

В. М. НГУЕН
Е. Ю. ЗАЙКОВА

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК НА ПРИМЕРЕ РАЙОНА 8 ГОРОДА ХОШИМИНА

ASSESSING THE IMPACT OF URBANIZATION ON DIRECT RUNOFF IN DISTRICT 8, HO CHI MINH CITY

Хошимин – один из самых подверженных наводнению городов мира. Процессы урбанизации привели к изменению форм землепользования, что в свою очередь повлияло на увеличение площадей «запечатанных», непроницаемых поверхностей в результате расширения городской застройки и объема поверхностного стока, тем самым вновь приводя к риску наводнений в городе. Целью статьи является изучение влияния городской застройки (на примере района 8 города Хошима, Вьетнам) на поверхностный сток с помощью комбинации интерпретации изображений дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) Google Earth и модели SCS-CN (метод определения объема стока). На теоретических моделях проанализирована зависимость между типологией застройки и площадью открытых и «запечатанных» поверхностей. Интерпретация изображений ДЗЗ выполнялась в программе ArcGIS. Используемый метод расчета поверхностного стока – это метод фильтрационной кривой (SCS-CN - The Soil Conservation Service Curve Number), разработанный Службой охраны почв США (US, Soil Conservation Service) и подходящий для оценки последствий изменения землепользования в результате урбанизации. Результаты исследования показывают объем поверхностного стока на территориях с разным уровнем урбанизации в районе 8 города Хошима, давая оценку влияния процессов урбанизации на поверхностный сток и раскрывая новые возможности в управлении этим процессом. Комбинация интерпретации ДЗЗ и модели SCS-CN позволяют оценить влияние городской застройки на поверхностный сток. Показано, что урбанизация и увеличение площади застройки значительно влияют на затопление, сокращая инфильтрационную емкость грунтов. Установлено, что временная водоудерживающая способность в районе исследования очень низкая.

Ключевые слова: уплотнение застройки, Метод определения объема стока, модель SCS, город Хошимин, дистанционное зондирование, ГИС

Введение

Хошимин – быстрорастущий мегаполис с населением 7,4 млн человек – сталкивается со значительным и растущим риском наводнений

Ho Chi Minh City (HCMC) is among the cities that are most at risk of flooding worldwide. Urbanization processes have led to a change in land use, which in turn has resulted in an increase in impervious surfaces and runoff, thus again leading to the risk of flooding in the city. The aim of the article is to study the impact of urban development (on the example of District 8 of HCMC) on surface runoff using a combination of the interpretation of remote sensing images of the earth (ERS) Google Earth and the SCS-CN model (the Soil Conservation Service curve number). Theoretical models are used to analyze the relationship between the typology of buildings and areas of open and impervious surfaces. The interpretation of remote sensing images was carried out in the ArcGIS program. The method used to calculate surface runoff is the Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) method developed by the US Soil Conservation Service and is suitable for assessing the effects of land-use/land cover change due to urbanization. The results of the study show the volume of surface runoff in areas with different levels of urbanization in district 8 of HCMC, assessing the impact of urbanization processes on surface runoff and revealing new opportunities for managing this process. The combination of remote sensing interpretation and SCS-CN model makes it possible to assess the impact of urban development on surface runoff. Urbanization and an increase in built-up area strongly affect flooding, reducing the soil retention.

Keywords: encroachment, direct runoff, soil conservation service, Ho Chi Minh city, remote sensing, GIS, hydrologic impact, urbanization

[1, 2]. Более 60 % административной территории расположено ниже 1,5 м над уровнем моря [3] и состоит из разветвленной сети каналов и рек. Такие географические особенности в сочета-

нии с периодами сильных дождей и районами, расположенными выше по течению, означают, что город сталкивается с частым и значительным риском наводнений [4, 5]. Растущая роль города в экономике Вьетнама и Юго-Восточной Азии, а также рост малообеспеченного населения, заселяющего ветхое жилье в контуре каналов, способствующее уплотнению его контура, еще больше увеличивают социальные, экономические и экологические риски урбанизации и, как следствие, будущих наводнений. За последние десять лет частота экстремальных дождей с количеством осадков более 100 мм утроилась, что значительно больше, чем ожидалось при планировании инфраструктуры [5]. В последние десятилетия наращивает темпы урбанизация, которая приводит к значительным изменениям в землепользовании, увеличивая площадь непроницаемой поверхности. Кроме того, ограниченный земельный фонд и темпы роста населения в престижных (высоких) центральных районах привели к значительному уплотнению застройки в контуре каналов [6]. Следствием вышеупомянутых процессов является то, что быстрое увеличение площади застройки, а также развитие транспортной системы значительно увеличивают площадь «запечатанной» поверхности, что означает уменьшение площадей водной поверхности и озелененных территорий города. Под запечатанными, или непроницаемыми, понимаются городские территории под жилыми зданиями, дорогами, тротуарами, складскими и производственными помещениями, а также другими строениями и коммуникациями [7]. А уплотнение застройки в контуре рек и каналов препятствует доступу людей к рекам и каналам, загрязняет источники воды и нарушает экологический баланс вдоль водных акваторий города. Одним из наиболее крупных и проблемных районов Хошимаина, столкнувшихся с уплотнением застройки, является район 8 с более чем 10 000 жилых строений в контуре канала.

Следствием вышеуказанных воздействий является увеличение риска и ущерба от наводнений в городе [8]. Поэтому в статье будет сделан акцент на анализ и оценку почвенного покрова, а также будет установлено его влияние на показатели обводненности территорий в контуре канала.

Цель статьи – оценить состояние почвенного покрова и его влияние на наводнение города Хошимаина путем расчета поверхностного стока на различных урбанизированных участках района 8.

