

А. М. Жихарев

Расчет плоскостного поверхностного стока дождевых вод с урбанизированных территорий центральной части г. Ярославля (Часть II)

На примере центральной части г. Ярославля изучены закономерности формирования поверхностного стока дождевых вод с точки зрения (с позиций) его количественного учета.

Ключевые слова: стокообразующая поверхность, водосбор, подстилающая поверхность, ячейка стока, стокообразующий параметр, поверхностный сток, урбосистема.

A. M. Zhikharev

Calculation of Plane Superficial Drain of Rain Waters from the Urbanized Territories of the Central Part of Yaroslavl (Part II)

On the example of the central part of Yaroslavl are studied formation laws of superficial draining of rain waters from the point of view (from positions) its quantitative account.

Keywords: a runoff surface, a reservoir, a spreading surface, a drain cell, a runoff parameter, a superficial drain, an urban system.

Для расчета поверхностного стока была выбрана территория в пределах центральной части города, ограниченная реками Волгой и Которослью, а также проспектами Толбухина и Ленина. Выбор этой территории обусловлен наибольшей степенью ее изученности по различным параметрам, что отражено в разнообразном картографическом материале, интегрированном в специализированное инженерное и профессиональное картографическое программное обеспечение. Кроме того, центральная часть Ярославля включена в список охраняемых территорий Всемирного культурного наследия ЮНЕСКО. И, наконец, эта территория является наиболее «устоявшейся» в плане организации урбанизированного пространства.

Любая территория может рассматриваться как совокупность самостоятельных территориальных единиц более низкого пространственно-организационного уровня, для которых справедливо общее правило повышения простоты организации. Таким образом, существует объективное основание изучения пространственных систем через совокупность их элементарных структурных компонентов как способ повышения достоверности и точности результатов.

В качестве таких элементарных территориальных структурных единиц могут рассматри-

ваться некие элементарные водосборные поверхности или ячейки стока, то есть определенные части территории в пределах комплексов скелетных линий рельефа низших рангов с количественно учтенным характером подстилающей поверхности. Таким образом, выделение этих единиц предполагает деление территории по сеткам как минимум двух уровней.

На первом этапе членения территории ячейка стока принимается как первичный (элементарный) водосбор без учета характера подстилающей поверхности. Их выделение производилось на основе существующей карты рельефа вышеуказанной территории. Членение осуществлялось на базе современных геоинформационных систем и цифровых спутниковых фотографий города, обработка которых производилась с помощью инженерных компьютерных программ, в частности программного обеспечения Corel Disigner Technical Suite v.12.

В результате в пределах изучаемой территории было выделено 52 элементарных водосборных поверхности, различающихся по площади и уклону и определивших диапазон значений стокообразующих параметров. В частности, диапазон площади: ≈ 3 –18 га; диапазон среднего уклона поверхности: $0,2^0$ – $3,5^0$. При

этом достаточно отчетливо выделились две группы ячеек по близости указанных показателей, а именно: пологие поверхности ячеек уклоном до $0,4^0$ и площадью около 10–15 га и более и поверхности с большим уклоном (более $0,4^0$), но меньшей площадью (3–8 га), то есть выявилось некое количественное соотношение между площадью и уклоном поверхности ячейки водосбора, заключающееся в том, что с увеличением уклона убывает конечная площадь

элементарной поверхности водосбора, другими словами четко проявляется обратная зависимость между размером (площадью) ячеек и их средним уклоном. Наиболее крупные ячейки (до 40 га) находятся в срединной выположенной части, а точнее на территории, занятой Бутусовским парком, местом бывшего трамвайного депо №3 и прилегающими кварталами. Наиболее мелкие ячейки, площадью менее одного гектара, приурочены к берегам рек Волги и Которосли.

