

# ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ПО ОПЫТУ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕК ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.В. Бузмаков<sup>1,2</sup>, Е.В. Гуревич<sup>1</sup>, С.А. Журавлев<sup>1,2</sup>,  
Л.С. Курочкина<sup>1</sup>, М.Л. Марков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Государственный гидрологический институт и <sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: bsv.ru@list.ru

Статья поступила в редакцию 05.08.2015; принята к печати 19.02.2016

Рассмотрены подходы по построению зон затопления в применении к ряду населенных пунктов Ленинградской области. Отмечены практические проблемы, возникающие при расчете характеристик периодически затапливаемых территорий, а также описываются возможные варианты их решения. Анализируется опыт применения различных видов дополнительной информации, в том числе космических снимков высокого разрешения, в целях повышения надежности расчетов.

**Ключевые слова:** наводнение, зона затопления, Ленинградская область, наивысший уровень воды, космический снимок.

## PRACTICAL ASPECTS OF DETERMINATION OF FLOOD AREAS BASED ON THE EXPERIENCE OF STUDIES IN LENINGRAD OBLAST

S.V. Buzmakov<sup>1,2</sup>, Ye.V. Gurevich<sup>1</sup>, S.A. Zhuravlev<sup>1,2</sup>, L.S. Kurochkina<sup>1</sup>, M.L. Markov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State Hydrological Institute and <sup>2</sup> Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

E-mail: bsv.ru@list.ru

Approaches to plotting the zones of flooding are reviewed as applied to places in Leningrad Oblast. Practical problems in calculating the characteristics of periodically occurring floods are delineated and possible variants of their solution are suggested. The experience of making use of auxiliary information, including high-resolution aerospace photography, for making such calculation more reliable is analyzed.

**Keywords:** flood, flooded zone, Leningrad Oblast, flood peak, aerospace photography.

### Введение

Наводнения на реках не только наносят огромный материальный ущерб экономике, но и угрожают жизни и здоровью населения [2]. Наиболее опасные наводнения на территории России случаются в южных и восточных регионах страны, но в той или иной степени практически все регионы России испытывают их негативное воздействие. Северо-Запад и, в частности, Ленинградская область также характеризуется высокой повторяемостью наводнений и существенным ущербом от них [4, 6].

В градостроительной нормативной документации считается установленным, что застроенные или подлежащие застройке жилыми и общественными зданиями территории должны быть защищены от затопления или расположены выше отметок наивысших уровней воды повторяемостью один раз в 100 лет. Граница зон затопления должна быть в обязательном порядке нанесена на карты генеральных планов поселений. Несмотря на то что данное требование к проектной документации действует уже более пятидесяти лет, многие населенные пункты России до сих пор не защищены от затопления.

В настоящее время по всей стране начинают производиться работы по определению зон затопления, однако в типовых технических заданиях на производство этих работ не содержится четких алгоритмов их выполнения. Правила определения зон затопления, утвержденные Правительством РФ в 2014 г., содер-

жат только обобщенные рекомендации по необходимости учета отдельных типов сведений и материалов и не регламентируют использование конкретных подходов или моделей.

Цель данной работы – определение зон затоплений и выявление особенностей речных наводнений для ряда населенных пунктов Ленинградской области. В статье выделяются основные этапы работ по определению зон затопления и рассматриваются наиболее распространенные проблемы, возникающие при расчете характеристик периодически затапливаемых территорий.

### Материалы и методы исследования

Процесс расчета зон затопления был разделен на четыре последовательных этапа.

1. Сбор и анализ исходной информации (гидрометеорологических, геодезических, кадастровых данных), аэрокосмической съемки, сведений об антропогенном воздействии на русла и поймы рек, ущерба от затоплений.

В качестве основного источника информации о фактах затопления использовались сведения региональных управлений Росгидромета, комитетов (отделов) по архитектуре и градостроительству, отделов по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям. Дополнительным источником информации служили опросы местных жителей, наблюдателей на гидрологических постах, данные средств массовой

информации и интернет-ресурсов, включая фото- и видеоматериалы с места событий.

2. Рекогносцировочные обследования затопляемых участков рек. В ходе работ выявлялись факторы, влияющие на пропускную способность русла (русловые процессы, участки образования заторов, гидротехнические сооружения и др.), проводилось обоснование плано-высотной сети, установление, нивелировка и картирование меток высоких вод.