Материалы и методы исследования

Границы исследования

Район 8 – один из центральных районов города, прилегающий к пригородным райо-

нам, площадью 1880 га, обладающий сложной системой каналов. Рельеф района 8 относительно равнинный, средняя высота 1,2 м [9]. Сочетание топографии с высокой плотностью рек делает район 8 одним из самых уязвимых районов Хошимаина для наводнений. Кроме того, он также является одним из центральных районов Хошимаина с высокой плотностью населения – 22240 чел. / км² [10] и самой сложной ситуацией с уплотнением контуров канала в городе. По статистике Департамента строительства в 2019 г. в районе 8 Хошимаина более 10 тыс. домов расположены в прибрежной зоне, выходящей на канал [6]. Район 8, расположенный на границе между центральным и пригородным районами, имеет относительно разнообразный статус землепользования с разной степенью урбанизации и различной плотностью застройки. Север района 8 граничит с центральными районами города (районы 6, 5, 4, 1), а юг граничит с пригородным районом (район Бинь Чан), поэтому уровень урбанизации также постепенно увеличивается с юга на север района. Таким образом, район 8 выбран в качестве объекта исследования с целью анализа влияния урбанизации на поверхностный сток и её оценки на степень обводнения территории города.

Материалы

Снимок дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) района 8 получен с помощью Google Earth в 2019 г. [11], цифровая модель рельефа (ЦМР), разрешение 5х5 м (рис. 1). Для расчета поверхностного стока для района 8, г. Хошмин, модель осадков, используемая в исследовании, выполнена на станции Таншонньят с трехлетним повторяющимся циклом перелива (93,1 мм) [12].

Методы исследования

Методология исследования осуществляется по этапам, представленным на рис. 2. Интерпретация изображений дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) выполнялась в программе ArcGIS. Типы почвенного покрова (использования земель), классифицированные с помощью инструментальной классификации по методу подобия (Maximum Likelihood Classification), включают 4 типа, в том числе: водная поверхность, застройка, озеленение, пустая земля, дороги и улицы. Результаты интерпретации проверялись матрицей ошибок и индекса каппа с точностью до 91,2 %.

Район исследования был разделен на 30 суббассейнов с использованием гидрологических инструментов в программном обеспечении Arc-GIS с ЦМР в качестве входных данных, чтобы обеспечить достаточную детализацию

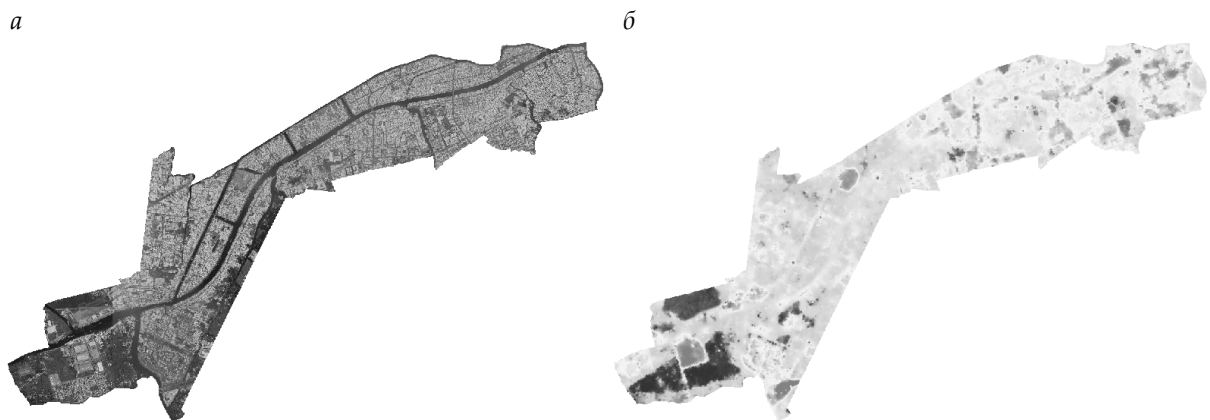


Рис. 1. Снимок ДЗЗ района 8 [11] (а) и цифровая модель рельефа (ЦМР) (б) района 8 с разрешением 5х5 м



Рис. 2. Блок-схема, показывающая методологию исследования (автор Нгуен Ван Минь)

для поддержки модели SCS TR-55. Суббассейн используется для моделирования стока с заданного участка земли. Каждый суббассейн генерирует гидрограф стока, который обычно направляется в участок ниже по течению или в пруд. Суббассейн также можно использовать для учета дождя, попадающего непосредственно на поверхность пруда. Суббассейны были разделены от 5-метровой ЦМР путем расчета сетки направления потока и сетки накопления потока (с пороговым значением 4000 ячеек или 10 га) с использованием инструментов направления потока (Flow Direction tool) и суммарного стока (Flow Accumulation tool). После этого точки устья для суббассейнов были добавлены

на основе сетки накопления стока, чтобы они стали узлами водотоковой сети, полученной в результате накопления стока и для разделения района исследования на суббассейны. Детали, относящиеся к разграниченным суббассейнам, показаны на рис. 3.

Используемый метод расчета поверхностного стока – это метод фильтрационной кривой (SCS-CN - The Soil Conservation Service Curve Number) [13], разработанный Службой охраны почв США (US, Soil Conservation Service) и подходящий для оценки последствий изменения землепользования в результате урбанизации [14, 15]. Объем поверхностного стока в этом методе зависит от количества осадков, типа земле-

пользования и влажности почвы. Переменные в методе SCS показаны на рис. 4 [16].

В этом методе отношение количества непрерывных инфильтраций (F_a) к поверхностному стоку (P_e) рассчитывается по формуле

$$\frac{F_a}{P_e} = \frac{S}{P - I_a}, \tag{1}$$

где S – максимальная инфильтрационная ёмкость грунтов;

P – количество атмосферных осадков.

По принципу сохранения $P = P_e + I_a + F_a$, следовательно, $F_a = P - P_e - I_a$. Основное уравнение метода SCS для расчета поверхностного стока в результате появления большого количества осадков запишем как

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}. \tag{2}$$

Изучая результаты экспериментов на многих небольших бассейнах, Служба охраны почв США из накопленного опыта выявила, что $I_a = 0,25S$.

