лишь 30% инфильтрационного питания грунтовых вод формируется за счет атмосферных осадков, остальная часть определяется техногенными причинами и явлениями.

В целом для промышленно-урбанизированных районов характерна смена естественного режима грунтовых и подземных вод на неустановившийся антропогенный режим городского типа. Наиболее масштабные изменения гидрогеологических условий свойственны большим городам, а также поселениям, где подземные воды активно используются для промышленного и хозяйственно-бытового водоснабжения. Интенсивная эксплуатация подземных вод обуславливает развитие процессов, вызывающих изменение гидродинамических и геохимических условий в водоносных горизонтах, в том числе, понижение пьезометрического уровня и образование депрессионных воронок,

осушение смежных водоносных горизонтов, изменение качества подземных вод, условий питания и разгрузки водоносных горизонтов, изменение ландшафта. Во многих городах наблюдается повышение уровня грунтовых вод, что сопровождается подтоплением территорий. Нередко оба явления – снижение уровня грунтовых (подземных) вод и подтопление – могут, особенно в пределах крупных городов, проявляться одновременно.

Важной особенностью городских ландшафтов является вовлечение во влагооборот на сравнительно небольших территориях значительных объемов воды, нередко поступающей из-за пределов местного водосбора и(или) из не дренируемых местными водотоками подземных горизонтов, которая после ее использования на хозяйственные нужды города приобретает иные физико-химические свойства, содержит огромные массы осадочного материала и сбрасывается в гидрографическую сеть. Для транспортировки воды к местам потребления создаются сложные сети водоснабжения, а для отведения использованных (сточных) вод и поверхностного стока (дождевого, талого, поливочного) с городской территории – канализационные и дренажные сети, которые определяют существование в городах двух основных групп техногенных источников поставки поллютантов в реки. Первую группу составляют точечные источники, осуществляющие массовый и постоянный сосредоточенный сброс различных сточных вод в водотоки по системам канализации (канализационный сток города). В большинстве городов ими являются общегородские очистные сооружения, принимающие бытовые и производственные сточные воды и сбрасывающие их после очистки в водные объекты (общегородской канализационный сток). В промышленных городах отведение сточных вод, минуя городскую канализацию, производится также с локальных очистных сооружений предприятий (локальный канализационный сток). Качественные и количественные характеристики канализационного стока зависят от размера города и численности городского населения, особенностей промышленной инфраструктуры, используемых систем сбора, очистки и отведения сточных вод. Вторая группа объединяет неточечные (площадные) источники загрязнения: сток с территории города талых, дождевых и поливочных вод, внутрисочный сток и грунтовый сток (поверхностный сток с промышленно-урбанизированных территорий). Качественные и количественные параметры поверхностного стока в существенной мере определяются размерами городов, их благоустроенностью, зависят от интенсивности поступления загрязняющих веществ на подстилающую поверхность и ее характеристик.

Большие объемы водопотребления и, соответственно, водоотведения в городах приводят к тому, что структура водного баланса городских территорий претерпевает существенные изменения, что сказывается и на характере их вещественного обмена. Важно отметить, что в таких районах изменяются и природные составляющие водного баланса, прежде всего, за счет увеличения объемов поверхностного стока, снижения доли подземного стока и уменьшения испарения. Главными элементами водного баланса городов являются водоподача, отведение сточных вод (канализационный сток) и поверхностный сток с городских территорий. В настоящее время водный сток многих ручьев и малых рек в пределах городских ландшафтов практически полностью формируется за счет поступающих в них промышленных и бытовых сточных вод или загрязненного поверхностного стока. В малых и средних реках доля сточных вод, в зависимости от сезона, может составлять от 15-20 до 50-80% от их общего стока. Сток крупных рек, протекающих по промышленно-урбанизированным районам, в среднем на 10% состоит из поступающих сточных вод (разной степени очистки).