3. Расчет уровней и расходов воды различной вероятности превышения проводился на основе данных многолетних наблюдений гидрологической сети Росгидромета. В пределах каждого населенного пункта, для которого проводилась оценка зон затопления, действует сейчас или находился ранее пункт гидрометрических наблюдений.

Следует отметить, что типовые методы гидрологических расчетов, предлагаемые в Методических рекомендациях по определению расчетных гидрологических характеристик, позволяют получить отметку наивысшего уровня только в расчетном створе. Перенос расчетных уровней воды по длине реки – одна из основных задач, возникающих при расчетах зон затопления. Модели неустановившегося движения воды, как правило, применяются для расчетов на больших реках [3, 7]. Методы гидравлических расчетов имеют ряд существенных ограничений, связанных с отсутствием морфометрических данных и неопределенностью оценок коэффициентов сопротивления [1, 11], нуждаются в калибровке и имеют различную надежность [10], по причине чего их использование

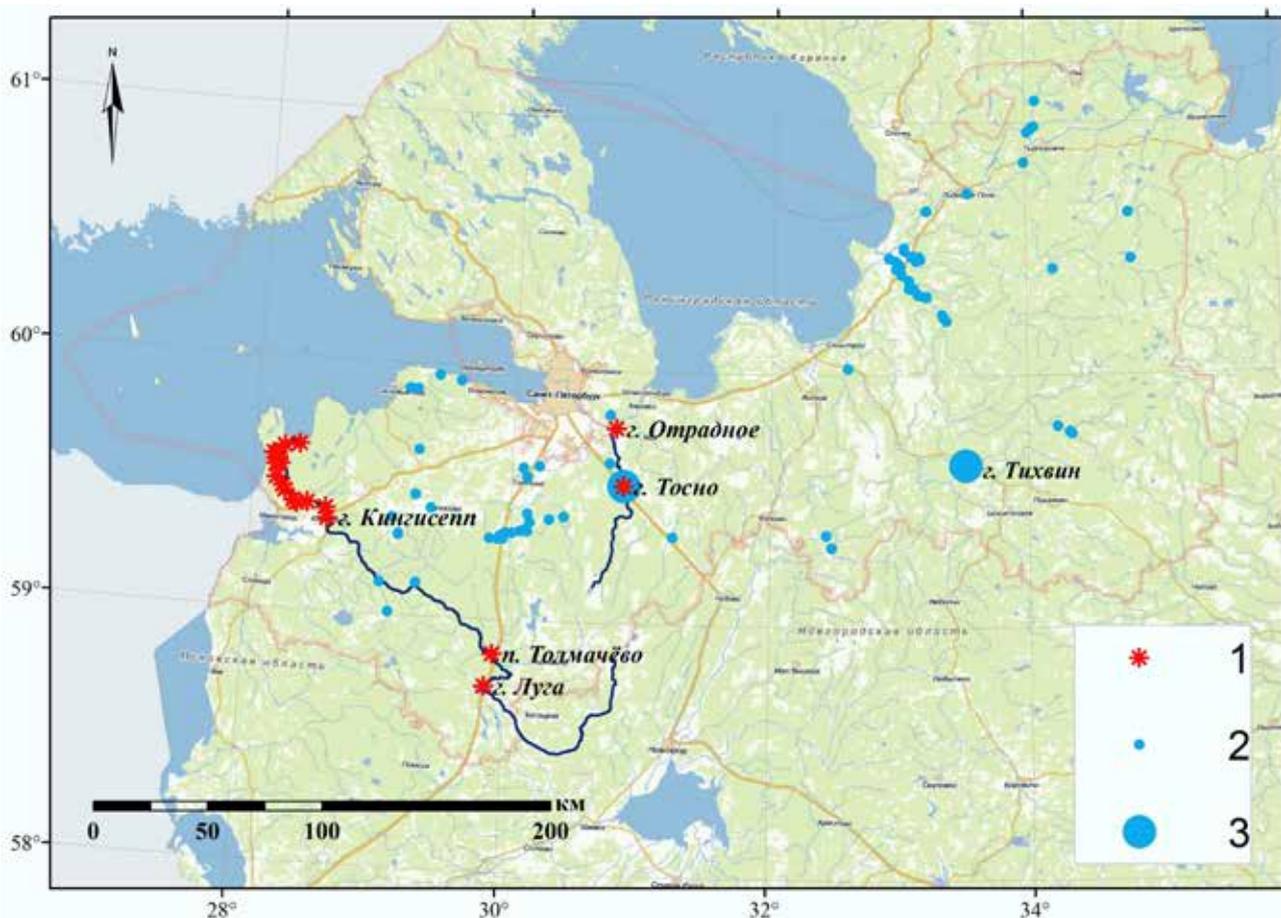
в массовых типовых расчетах, особенно на малых и средних реках, зачастую неэффективно [9]. Вследствие этого зачастую используются упрощения, позволяющие понизить требования к полноте исходной информации [5, 8].