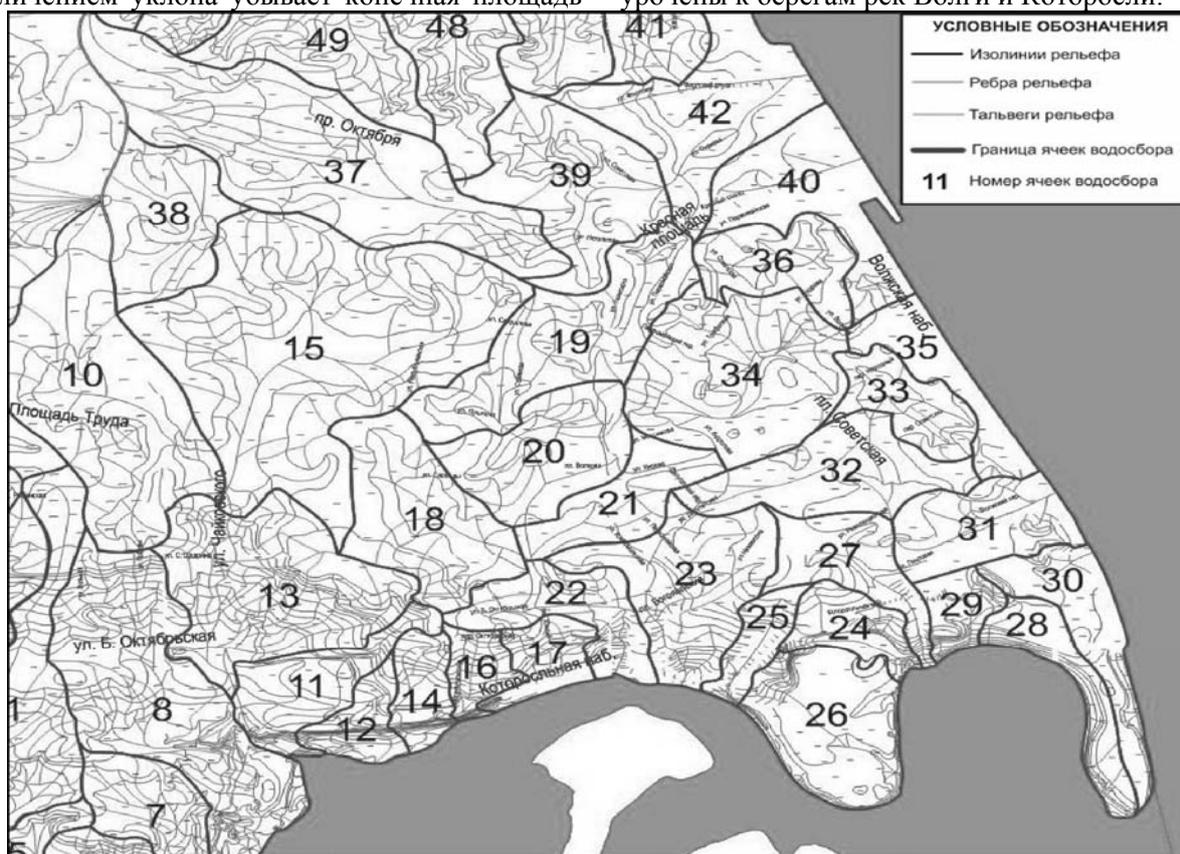


Рис. 1. Картограмма элементарных водосборных поверхностей (фрагмент)

Учет степени участия некоторого объема атмосферных вод в формировании поверхностного стока обеспечивается введением в расчетные формулы коэффициента стока – интегральной величины, принимающей во внимание комплекс факторов, наиболее значимым из которых является характер подстилающей поверхности, от которого зависят начальные потери влаги и потери в процессе стока.

Городские территории как трансформированные природные ландшафты сильно отличаются от последних не только большим разнообразием типов подстилающих поверхностей, но и значительно более высокой их пространственной дисперсностью. В целом, в пределах городских территорий можно говорить о 22 типах подстилающих поверхностей,

из которых в центральной части Ярославля преобладающими являются семь, а именно: дороги, тротуары, площади с асфальтовым или железобетонным покрытием, территории, замощенные брусчаткой, лужайки с песчаными почвами, лужайки с тяжелыми почвами, парки, лесопарки, территории, занятые промышленными предприятиями и жилые или торгово-офисные кварталы.

Поэтому на втором этапе было выполнено деление территории по характеру подстилающей поверхности, обеспечивающее возможность определения в пределах ячейки водосбора коэффициентов стока.

В качестве источника информации для выявления характера подстилающей поверхности исполь-

зован космический снимок высокого разрешения с американских спутников WorldView – 1,2 и Quick-Bird. (Снимки можно увидеть на геопортале Google, в разделе «Карты».) Выделение, или, точнее сказать, обрисовка поверхностей, выполнена посредством программы Corel Disigner Technical Suite v.12.