Уменьшение испарения, увеличение поверхностного стока с городских территорий и большие объемы отводимых сточных вод, несмотря на определенное снижение доли подземного стока, как правило, способствуют возрастанию водности рек на выходе из городов. Причинами увеличения годового стока являются: а) увеличение атмосферных осадков над городом, б) увеличение коэффициента поверхностного стока, в) переброска вод из-за пределов бассейна и(или) использование под-

земных вод, гидравлически не связанных с местными водотоками. Обычно годовой сток с городской территории больше, чем сток в естественных условиях данного бассейна (на 10-15%, без учета поступающих для водоснабжения из-за пределов водосбора вод). Приращение речного стока за счет увеличения осадков над городом достигает 10%, за счет увеличения коэффициентов стока – до 5% (особенно в тех районах, где в режиме рек значительную роль играет весеннее половодье). В районах, где объем и режим годового стока определяются ливневыми осадками, его увеличение может достигать 100-200%. С учетом поступающих из-за пределов водосбора вод или в результате эксплуатации глубоководных водоносных горизонтов, сбрасываемых в речную сеть после их использования, речной сток увеличивается на 30-40% и более. Использование для водоснабжения подземных вод, гидравлически связанных с рекой, может привести к существенным изменениям водности местного водоприемника, не сказываясь заметно на величине суммарного стока в замыкающем створе бассейна. Постоянные утечки воды из сетей водоснабжения и канализации являются дополнительными источниками формирования водного стока в городах. Общее увеличение стока крупных рек под влиянием городов составляет 0,6-1%.

При эксплуатации подземных вод, обуславливающим возникновение депрессионных воронок, происходит уменьшение подземного стока в реки и возникновение фильтрации поверхностных и речных вод в водоносный горизонт, что нередко приводит к уменьшению (на 5-25% от годовых величин) водного стока малых и, в меньшей степени, средних рек. Модуль подземного питания рек в таких районах снижается на 50% по сравнению с бассейнами с ненарушенными условиями, а норма общего стока уменьшается на 20%. Поскольку питание грунтовых вод в городе за счет фильтрации дождевых вод обычно меньше, нежели в естественных условиях, то это приводит к определенному уменьшению грунтовой составляющей питания рек.

Урбанизация территории нередко способствует увеличению повторяемости паводков и увеличению их высоты, причем на небольших водосборах максимальные расходы могут возрастать в десятки раз. Объем и максимальные расходы весеннего половодья с территориями больших городов не имеют функциональной связи со снегозапасами и характером предшествующей зимы, хотя в большинстве случаев город оказывает непосредственное влияние на формирование весеннего половодья на значительной территории (нередко совпадающей с зонами загрязнения снежного покрова). Минимальный (меженный) сток в зонах влияния городов может снижаться или повышаться в зависимости от источников и системы водопользования. Тем не менее в пределах городских территорий обычно наблюдается внутригодовое выравнивание речного стока, главным образом, за счет сброса в водотоки сточных вод и поступления поливочных вод.

В настоящее время величина антропогенных массопотоков вод в биосфере стала соизмерима с массопотоками природных вод и, например, уже почти в 2 раза превышает подземный сток через береговую линию океанов и морей. В формировании таких потоков вод заметная роль принадлежит водному хозяйству городов, которые характеризуются специфическим гидрологическим режимом, во многом обусловленного особенностями их водного баланса. В структуре последнего важная роль принадлежит сточным водам (канализационному стоку) и поверхностному стоку с освоенных территорий, отличающихся химическим составом и физическими свойствами от типичных речных вод данной природной зоны и являющихся основными поставщиками в водные объекты разнообразных загрязняющих веществ и техногенного осадочного материала.

## Литература

1. *Абакумова Г.М., Евневич Т.В.* Экспериментальные исследования атмосферного помутнения // Опыт и методы экологического мониторинга. – Пушино: ИАФ АН СССР, 1978, с. 122-127.