Для условий Вьетнама, экспериментальных и скорректированных, величина I_a рассчитывается по формуле [17]:

$$I_a = 0,24S. \tag{3}$$

Заменив (3) на формулу (2), получим:

$$P_e = \frac{(P - 0,24S)^2}{P + 0,76S}. \tag{4}$$

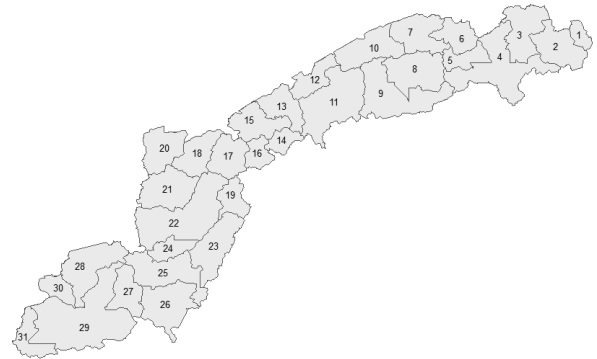


Рис. 3. Суббассейны района 8

Максимальная инфильтрационная ёмкость грунтов бассейна (S) и свойства бассейна связаны друг с другом через нумерацию кривой CN (Curve number):

$$S = 25,4 \frac{1000 - 10CN}{CN} \text{ (мм)}. \tag{5}$$

Значения CN в зависимости от типа почвенного покрова представлены в табл. 1.

Значение CN для территории с разными типами почвенного покрова определяется по следующей формуле [19]:

$$CN_c = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}, \tag{6}$$

где CN_c – общее значение номера кривой территории или участка; CN_i – номер кривой подобласти i ; A_i – площадь подобласти i ; n – общее количество подобластей.

Результаты исследования

Наложения интерпретированы и представлены на карте (рис. 5), где они разделены в соответствии с границами суббассейнов. Большая доля площади застройки заметно выделяется, в то время как относительно небольшая площадь озеленения в основном сосредоточена на суббассейнах на юге. Площадь застройки района 8 постепенно снижается с севера на юг. Север района 8 граничит с центральными районами, а юг – с пригородными районами.

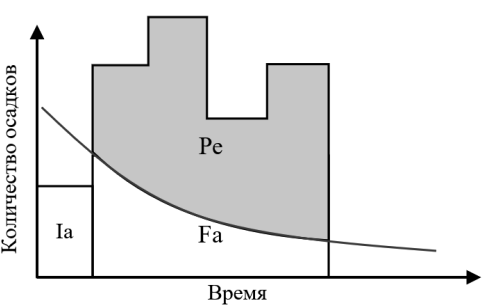


Рис. 4. Переменные в методе SCS:
 I_a – расход влаги на испарение и транспирацию;
 F_a – непрерывная инфильтрация грунтов;
 P_e – величина поверхностного стока

Таблица 1

Нумерация кривой (CN) для каждого типа почвенного покрова в г. Хошимине [18]

Типы земельного покрова	Описание	Значение CN
Водная поверхность	Реки, ручьи, пруды, озера, каналы	100
Застройка	Здания, сооружения, лодки	93
Озеленение	Деревья, кустарники, трава, зелень	65
Пустая земля	Песок, голая земля	86
Улицы и дороги	Улицы, дороги, проезд, мосты	98

Конкретные цифры представлены в табл. 2. По всей территории доля непроницаемой поверхности (твердая поверхность, включая застройки, улицы и дороги) относительно высокая – 70,7 %. Что касается каждого суббассейна, самым высоким является суббассейн 2 (86,39 %), самым низким – суббассейн 31 (13,8 %). Суббассейны 1, 5, 7, 9, 10, 12 также имеют очень высокий процент твердой поверхности (более 80 %). Очевидна огромная разница в соотношении твердого покрытия между суббассейнами, расположенными недалеко от центра, и пригородными участками. Причина данной ситуации

связана с тенденцией к урбанизации в Хошимине, густонаселенном во внутренних районах, что приводит к высокой плотности застройки в центральных районах города. Это вызывает такие последствия, как заторы на дорогах, загрязнение окружающей среды, посягательство на каналы и оказывает большое давление на дренажную систему. Высокое соотношение твердых поверхностей снижает потенциал поглощения, тем самым увеличивая поверхностный сток [16]. Чтобы точно оценить влияние соотношения твердой поверхности и водоудерживающей

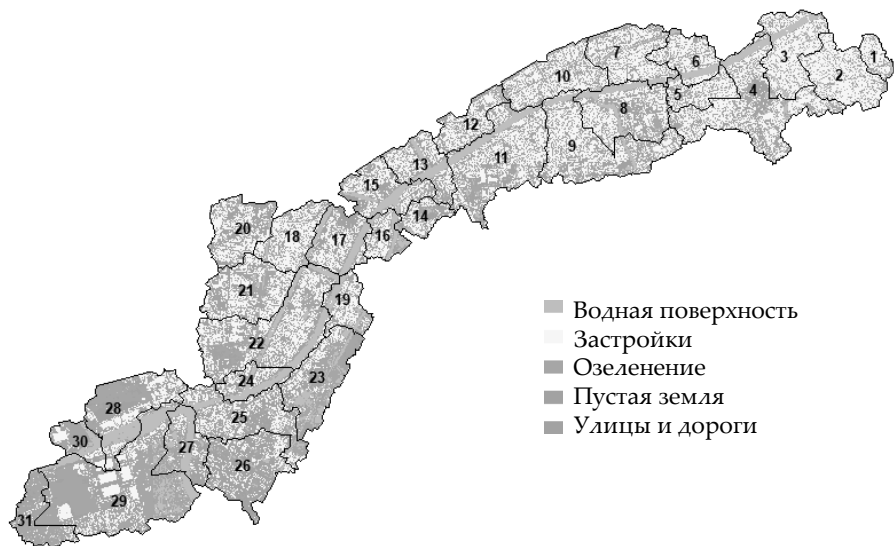


Рис. 5. Карта почвенного покрова по суббассейнам района 8 (автор: Нгуен Ван Минь)