Выделение разных типов подстилающих поверхностей показало, что исследуемая территория в этом отношении достаточно сложна по структуре, что одни типы поверхностей занимают значительную площадь, но дисперсны в пространстве (асфальтобетонные покрытия), другие же занимают незначительные площади, но располагаются компактно по территории (лужайки с песчаными почвами) и могут занимать всю площадь в пределах одной водосборной ячейки, подстилающие поверхности, характеризующиеся наименьшими площадями покрытия, образуют две четко выделяющиеся группы. К одной из них относятся песчаные грунты, образующие довольно компактные ареалы. Они же, кроме того, могут занимать всю площадь в пределах одной элементарной ячейки стока. Территориально эти поверхности приурочены к долине реки Которосли в районе «Стрелки», городского пляжа и территории парка Тысячелетия (бывшего ипподрома). Другая группа, характеризующаяся отсутствием указанных выше зависимостей, образована такими типами подстилающих поверхностей, как асфальтобетонные покрытия, территории легкой промышленности, тяжелые почвогрунты, такие поверхности более или менее равномерно распределены по исследуемой

территории. Южная часть территории, наиболее древняя в историческом плане, более разнообразна как по типам поверхностей, так и по рельефу.

На основе двух сеток членения территории (элементарные водосборные поверхности и характер подстилающих поверхностей) создана синтезированная карта центральной части территории Ярославля, позволившая с помощью специализированных программ вычислить площади элементарных водосборных поверхностей и площади территорий с различными типами подстилающих поверхностей в пределах ячеек водосбора. Таким образом, получены все данные для апробирования разработанной методики расчета плоскостного поверхностного стока.

Расчет максимального расхода стока производился по конечной формуле вида:

$$Q_{max} = \psi F_c 108,25.$$

Для каждой ячейки стока были произведены отдельные расчеты. Внутри каждой ячейки были выделены площади с различным характером подстилающих поверхностей, которым соответствует единственное значение коэффициента стока (ψ), а также площадные значения, соответствующие этим поверхностям в га (F_c). Кроме того, был определен уклон территории, который необходим для нахождения коэффициента стока для этих поверхностей. Для оптимизации расчетов использовано одно из приложений Microsoft Office 2007 – Microsoft Excel. Таким образом, для территории каждого элементарного водосбора получена типовая таблица вида.

*	Характер подстилающей поверхности							Итого	Итого л/с на 1га
	Асфальт	Зел_зона	Брусчатка	Кварталы	Легк_пр	Песч	Тяж_поч		
Ячейка 1	0,00	0,24		5339,84	6323,60	313,94			
	1611,02	23,70		361,04	2587,81	14,94			
	10,63	7761,68		4265,34	65,95				
	2922,04	1144,01		105,26					
	5,38	1795,08		5116,38					
	1359,43	0,20		15756,33					
	551,69	228,88		74,25					
	1936,82	14029,74		7211,76					
	1,56			5,01					
	32127,84			0,22					
	0,00			14950,35					
	1,99			273,00					
	1473,48			25502,43					
				255,85					
Итого: S, га	4,20	2,50	0	7,92	0,90	0,03	0	15,55	57,2722
Q max, л/с с S га	318,2692	94,65634	0	428,7623	48,58996	0,35601	0	890,633	8
	5	9	0	4	48,58996	3	0	9	

*оформление таблицы соответствует виду рабочей области использованной программы

Проведенные изыскания позволяют заключить, что пространственная дискретность и многоуровненность природных систем являются универсальным законом общесистемного уровня, выступающим теоретическим основанием дифференцированного подхода к его изучению.

Таким образом, любая территория может рассматриваться как совокупность самостоятельных территориальных единиц более низкого пространственно-организационного уровня, для которого справедливо общее правило повышения простоты организации. Итак, существует объективное основание изучения (часто одновременно и крупных) систем через совокупность их элементарных структурных компонентов как способ повышения достоверности и точности результатов.

Формирование поверхностного стока – сложный процесс, развивающийся на какой-то поверхности и неизбежно корректируемый ею, – требует возможно более точного и полного учета характера этого влияния. Таким образом, выделение территориальных единиц, в пределах которых роль поверхности условно однородна, является необходимым условием (и этапом) изучения особенностей поверхностного стока.

Учет степени полноты участия некоторого объема атмосферных вод в формировании поверхностного стока обеспечивается введением в расчетные формулы коэффициента стока – интегральной величины, учитывающей комплекс факторов, которые часто достаточно трудно выразить количественно. Учитывая отсутствие зависимости среднего значения коэффициента стока для разных видов поверхностей от интенсивности осадков, можно утверждать, что характер подстилающей поверхности является важным стокообразующим фактором, удобным для количественного выражения.