2. *Абакумова Г.М., Ярхо Е.В.* Изменения аэрозольной оптической толщины атмосферы в Москве за последние 37 лет // *Метеорология и гидрология*, 1992, № 11, с. 107-113.
3. *Абрамов Н.Н.* Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
4. *Алексеев М.И., Дмитриев В.Д., Быховский Е.М. и др.* Городские инженерные сети и коллекторы. – Л.: Стройиздат, 1990. – 384 с.
5. *Алфорова Г.В.* Русские города XVI-XVII веков. – М.: Стройиздат, 1989. – 216 с.
6. *Алфорова Л.А., Зайцев В.А., Нечаев А.П.* Использование воды в безотходном производстве. – М.: ВИНТИ, 1990. – 196 с.
7. *Басманов А.Е., Горбачев В.В.* Мониторинг подтопленных земель России // *Междунар. конф. «Экологическая безопасность на пороге XXI века»*, Санкт-Петербург, Таврический дворец, 30-31 марта, 1999: Тез. докл. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999, с. 38-39.
8. *Басс С.Б., Вьюненко А.И.* Техничко-экономические и экологические проблемы охраны вод и водопользования (на примере г. Днепродзержинска) // *Водные ресурсы*, 1991, № 3, с. 123-135.
9. *Бахирева Л.В., Просунцова Н.С.* Оценка электрокоррозионного воздействия на инженерные сооружения и коммуникации Хорошевского р-на г. Москвы // *Геоэкология*, 1994, № 2, с. 67-75.
10. *Белан Б.Д.* Структура шапки загрязнений над промышленными центрами // 2-я Всерос. науч. конф. «Физические проблемы экологии (Физическая экология)», Москва, 18-21 янв., 1999: Тез. докл. – М., 1999, с. 127-128.
11. *Берлянд М.Е., Кондратьев К.Я.* Города и климат планеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 39 с.
12. *Вендров С.Л.* Жизнь наших рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 112 с.
13. *Водоснабжение и канализация: Экспресс-информация.* – М.: НИИЭЖКХ, 1991., вып. 7, с. 1-20.
14. *Гидрогеологические основы охраны подземных вод.* – М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1984. – 411 с.
15. *Гидрогеология СССР. Сводный том в пяти выпусках. Вып. 4. Влияние производственной деятельности человека на гидрогеологические и инженерно-геологические условия.* – М.: Недра, 1973. – 280 с.
16. *Голодсковская Г.А., Елисеев Ю.Б.* Геологическая среда промышленных регионов. – М.: Недра, 1989. – 220 с.
17. *Горбаренко Е.В.* Аэрозольная мутность атмосферы в Москве в конце XX века // *Метеорология и гидрология*, 2003, № 7, с. 13-18.
18. *Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды г. Москвы в 1992 году».* – М.: МЦФ ЭССО, 1993. – 168 с.
19. *Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды г. Москвы в 1996 году».* – М.: Изд-во «Прима-Пресс», 1997. – 311 с.
20. *Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1998 году».* – М.: Госкомприрода РФ, 2000. – 498 с.
21. *Грабовский Р.И.* Атмосферные ядра конденсации. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 164 с.
22. *Григорьев О.М.* Оценка влияния промышленно-коммунального водопотребления на сток р. Урал // *Тр. ГГИ*, 1981, № 273, с. 44-61.
23. *Джамалов Р.Г., Злобина В.Л.* Влияние хозяйственной деятельности на гидрохимический режим грунтовых вод // *Водные ресурсы*, 1990, № 5, с. 69-74.
24. *Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И.* Отведение и очистка поверхностных сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1990. – 224 с.