В настоящей работе для задания отметок водной поверхности использовалась планарная модель с постоянным уклоном водной поверхности [12], который определялся по данным полевых измерений либо снимался с крупномасштабных топографических карт. Следует отметить, что использование упрощенных моделей подобного рода допустимо только для относительно коротких и освещенных данными наблюдений участков речных русел. В таких условиях планарная модель будет характеризоваться надежностью, сравнимой с гидродинамическими моделями [8, 9].

4. Выделение зон затопления путем пересечения цифровой модели рельефа, построенной на основе топографических планов, и наклонной плоскости, соответствующей положению водной поверхности.

### Объекты исследований

В пределах Ленинградской области периодическим затоплениям подвержено более 100 населенных пунктов, а в зонах затопления находится более 2000 жилых зданий, в которых проживает около 10000 человек (рис. 1). Высокие ущербы приносят разливы рек Тосны, Ояты, Ордежи, Паши, Тихвинки и Луги. Наиболее значительные последствия наводнений отмечаются в городах Тосно и Тихвин.



**Рис. 1.** Населенные пункты Ленинградской области, подвергающиеся периодическим затоплениям: 1 – исследуемые пункты; 2 – пункты, подвергающиеся незначительному затоплению; 3 – пункты с наибольшими ущербами от наводнений

Работы по выделению зон затопления проводились для населенных пунктов, расположенных на берегах рек Луги и Тосны (рис. 1). Воды Луги и ее притоков первого порядка периодически затапливают часть территорий 23 населенных пунктов. Самые высокие наводнения наблюдались в 1926, 1956, 1966, 2010 и 2011 гг. В пределах бассейна р. Тосны расположены 2 периодически затапливаемых населенных пункта: г. Тосно и г. Отрадное. Масштабные наводнения наблюдались здесь в 1966, 2010 и 2013 гг., в результате последнего наводнения погиб 1 человек. Для указанных населенных пунктов подобные работы проводились впервые.