Таблица 2

Доля типов почвенного покрова по суббассейнам в районе 8, г. Хошимин

Суббассейн	Водная поверхность		Застройка		Озеленение		Пустая земля		Улицы и дороги	
	м²	%	м²	%	м²	%	м²	%	м²	%
1	10762	8.34	81739	63.37	2863	2.22	4405	3.42	29210	22.65
2	40179	8.10	356335	71.86	18291	3.69	9007	1.82	72091	14.54
3	101015	18.76	318715	59.20	21993	4.08	6774	1.26	89881	16.69
4	99579	9.96	491195	49.13	93098	9.31	101404	10.14	214540	21.46
5	17500	7.20	137819	56.71	8323	3.43	9771	4.02	69591	28.64
6	46546	14.72	169377	53.57	3637	1.15	13851	4.38	82785	26.18
7	50180	9.82	278274	54.48	6828	1.34	28674	5.61	146815	28.74
8	107441	17.35	257996	41.67	64095	10.35	31184	5.04	158455	25.59
9	73226	8.52	425462	49.49	44674	5.20	53198	6.19	263194	30.61
10	47642	8.92	292946	54.82	16490	3.09	28283	5.29	148988	27.88
11	135912	14.17	409837	42.72	90023	9.38	58933	6.14	264619	27.58
12	25373	8.30	158053	51.70	12330	4.03	21333	6.98	88604	28.98

Окончание табл. 2

Суббассейн	Водная поверхность		Застройка		Озеленение		Пустая земля		Улицы и дороги	
	м²	%	м²	%	м²	%	м²	%	м²	%
13	72781	19.73	147396	39.95	22639	6.14	29702	8.05	96411	26.13
14	19098	10.62	64230	35.73	36058	20.06	20326	11.31	40066	22.29
15	106227	24.73	146545	34.11	28378	6.61	39607	9.22	108835	25.33
16	51925	25.49	79605	39.08	22005	10.80	10576	5.19	39586	19.43
17	91087	22.40	144108	35.43	37739	9.28	46573	11.45	87186	21.44
18	19982	5.03	228062	57.36	42100	10.59	37375	9.40	70074	17.62
19	57389	21.72	107047	40.52	37362	14.14	29154	11.04	33224	12.58
20	20724	4.63	211123	47.14	56093	12.53	68076	15.20	91814	20.50
21	21594	3.77	254421	44.41	121216	21.16	79912	13.95	95690	16.70
22	163643	14.92	414659	37.81	204911	18.68	124290	11.33	189161	17.25
23	132658	22.56	110423	18.78	236415	40.20	54356	9.24	54237	9.22
24	74808	32.92	60496	26.62	26040	11.46	20126	8.86	45799	20.15
25	65255	9.96	233872	35.71	106059	16.19	39551	6.04	210226	32.10
26	40619	6.43	141690	22.44	168526	26.69	62442	9.89	218027	34.54
27	131754	36.36	55103	15.21	87083	24.03	22670	6.26	65744	18.14
28	83515	12.94	168803	26.15	213210	33.03	90837	14.07	89074	13.80
29	247744	16.64	297554	19.99	691479	46.45	46965	3.15	204894	13.76
30	43391	20.42	47861	22.53	88477	41.64	8249	3.88	24490	11.53
31	19289	6.46	25419	8.51	217238	72.71	20780	6.96	16036	5.37

способности данной территории, рассчитывается индекс CN для каждого суббассейна, представленный в табл. 3 и на рис. 6.

На основе данных о землепользовании, классифицированных по изображениям дистанционного зондирования, картам планирования землепользования и почвенным данным, значение CN для суббассейнов рассчитывается по формуле (6). В целом район 8 имеет относительно высокое значение CN (в среднем 90), 12 из 31 суббассейнов со значением CN выше 92, только 5 из 31 суббассейнов с индексом CN ниже 85 (см. рис. 6, табл. 3). Суббассейны, имеющие высокую долю твердой поверхности, обладают большим значением CN, а суббассейны с большими долями зеленого насаждения имеют средние или низкие значения CN.

По полученному значению CN поверхностный сток определяется с помощью уравнений (4) и (5) и карты дождя, разработанной для Хошимина с повторяющимся циклом в три года, с общим количеством осадков 93,1 мм за 180 мин. Влияние процесса урбанизации, показанного через результаты расчета поверхностного стока и максимальной инфильтрационной ёмкости грунтов по суббассейнам, показано в табл. 3.

Величина поверхностного стока в районе 8 (см. табл. 3) относительно высокая (66,81 мм от количества осадков 93,1 мм). Суббассейн 6 имеет самую высокую величину поверхностного стока (78 мм), что указывает на то, что инфильтрационная ёмкость грунтов (потенциал поглощения) района 8 очень низкая. Это значительно влияет на риск затопления, так как большой сток оказывает повышенное давление на дренажную систему района 8. Если дренажная способность дренажной системы недостаточна, произойдет затопление. Кроме того, низкая водоудерживающая способность района также вызывает недостаточное восполнение грунтовых вод, что приводит к водному дисбалансу и проседанию.

Чтобы оценить корреляцию между избыточным количеством осадков и осадками, коэффициент стока C рассчитывается на основе отношения между величиной поверхностного стока (P_e) и количеством осадков (P) по формуле

$$C = P_e/P.$$

Коэффициент стока C рассчитан и представлен в табл. 3.