25. *Дмитриев А.А.* Климат и город // Климат и город. Мат-лы конф. «Климат-город-человек». – М., 1974, с. 3-8.
26. *Доброумов Б.М., Устюжанин Б.С.* Преобразование водных ресурсов и режима рек центра ЕТС. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 221 с.
27. *Елова Е.А., Бойкова И.Г.* Концепция восстановления малых рек и русловых водоемов города Москвы // Природные ресурсы России: управление, экономика, финансы, 2004, № 2, с. 104-108.
28. *Ефремов Д.И., Клюквин А.Н.* Современное состояние и прогноз изменения гидрогеологических и инженерно-геологических условий в результате подтопления на территории Москвы // Инженерная геология и гидрогеология Москвы. – М., 1989, с. 46-69.
29. *Жигалин А.Д.* Задачи и методы исследований искусственных физических полей // Инженерная геология и гидрогеология Москвы. – М., 1989, с. 133-147.
30. *Жигалин А.Д.* Техногенные физические поля // Природа, 1993, № 2, с. 15-23.
31. *Зарубаев Н.В.* Комплексное использование и охрана водных ресурсов. – Л.: Стройиздат, 1976. – 223 с.
32. *Зверев В.П.* Массопотоки природных вод и тенденции их эволюции под влиянием антропогенной деятельности // Геоэкология, 1994, № 1. С. 17-27.
33. *Зверев В.П., Казеннов С.М.* Влияние урбанизации на гидрогеологические условия территорий // Геоэкология, 2003, № 2, с. 130-138.
34. *Зекцер И.С., Язвин Л.С., Боровский Б.В.* Подземные воды на службе городов // Природа, 1993, № 5, с. 3-9.
35. Инженерная география. – М.: МФГО СССР, 1989. – 184 с.
36. *Казакова И.Г., Слинко О.В.* Проблема подтопления на территории России и возможные пути ее решения // Геоэкология, 1993, № 1, с. 43-50.
37. *Коваленко П.П., Орлова Л.Н.* Городская климатология. – М.: Стройиздат, 1993. – 144 с.
38. *Козлова Э.В.* Роль культурных слоев в формировании техногенных геохимических и гидрохимических аномалий // I Всес. сов. «Геохимия техногенеза». Тез. докл.: Том 1. – Иркутск, 1985, с. 98-102.
39. *Косова Л.С.* Рельеф и антропогенные отложения в черте г. Томска // География и природные ресурсы, 1992, № 1, с. 156-160.
40. *Кошелев А.Г., Королев В.А., Соколов В.Н.* Оценка техногенных полей влажности на урбанизированных территориях // Геоэкология, 2003, № 1, с. 61-69.
41. *Котлов Ф.В.* Классификация антропогенных отложений // Инженерно-геологические процессы и явления, их значение для строительства. – М.: Госстройиздат, 1963, с. 9-14.
42. *Котлов Ф.В.* Антропогенные геологические процессы и явления на территории города. – М.: Наука, 1977. – 171 с.
43. *Котлов Ф.В.* Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. – М.: Наука, 1978. – 264 с.
44. *Крайнов С.Р.* Актуальные проблемы геохимико-экологического изучения качества подземных вод хозяйственно-питьевого назначения // Отечественная геология, 1993, № 7, с. 102-111.
45. *Крайнов С.Р., Закутин В.П.* Причины и тенденции изменения качества подземных вод // Геоэкология, 1995, № 1, с. 36-49.
46. *Крайнов С.Р., Фойгт Г.Ю., Закутин В.П.* Геохимические и экологические последствия изменений химического состава подземных вод под влиянием загрязняющих веществ // Геохимия, 1993, № 2, с. 169-182.