Правильная оценка пространственно-временных закономерностей поверхностного стока возможна лишь при синтезе результатов обработки и анализа значений ряда стокообразующих характеристик, выраженных именно в количественной форме, членения исследуемой территории на элементарные водосборные поверхности на основе ее морфологической неоднородности и различия по характеру подстилающей поверхности и соотношению ее типов в пределах каждой ячейки. Именно при таком синтезированном подходе появляется возможность увидеть истинную картину происходящих процессов стока, выраженную как качественно, так и количественно. На основе этого относительно территории центральной части города

Ярославля можно выделить следующие закономерности. Центральная часть города Ярославля – территория сравнительно простая по рельефу и в целом включает 2 типа поверхностей – сильно выположенную срединную часть и более наклонную периферию, привязанную морфологически к долиненной части рек Волги и Которосли. Наиболее избыточны те площади элементарных водосборных ячеек, которые расположены в выположенной части исследуемой территории с преобладанием водонепроницаемого характера подстилающих поверхностей в их пределах. Эти же ячейки имеют наименьший из диапазона рассчитанных средних уклонов, то есть эти территории являются потенциально влагоизбыточными. В северной и северо-западной части исследуемой территории преобладают поверхности водонепроницаемого характера и малые уклоны элементарных водосборных поверхностей, что также увеличивает максимальный поверхностный плоскостной сток с этих территорий. Поэтому указанная часть исследуемой территории может рассматриваться как поверхность, способствующая увеличению при прочих равных условиях значений максимальных расходов поверхностного стока.

В распределении уклонов по исследуемой территории сохраняется природная зависимость, связанная с геоморфологической историей и геоморфологическим обликом центральной части города Ярославля, приуроченной к водораздельному пространству между реками Волгой и Которослью и фрагментам их долин. В связи с этим наблюдается закономерное увеличение значений уклонов от центра к периферийным частям исследуемой территории (к югу и к северо-востоку). Влияние же человеческой деятельности обнаруживается в упрощении рельефа, связанного с его планацией, интенсивность которой более высока именно в центральной части исследуемой территории как более функционально нарушенной. В связи с этим отчетливо выделяется группа элементарных водосборов с одним диапазоном значения минимального среднего уклона (от 0^0 до $0,2^0$). Ряд ячеек характеризуется наоборот высокой изменчивостью диапазона среднего значения уклона, включая до 4–6 интервалов из 6 выделенных. Эти ячейки в основном приурочены к склону долины реки Которосли в ее приустьевом участке. Остальные ячейки характеризуются умеренной неоднородностью диапазона значений среднего уклона (2–3 интервала).

Проблема расчета поверхностного стока с урбанизированных территорий в современных условиях становится все более актуальной, а потому тре-

бует разработки адекватных существующим в настоящее время требованиям, уровню научного знания и техническим возможностям методов решения. Как представляется, последние должны строиться на принципах математического моделирования осознанной сущности физических процессов, рассматриваемых с позиции системного подхода.

Снижение таксономического уровня исследуемых систем, к каковым могут быть отнесены и водосборные территории, позволит исключить пространственно-временную вариативность стокообразующих факторов, понизить их «коэффициент случайности», а следовательно, значительно упростить, детализировать и повысить точность количественных оценок.

Как представляется, полученные данные могут быть использованы при реорганизации городской территории. Например, на влагоизбыточных территориях для уменьшения стока может быть предусмотрено увеличение времени концентрации стока путем повышения шероховатости поверхности и создания буферных водохранилищ, перехват части стока с помощью отводящих сооружений и накопительных бассейнов и уменьшения избыточного стока (бассейны фильтрации, распахивание водосборов и устройства коллекторов с пониженной пропускной способностью в сочетании с устройством поверхностных каналов). Также на этих территориях могут быть устроены специальные водосборники для использования сточных вод для хозяйственных нужд.

Библиографический список

1. Применение данных дистанционного зондирования Земли для территориального планирования. Старые задачи и новые возможности // Геоматика. – 2009. – №2. – 83-89 с.
2. Стратегии пространственного развития в Российской Федерации: географические ресурсы и ограничения // Известия РАН. Серия географическая. – 2009. – №3. – 8–17 с.
3. www.adm.yar.ru – официальный сайт Администрации Ярославской области
4. www.city-yar.ru – официальный сайт г. Ярославля
5. www.gks.ru – официальный сайт Федеральной службы государственной статистики
6. www.mnr.gov.ru – официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии РФ
7. www.sovzond.ru – официальный сайт компании «Совзонд» – российского интегратора в области геоинформационных технологий и космического мониторинга