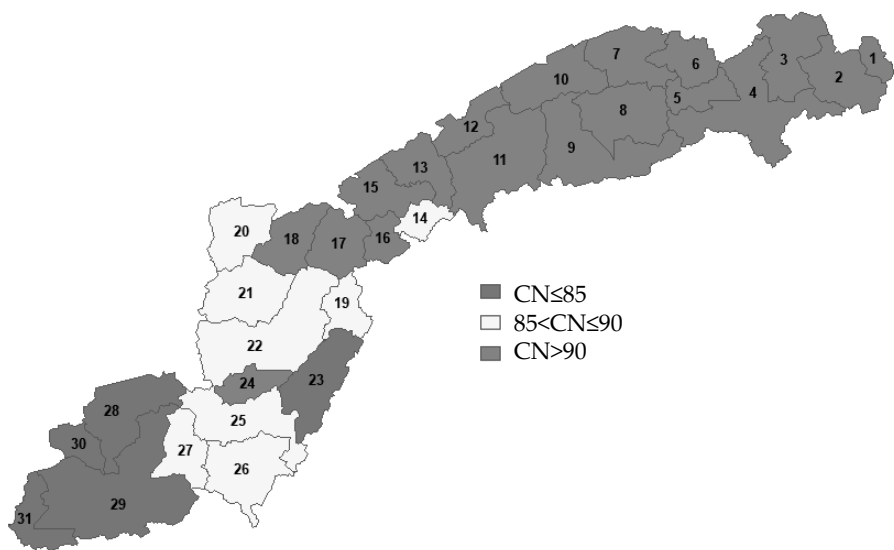


Рис. 6. Нумерация кривой (CN) по суббассейнам района 8

Таблица 3

Максимальная инфильтрационная ёмкость грунтов
и величина поверхностного стока по суббассейнам района 8, г. Хошимин

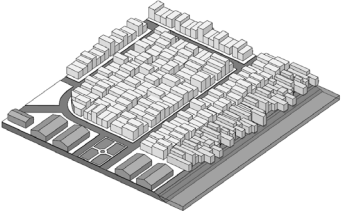

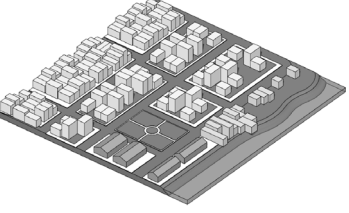

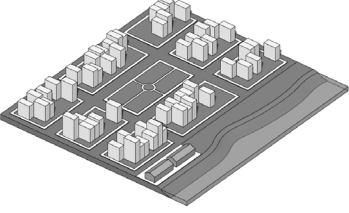

Суббассейн	Нумерация кривой curve number CN	Максимальная инфильтрационная ёмкость грунтов S, мм	Величина поверхностного стока P _е , мм	Коэффициент стока C=P _е /P
1	94	16.6	75.7	0.81
2	93	18.7	73.8	0.79
3	94	16.5	75.8	0.81
4	91	23.7	69.5	0.75
5	94	17.1	75.2	0.81
6	95	14.2	77.9	0.84
7	94	15.2	77.0	0.83
8	92	21.4	71.5	0.77
9	93	18.4	74.0	0.80
10	94	16.8	75.5	0.81
11	92	21.1	71.7	0.77
12	93	17.9	74.5	0.80
13	93	17.9	74.5	0.80
14	88	33.2	62.2	0.67
15	94	17.7	74.7	0.80
16	92	21.0	71.8	0.77
17	92	21.4	71.5	0.77
18	91	26.3	67.4	0.72
19	90	26.9	66.9	0.72
20	90	28.9	65.4	0.70
21	87	37.3	59.3	0.64

Окончание табл. 3

Суббассейн	Нумерация кривой curve number CN	Максимальная инфильтрационная ёмкость грунтов S, мм	Величина поверхностного стока P _е , мм	Коэффициент стока C=P _е /P
22	89	31.8	63.2	0.68
23	83	51.5	50.5	0.54
24	92	20.6	72.1	0.77
25	90	27.1	66.7	0.72
26	87	37.9	58.9	0.63
27	89	30.5	64.2	0.69
28	84	47.1	53.1	0.57
29	82	57.2	47.5	0.51
30	83	51.8	50.4	0.54
31	73	94.5	31.7	0.34

Таблица 4

Модель территории суббассейнов района 8, г. Хошимин

Типология застройки	Изображение	Процент озеленения	Нумерация кривой CN	Коэффициент стока C
 Группа 1. Низкая водоудерживающая способность		≤ 12 %	CN > 90	C > 0.72
 Группа 2. Средняя водоудерживающая способность		13-30 %	85 < CN ≤ 90	0.6 ≤ C ≤ 0.72
 Группа 3. Хорошая водоудерживающая способность		≥ 30 %	CN ≤ 85	C < 0.6

Коэффициент стока, наблюдаемый в большинстве суббассейнов, превышает 0,5 (только суббассейн 31 имеет коэффициент стока ниже 0,5). Среднее значение C в районе 8 составляет 0,72, это означает, что 72 % осадков в районе 8 при осадке 93,1 мм превратятся в сток. Суббассейны 1, 3, 5–7, 9, 10, 12, 13 и 15 с очень высоким значением коэффициента поверхностного стока (выше 0,8), соответствующим 80 % от общего количества осадков, превратится в сток.

Кроме того, по графикам зависимости пропорций поверхностей от коэффициента поверхностного стока обнаруживается большая корреляция между долей площади озеленения и коэффициентом поверхностного стока. Уменьшение площади зеленых насаждений было пропорционально увеличению коэффициента стока, что было незаметно для других типов поверхности (рис. 7).

По результатам оценки проницаемости дождевой воды суббассейны разделены на три группы по уровням водоудержания: низкий, средний, высокий. Типы суббассейнов оцениваются с помощью следующих критериев: степени уплотнения

каналов и плотности застройки на территории, смоделированных и представленных в табл. 4.