47. *Крайнов С.Р., Швец В.М.* Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. – М.: Недра, 1987. – 237 с.
48. *Крайнов С.Р., Швец В.М.* Гидрогеохимия. – М.: Недра, 1992.
49. *Куприянов В.В.* Гидрологические аспекты урбанизации. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 180 с.
50. *Куприянов В.В.* Урбанизация и проблемы гидрологии // Гидрологические аспекты урбанизации. – М.: МФ ГО СССР, 1978, с. 5-15.
51. *Куприянов В.В.* Гидрология урбанизированных территорий // Некоторые вопросы современной научной и практической гидрологии. Ч. 1. – М., 1981, с. 79-87.
52. *Куприянов В.В.* Оценка изменений, вносимых урбанизацией в сток и водный баланс // Специфические аспекты гидрологических расчетов для водохозяйственного проектирования. Мат-лы Межд. симп., Ленинград, 3-7 сент., 1979. – Л., 1981, с. 432-438.
53. *Кутепов В.М., Кожевникова В.Н.* Карстовые процессы на территории г. Москвы и задачи усовершенствования их изучения и прогнозирования // Инженерная геология и гидрогеология Москвы. – М., 1989, с. 102-120.
54. *Кюнцель В.В., Парецкая М.Н.* Изучение оползневых процессов в городе Москве // Инженерная геология и гидрогеология Москвы. – М., 1989, с. 83-101.
55. *Лазаренко В.Н., Григорьева З.И.* Современное состояние хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Центрального и Центрально-Черноземного экономических районов // Геол. вестник центр. р-нов России, 1998, № 2-3, с. 18-20.
56. *Ландсберг Г.Е.* Климат города. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 245 с.
57. *Лаппо Г.М.* География городов. – М.: Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС, 1997. – 480 с.
58. *Лачинова Н.С.* Оценка экологического состояния геологической среды методами изучения подземной гидросферы и инженерной геологии (Московская область) // Геоэкологические исследования и охрана недр, 1996, вып. 2, с. 23-35.
59. *Леггет Р.* Города и геология: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 559 с.
60. *Линд Г.* Вода и город: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 68 с.
61. *Лихачева Э.А.* Геоморфология городских территорий: теоретические основы, принципы и методы исследований: Автореф. дис... док. геогр. н. – М., 1992. – 34 с.
62. *Львович М.И.* Вода и жизнь: водные ресурсы, их преобразование и охрана. – М.: Мысль, 1986. – 254 с.
63. *Львович М.И., Черногаева Г.М.* Водный баланс г. Москвы // Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов Московской области. – М.: МФГО СССР, 1977, с. 80.
64. *Мамин Р.Г.* Урбанизация и охрана окружающей среды в Российской Федерации. Ч. 1. – М.: РЭФИА, 1995. – 80 с.
65. *Матвеева Л.И.* Поровые растворы как геохимический показатель техногенного загрязнения гидросферы // Геохимия техногенеза. 1 всес. сов., Иркутск, 29-31 окт., 1985. Тез. докл. Т. 2. – Иркутск, 1985, с. 61-65.
66. *Михайлов И.В.* Влияние урбанизированных территорий на формирование некоторых элементов водного баланса Курской модельной области // Взаимодействие хозяйства и природы в городских и промышленных геотехсистемах. – М.: ИГРАН СССР, 1982, с. 45-52.
67. *Молоков М.В., Шифрин В.Н.* Очистка поверхностного стока с территорий городов и промышленных площадок. – М.: Стройиздат, 1977. – 104 с.

68. Мусаелян С.М., Мединский Н.И., Ханина Н.В. Антропогенные изменения гидрологического режима р. Волги у г. Волгограда // Вестник Волгоград. гос. архит.-строит. акад. Сер. Строительство и архитектура, 2002. № 2, с. 197-201.
69. Мягкий Д.Д., Мороз С.И., Панкратова Э.Ю. Особенности формирования, характеристика и очистка поверхностного стока с территории металлургических предприятий // Водные ресурсы, 1985, № 2, с. 129-135.
70. Накаи Масамура // PPM, 1991, 22, № 6, р. 78-81.
71. Некоторые походы к изучению воздействия современного процесса урбанизации на окружающую среду. Технические заметки № 14: Пер. с англ. – М.: Внешторгиздат, 1989. – 88 с.
72. Непреднамеренное воздействие на климат: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 260 с.
73. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 184 с.
74. Николадзе Г.И. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1979. – 238 с.
75. Одум Ю. Экология: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 328 с.
76. Окун Д.А., Понгис Дж. Сбор и удаление сточных вод в населенных пунктах: Пер. с англ. – М.: Медицина, 1977. – 328 с.
77. Орлов М.С. Гидрогеоэкология Москвы // Бюлл. МОИП. Отд. геол., 1997, 72, № 5, с. 19-25.
78. Пальгунов П.П., Эль Ю.Ф., Печников В.Г. Рациональное использование воды в системах водопровода и канализации Москвы // Водоснабжение и сан. техника, 1991, № 1, с. 2-3.
79. Пашкин Е.М., Домарев О.В., Курделова Л.В., Сосоков П.А. Изучение инженерно-геологических условий садово-парковых ансамблей // Инженерная геология, 1992, № 2, с. 132-137.
80. Пашкин Е.М., Домарев О.В., Никифоров А.А. Инженерно-геологический аспект проблемы сохранения древних оборонительных сооружений // Геоэкология, 1993, № 4, с. 117-125.
81. Петренко С.И., Кофф Г.Л. Инженерно-геологическое строение и инженерно-геологическая типизация Москвы // Инженерная геология и гидрогеология Москвы. – М., 1989, с. 22-46.
82. Подгорная Т.И., Кориневич Л.А. Оценка и прогноз влияния города на подземные воды (на примере г. Хабаровска) // Всес. науч. конф. «Проблемы орг. территории регионов нового освоения: Мат-лы конф. Ч. 3. – Хабаровск: ИВЭП ДВО АН СССР, 1991, с. 145-148.
83. Порядин А.Ф. Водоснабжение в Сибири (исторический очерк). – Л.: Стройиздат, 1983. – 135 с.
84. Приваленко В.В., Безуглова О.С. Экологические проблемы антропогенных ландшафтов Ростовской области. Т. 1. Экология города Ростова-на-Дону. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 290 с.
85. Принципы выделения защитных лесных полос. – М., 1977.
86. Попов О.В. Нарушение взаимодействия поверхностных и подземных вод под влиянием урбанизации // Гидрологические аспекты урбанизации. – М.: МФГО СССР, 1978, с. 36-41.
87. Просенков В.И. Изменение температуры и минерализации подземных вод на территории г. Москвы // Разведка и охрана недр, 1974, № 12, с. 36-41.
88. Просенков В.И. Влияние градопромышленного комплекса Москвы на процессы формирования подземных вод // Гидрологические аспекты урбанизации. – М.: МФГО СССР, 1978, с. 42-51.
89. Рекомендации по выбору исходных данных для модели прогноза процесса подтопления городских территорий. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.
90. Речное судоходство в России. – М.: Транспорт, 1985. – 352 с.
91. Россия: речные бассейны. – Екатеринбург: Аэрокосмоэкология, 1999. – 520 с.
92. Сергеев Е.П., Можяев Е.А. Санитарная охрана водоемов. – М.: Медицина, 1979. – 152 с.