Группа 1: Низкая водоудерживающая способность

- Нумерация кривой $CN > 90$, коэффициент поверхностного потока 0,72
- Канал полностью уплотнен
- Дома в суббассейнах группы 1 – это в основном частные дома с очень высоким коэффициентом плотности застройки (0.95-1)
- Площадь зеленых насаждений в парке очень низкая (<12 %)

Группа 2: Средняя водоудерживающая способность

- Нумерация кривой от 85–90, коэффициент поверхностного стока от 0,72–0,6
- Канал частично уплотнен
- Дома в подбассейнах группы 2 – это частные дома с высоким коэффициентом плотности застройки (0.95–1) в сочетании с частными домами со средней плотностью застройки (0.65–0.95)
- Площадь зеленых насаждений относительно высокая (13–30 %): парковая зона

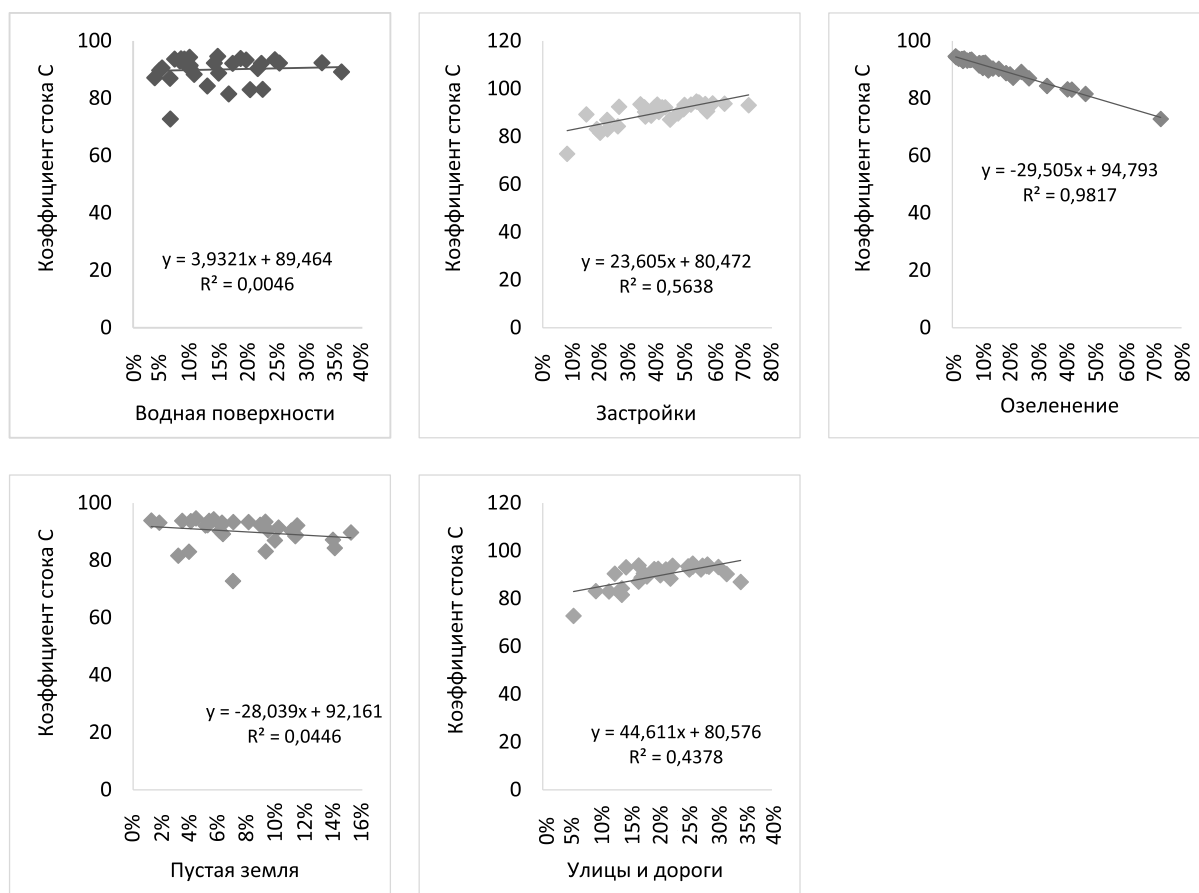


Рис. 7. График корреляции между типами почвенного покрова и коэффициентом стока C

и незастроенные земли, а также зелень вдоль рек и каналов

Группа 3: Хорошая водоудерживающая способность, коэффициент поверхностного стока менее 0,6.

- Нумерация кривой менее 85

- Канал не уплотнен

- Жилье в суббассейнах группы 3 имеет средний или низкий коэффициент плотности застройки (<0.65)

- Площадь зеленых насаждений относительно высокая (более 30 %): парки, незастроенные земли, озеленение вдоль рек и каналов, сельскохозяйственные угодья.

Заключение

Комбинация метода интерпретации спутниковых изображений и модели SCS может использоваться для оценки поверхностного стока в зависимости от условий землепользования в Хошимине. В дополнение к оценке текущего состояния, вышеупомянутый метод также применим для оценки эффективности мер по планированию снижения наводнений в Хошимине путем изменения землепользования.

Урбанизация в районе города Хошимина значительно снизит емкость аккумуляторов дождевой воды, а величина поверхностного стока будет чрезвычайно высокой (в среднем 72 % для осадков 93,1 мм). Поверхностный сток будет увеличен для его большего объема. В августе 2020 г. в Хошимине за 180 мин выпало 198,3 мм осадков, что вызвало сильные наводнения [20].

Влияние урбанизации на поверхностный сток очевидно по результатам оценки района 8. Суббассейны, граничащие с центральными районами города с высокой степенью урбанизации, обладают низкой емкостью инфильтрации грунтов, значительным объемом поверхностного стока. В отличие от загородных участков зазоры с низкой долей твердой поверхности обладают относительно низкой величиной поверхностного стока. Большая разница в величине стока между этими областями очевидна по коэффициенту поверхностного стока C .