93. *Сидорчук В.Л.* Эколого-экономическая оценка воздействия подземных инженерных коммуникаций на геологическую среду города // Трубопроводы и экология, 2000, № 2, с. 26-27.
94. *Ситников В.К.* Системный подход к оценке структурных изменений водного баланса в результате урбанизации и промышленного производства на юге Приморского края // Гидрологические аспекты урбанизации. – М.: МФ ГО СССР, 1978, с. 25-27.
95. СНиП 3.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения.
96. Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии территории городов и городских агломераций. – М.: Наука, 1987. – 408 с.
97. Технические указания по проектированию и строительству дождевой канализации. – М.: Стройиздат, 1985. – 80 с.
98. *Станкевич Е.Ф.* Особенности формирования химического состава грунтовых вод в больших городах (на примере г. Казани) // Эколого-геохимическая оценка городов различных регионов страны. – М.: ИМГРЭ, 1991, с. 107-111.
99. *Гютюнова Ф.И.* Гидрогеохимия техногенеза. – М.: Наука, 1987. – 335 с.
100. *Чемякина С.-Д. Н.* Влияние леса на биосферу и рекреационное использование лесных насаждений. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1978. – 44 с.
101. *Чернавская М.М.* Среднее альбедро участков городской застройки // Климат и город. Матлы конф. «Климат-город-человек». – М., 1974, с. 30-34.
102. *Черногаева Г.М.* Водный баланс городской территории и его влияние на окружающую среду // Гидрологические аспекты урбанизации. – М.: МФ ГО СССР, 1978, с. 15-20.
103. *Чернышев Е.П., Автонеев В.А.* Изучение изменений водного баланса под влиянием городов // Гидрологические аспекты урбанизации. – М.: МФ ГО СССР, 1978, с. 27-35.
104. *Чернышев Е.П., Автонеев В.А., Михайлов И.В.* Гидрология городов и охрана водных ресурсов // Географические исследования для целей соц. природопользования. 7-й Съезд Географ. о-ва. Секция 2. Тез. докл. – Л., 1980, с. 38-40.
105. *Цыганов А.А.* Оценка источников загрязнения поверхностных вод города Твери // Экологическое состояние города Твери. – Тверь: Тверской гос. ун-т, 1994, с. 58-66.
106. *Шенькман Б.М., Легейдо И.Н.* Экологическая эволюция химического состава подземных вод «Большого Иркутска» // Эколого-геохимическая оценка городов различных регионов страны. – М.: ИМГРЭ, 1991, с. 100-104.
107. *Шевелев Ф.А., Орлов Г.А.* Водоснабжение больших городов зарубежных стран. – М.: Стройиздат, 1987. – 351 с.
108. *Шекинский Э.М., Алиев Ф.Ш.* Проблемы охраны подземных вод городских территорий от загрязнения (на примере городов Баку и Гянджа) // Гидрогеологические аспекты в экологии: Сб. докл. 1 Всес. науч.-техн. конф. «Геоэкология: проблемы и решения», Москва, апр., 1990. Вып. 2. – М., 1991, с. 134-140.
109. *Эберхардс Г.Я.* Современные экзодинамические процессы, методика их изучения и картографирования в крупном городе по деформациям зданий (на примере г. Риги) // Науч. тр., Латв. ун-т, геогр. ф-т, 1990, № 547, с. 44-62.
110. Экологические проблемы урбанизированных территорий. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 1998. – 200 с.
111. Экология города. – М.: Научный мир, 2004. – 624 с.
112. *Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В.* Очистка производственных сточных вод. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.

113. Якунин А.В., Рассказов А.А., Станис Е.В. Техногенное влияние городской агломерации на состояние реки Москвы и ее притоки // Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сб. науч. тр. Всерос. конф., Москва, 19-20 апр., 2000. – М., 2000, с. 75-80.
114. Arai Tadashi Urban hydrology in Tokyo // Geogr. Rev. Jap. B., 1990, 63, № 1, p. 88-97.
115. Buttle J.M. Effects of suburbanization upon snowmelt runoff // Hydrol. Sci. J., 1990, 35, № 3, p. 285-302.
116. Delleur J.W., Dendrou S.A. Modelling the runoff in urban areas // CRC Crit. Rev. Environ. Contr., 1980, 10, № 1, p. 1-64.
117. Douglas I. The city as an ecosystem // Progress in Physical Geography, 1981, 5 (3), p. 315-367.
118. Ewing R.L. The water quality effect of urbanization and the re-use of waste water in the Phoenix, Arizona (USA) urban area // Stud. and Repts Hydrol., 1977, № 24, p. 457-466.
119. Glowaska I., Fortini-Morawska J., Krzywańska E. The influence of the type of building on the natural environment in a housing estate // Urban Ecol. Stud. Cent. and East. Eur.: Proc. Int. Symp., Warszawa – Jablonna, 24-25 Sept., 1986. – Wrocław etc., 1990, p. 62-84.
120. Gregory K.J. Fluvial processes in British basins. The impact of hydrology and the prospect for hydrogeomorphology // Geomorphol.: Present-Probl. and Future Prospects. – Oxford, 1978, p. 40-72.
121. Hall M.J. Urban Hydrology. – London, New York: Elsevier Appl. Sci. Publ., 1984. – 299 p.
122. Hughes M. The urban ecosystem // Biologist, 1974, 21, № 3, p. 117-127.
123. Hydrological effects of urbanization. – Paris: The UNESCO Press, 1974. – 280 p.
124. James L.D. Using a digital computer to estimate the effects of urban development on flood peaks // Water Resour. Res., 1965, 1, № 2, p. 223-234.
125. Kim Hongsuk H. Urban heat Island // 5`eme Colloq. int. «Mesures phys. et signatures télédélect». Courchevel, 14-18 Jan., 1991. – Courchevel, 1991, p. 5-10.
126. Lee D.O. Urban climates // Prog. Phys. Geogr., 1984, 8, № 1, p. 1-31.
127. Lerner D.N. Groundwater recharge in urban areas // Atmos. Environ., 1990, 24, № 1, p. 29-33.
128. Lowry W.R. The climate of cities // Sci. Amer., 1967, 21, № 2, p. 15-23.
129. Malmquist P.-A., Svensson G. Urban storm water pollutant sources // Stud. and Repts Hydrol., 1977, № 24, p. 31-38.
130. Naeem A., Alsanussi M.Y., Almohandis A.A. Ground water quality in Riyadh and its vicinity // Нихон тикасуй гаккай кайси, J. Jap. Assoc. Groundwater Hydrol., 1984, 26, № 2, p. 46-50.
131. Oke T.R. Towards a more rational understanding of urban heat island // Climat. Bull., 1969, 41, № 5, p. 1-20.
132. Penicaud H. Ecologie urbaine: environnement et autonomie // Aménag. et nature, 1978-1979, № 52, p. 6-7.
133. Pietsch J. Versiegelungen des Bodens in der Stadt und ihre Auswirkungen // Forsch. Raumentwickl., 1985, 14, s. 121-128.
134. Raal T. Urban impact on ground water // 27 Междунар. геол. конгр., Москва, 4-14 авг., 1984. Тез. Т. 8. Секц. 17-22. – М.: Наука, 1984, с. 121.
135. Rayzacher Z. Niektore problemy hydrologiczne obszarów zurbanizowanuch // Czas. geogr., 1980, 51, № 2, s. 215-217.
136. Riemann U. Impacts of urban growth on surface water and groundwater quality in the City of Dessau, Germany // IAHS Publ., 1999, № 259, p. 307-314.
137. Schultz E., Kremer R.H.J. Stedelijk grondwater; gebruik, hinder en beheer // Tijdschr. watervooz. en afvalwaterbehandel., 1977, 10, № 17, p. 391-296, 379.
138. Schulz M., Wichmann K. Geogenic groundwater pollution in the Hamburg region, FR Germany // IAHS Publ., 1985, № 146, p. 295-306.

139. *Shahin Mamdouh M.A.* Impacts of urbanization of the greater Cairo area on the groundwater in the underlying aquifer // IAHS Publ., 1990, № 198, p. 243-249.
140. *Shuzhen Z., Jingchun Z.* The turbidity island effect in Shanghai urban climate // Energy and Build., 1991, 16, № 1-2, p. 657-662.
141. *Uchnast B.* Próba oceny zmian odpływy rzecznej pod wpływem aglomeracji mieszkoprzemysłowej // Gosp. Wodn., 1979, 39, № 7, s. 220-224.
142. *Wang Chung-Ho, Chiang Chung-Jung, Peng Tsung-Ren, Liu Wen-Chen* Deterioration of groundwater quality in the coastal Pingtung Plain, Southern Taiwan // IAHS Publ., 1999, № 259, p. 39-45.
143. *Whyte A.* Ecological approaches to urban systems: retrospect and prospect // Nature and resour., 1985, 21, № 1, p. 13-20.
144. *Wolman A.* The metabolism of cities // Scientific American, 1965, № 9 (September), p. 179-188.
145. [http://www.oblstat.permregion.ru/Pub\\_g\\_03.htm](http://www.oblstat.permregion.ru/Pub_g_03.htm).
146. *Zimny H.* The city as an ecological system its impact on environmental quality // Mem zool., 1994, № 496, p. 21-25.