Таким образом, для снижения риска и ущерба от наводнений, вызванных дождем, и пополнения городского грунтового стока необходимы меры по уменьшению площади твердой поверхности, разуплотнению застройки в контуре рек и каналов, тем самым увеличить емкость инфильтрации грунтов города. Площадь зеленых насаждений и коэффициент поверхностного стока имеют тесную взаимосвязь. Необходимы меры по увеличению площади зеленых насаждений для уменьшения величины поверхностного стока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ле Нгок Туан, Чан Тхи Ким, Нгуен Ки Фунг. Риск наводнения в Хошимине в контексте изменения климата и повышения уровня моря // Наука и развитие технологий журнал естественных наук. 2018. № 2 (6). С. 182–191.
2. Hanson S., Nicholls R., Ranger N. et al. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes // Climatic Change, Vol. 104, 2011. pp. 89–111. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9977-4>
3. Phi H.L. Climate change and urban flooding in Ho Chi Minh City // The Third Conference on Climate and Water: Sep 3–6. Helsinki-Finland. 2007.
4. Harry Storch, Nigel K. Downes. A scenario-based approach to assess Ho Chi Minh City's urban development strategies against the impact of climate change // Cities. Dec 2011. Vol. 28. No. 6. pp. 517–526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.07.002>
5. Lempert, Robert and Kalra, Nidhi and Peyraud, Suzanne and Mao, Zhimin and Tan, Sinh Bach and Cira, Dean and Lotsch, Alexander. Ensuring Robust Flood Risk Management in Ho Chi Minh City. // World Bank Policy Res Working Paper. 2013. Vol. 6465. P. 63.
6. «Сломанный» план переселения 20000 домов вдоль канала и каналов [Электронный ресурс]. URL: <https://thanhnien.vn/tai-chinh-kinh-doanh/vo-ke-hoach-di-doi-20000-can-nha-ven-kenh-rach-1227795.html> (дата обращения: 09.09.2020).
7. Кошелева О.Ю. Оценка запечатанности почвенного покрова города Волгограда // Вестник ВГУ, серия: география. Геоэкология. 2019. № 1. С. 12–18.
8. Нгуен До Зунг. Наводнение в Хошимине: «мягкий» подход [Электронный ресурс] // ASHUI. 2011. URL: <https://ashui.com/mag/index.php/tuongtac/phanbien/55-phanbien/4272-ngap-lut-tai-thanh-pho-ho-chi-minh-huong-tiep-can-mem.html> (дата обращения: 26.05.2020).
9. Hong X. Geography and natural resources of district 8, Ho Chi Minh City // Quan 8. tp. HCM. 2014. URL: <http://www.quan8.hochiminhcity.gov.vn/pages/dieu-kien-tu-nhien.aspx> (дата обращения: 3.10.2021).
10. Статистический ежегодник Хошимина. Хошимин, 2018.
11. Google Earth [Электронный ресурс] URL: <https://earth.google.com/> (дата обращения: 15.September.2020).
12. Хоанг Тхи То Ну, Доан Тхань Ву, Ле Ван Фунг, Кан Тху Ван. Моделирование уровня затопления и предложение дренажных решений для предотвращения наводнения в районе Ван Тхань – город Хошимин // Журнал метеорологии и гидрологии. 2020. № 716. С. 12–25.
13. Ven Te Chow. Applied Hydrology. Mc Graw Hill. 1988. 454 pp.
14. Li, Chunlin; Liu, Miao; Hu, Yuanman; Shi, Tuo; Zong, Min; Walter. Assessing the Impact of Urbanization on Direct Runoff Using Improved Composite CN Method in a Large Urban Area // Int J Environ Res Public Health., Vol. 15, No. 4, Apr 2018. P. 775. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15040775>
15. Chunlin Li, Miao Liu, Yuanman Hu, Tuo Shi, Xiuqi Qu, M. Todd Walter. Effects of urbanization on

direct runoff characteristics in urban functional zones // *Science of The Total Environment*, Vol. 643, No. 1, Dec 2018, pp. 301-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.211>

16. Лыонг Ван Вьет. Исследование влияния городского развития на избыточное количество осадков в бассейне реки Тхи Тинь // *Журнал развития науки и технологий*. 2016. № 1. С. 67–78.

17. Нгуен Тхань Сон. Настройка формулы расчета общей депрессии в методе SCS путем экспериментальной обработки для бассейна реки Та Чач станции Тхьонг Ньят // *Вьетнамский журнал наук о Земле*. 2008. № 30. С. 2615–9783. DOI: <https://doi.org/10.15625/0866-7187/30/4/11770>

18. An Thi Ngoc Dang L.K. Application of remote sensing and GIS-based hydrological modelling for flood risk analysis: a case study of District 8, Ho Chi Minh city, Vietnam // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, T. 8, № 2, 2017. С. 1792-1811.

19. Shadeed S A.M. Application of GIS-based SCS-CN method in West Bank catchments, Palestine // *Water Sci Eng.*, No. 3, 2010. pp. 1–13.

20. Фыонг В. Прошлой ночью в Хошимине прошел беспрецедентный в истории проливной дождь // Тхань Ньен. 2020. URL: <https://thanhvien.vn/doi-song/dem-qua-tphcm-hung-tran-mua-to-ky-luc-chua-tung-co-trong-lich-su-1262073.html> (дата обращения: 13.03.2021).

REFERENCES

1. Le Ngoc Tuan, Tran Thi Kim, Nguyen Ky Phung. Flood risk in Ho Chi Minh City in the context of climate change and sea level rise. *Science and technology development journal natural sciences*, 2018, vol. 2, no. 6, pp. 182-191. (in Vietnamese)

2. Hanson, S., Nicholls, R., Ranger, N. et al. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. *Climatic Change*, 2011, vol. 104, pp. 89–111. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9977-4>

3. Phi H.L. Climate change and urban flooding in Ho Chi Minh City. The Third Conference on Climate and Water: Sep 3–6. Helsinki-Finland, 2007. (in Vietnamese)

4. Harry Storch, Nigel K. Downes. A scenario-based approach to assess Ho Chi Minh City's urban development strategies against the impact of climate change. *Cities*. Dec. 2011, vol. 28, no. 6, pp. 517-526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.07.002>

5. Lempert, Robert and Kalra, Nidhi and Peyraud, Suzanne and Mao, Zhimin and Tan, Sinh Bach and Cira, Dean and Lotsch, Alexander. Ensuring Robust Flood Risk Management in Ho Chi Minh City. World Bank Policy Res Working Paper, 2013, vol. 6465, p. 63.

6. «Broken» plan to relocate 20,000 houses along the canal and canals. Thanh Nien, 2020. Available at: <https://thanhvien.vn/tai-chinh-kinh-doanh/vo-ke-hoach-di-doi-20000-can-nha-ven-kenh-rach-1227795.html> (in Vietnamese)

7. Kosheleva O.Yu. Assessment of the sealing of the soil cover of the city of Volgograd. *Vestnik VGU, seriya: geografiya. Geoekologiya* [VESTNIK VSU, SERIES: geog-

raphy. *Geoecology*], 2019, no. 1, pp. 12-18. (in Russian)

8. Dung N. D. Inundation in Ho Chi Minh City: A «soft» approach. ASHUI. 2011. Available at: <http://ashui.com/mag/index.php/tuongtac/phanbien/55-phanbien/4272-ngap-lut-tai-thanh-pho-ho-chi-minh-huong-tiep-can-mem.html> (in Vietnamese)

9. Hong X. Geography and natural resources of district 8, Ho Chi Minh City. District 8, HCMC. 2014. Available at: <http://www.quan8.hochiminhcity.gov.vn/pages/dieu-kien-tu-nhien.aspx> (in Vietnamese)

10. Statistical Yearbook of Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City, 2018. (in Vietnamese)

11. Google Earth. Available at: <https://earth.google.com/> (дата обращения: 15.September.2020).

12. Hoang Thi To Nu, Doan Thanh Vu, Le Van Phung, Can Thu Van. Flood Level Simulation and Proposal of Drainage Solutions for Flood Prevention in Van Thanh District - Ho Chi Minh City. *Journal of Meteorology and Hydrology*, 2020, vol. 716, pp. 12-25. (in Vietnamese)

13. Ven Te Chow. *Applied Hydrology*. Mc Graw Hill, 1988. 454 p.

14. Li, Chunlin, Liu, Miao, Hu, Yuanman, Shi, Tuo, Zong, Min, Walter. Assessing the Impact of Urbanization on Direct Runoff Using Improved Composite CN Method in a Large Urban Area. *Int J Environ Res Public Health*, Apr 2018, vol. 15, no. 4, p. 775. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15040775>

15. Chunlin Li, Miao Liu, Yuanman Hu, Tuo Shi, Xiuqi Qu, M. Todd Walter. Effects of urbanization on direct runoff characteristics in urban functional zones. *Science of The Total Environment*, Dec 2018, vol. 643, no. 1, pp. 301-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.211>

16. Viet L.V. Study on the effect of urban development on the excess rainfall on Thi Tinh river basin. *Science and Technology Development Journal*, 2016, vol. M1, pp. 67-78. (in Vietnamese)

17. Son N.T. Adjustment of formula for calculating initial loss depth in scs method by numerical experiment for Ta Trach river basin, Thuong Nhat station. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 2008, vol. 30, pp. 2615-9783. (in Vietnamese)

18. An Thi Ngoc Dang L.K. Application of remote sensing and GIS-based hydrological modelling for flood risk analysis: a case study of District 8, Ho Chi Minh city, Vietnam. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2017, vol. 8, no. 2, pp. 1792-1811.

19. Shadeed S A.M. Application of GIS-based SCS-CN method in West Bank catchments, Palestine. *Water Sci Eng.*, 2010, no. 3, pp. 1–13.

20. Phuong V. Last night, Ho Chi Minh City received an unprecedented heavy rain in history. Thanh Nien, 2020. Available at: <https://thanhvien.vn/doi-song/dem-qua-tphcm-hung-tran-mua-to-ky-luc-chua-tung-co-trong-lich-su-1262073.html> (in Vietnamese) x

Об авторах:

НГУЕН Ван Минь

аспирант кафедры градостроительства
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет
129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26
E-mail: mikenguyen@mail.ru

NGUYEN Van Minh

Postgraduate Student of the Town Planning Chair
Moscow State University of Civil Engineering (National
Research University)
Institute of Architecture and Civil Engineering
129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye Shosse str., 26
E-mail: mikenguyen@mail.ru

ЗАЙКОВА Елена Юрьевна

кандидат архитектуры,
доцент кафедры градостроительства
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет
129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26
E-mail: lena_landscape21@mail.ru

ZAYKOVA Elena Yurievna

PhD in Architecture, Associate Professor of the Town
Planning Chair
Moscow State University of Civil Engineering (National
Research University)
Institute of Architecture and Civil Engineering
129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye Shosse str., 26
E-mail: lena_landscape21@mail.ru

Для цитирования: Нгуен В.М., Зайкова Е.Ю. Изучение влияния городской застройки на поверхностный сток на примере района 8 города Хошимина // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 145–156. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.20.

For citation: Nguyen Van Minh, Zaykova E.Yu. Assessing the Impact of Urbanization on Direct Runoff in District 8, Ho Chi Minh City. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 145–156. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.20.

**НАУЧНО-ПРОЕКТНЫЙ ЦЕНТР
«АРХИГРАД»**

Направления
деятельности



Градостроительство, градостроительная реконструкция, территориальное планирование, архитектурное и ландшафтное проектирование, реконструкция зданий и сооружений, экспертная деятельность, повышение квалификации руководителей и специалистов организаций

Руководитель



Татьяна Владимировна ВАВИЛОНСКАЯ
доктор архитектуры, профессор

Контакты



443001, Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 0102
(846) 242-52-21
baranova1968@mail.ru