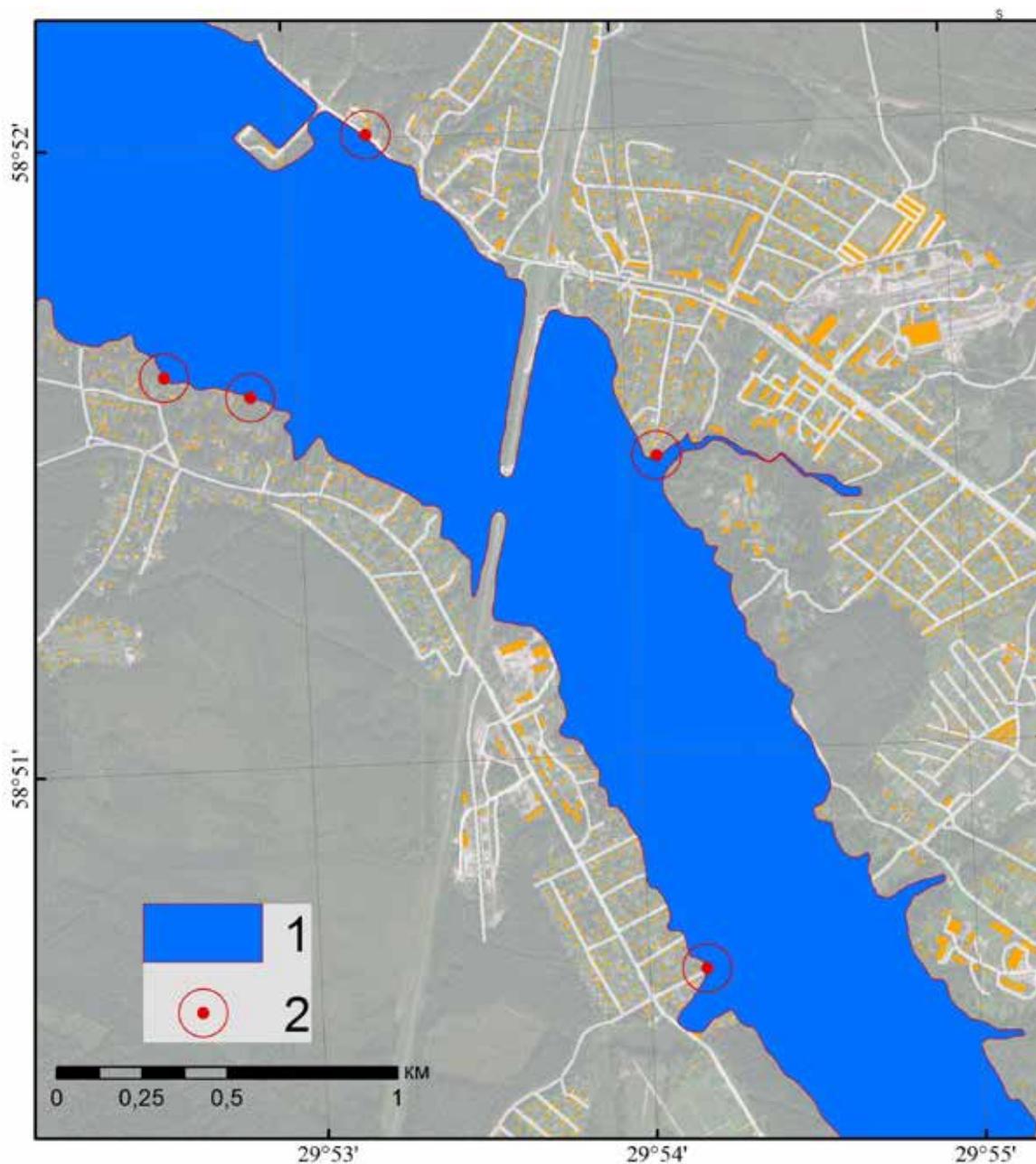
### Результаты и обсуждение

**Река Луга.** Выявление зон затопления проводилось для пос. Толмачево, г. Луги и участка ниже г. Кингисеппа. В пределах Толмачево и Луги река имеет

пойму простой формы и характеризуется достаточно равномерным уклоном. Данные факторы наряду с расположением гидрологических постов в центрах населенных пунктов, как показала верификация по меткам высоких вод для п. Толмачево (рис. 2), обеспечили достаточную надежность расчетов.

Для п. Толмачево при наивысшем уровне воды повторяемостью один раз в сто лет (обеспеченностью 1%) 38,72 м по Балтийской системе высот (БС) зона затопления составляет 0,92 км<sup>2</sup>, при этом в нее попадают 76 зданий и строений. Город Луга фактически не подвержен затоплениям – при повторяемости затопления 1 раз в 100 лет (уровень воды 39,77 м БС) в зону затопления попадают всего 8 зданий.

Отличительной особенностью участка р. Луги в пределах г. Кингисеппа является сложная форма продольного профиля реки. В пределах города расположены пороги и нефункционирующая ГЭС. Амплитуда



**Рис. 2.** Верификация зон затопления по меткам высоких вод 2011 г., близкого к 5% повторяемости превышения, для п. Толмачево: 1 – зона затопления при уровне воды 5% повторяемости превышения; 2 – метки высоких вод 2011 г.

да колебаний уровня воды ниже порогов составляет 7 м, выше – около 4 м. Использование информации по гидрологическому посту, расположенному в 3 км ниже порогов, без учета особенности профиля водной поверхности приводило к значительным погрешностям. В связи с этим продольный профиль был восстановлен по натурным наблюдениям очевидцев наводнения 1966 г. В зону затопления при уровне воды 7,54 м БС попадают 354 здания, значительная часть которых находится на территории садовых участков. Расчеты показали, что на действующем генеральном плане города граница зоны затопления нанесена корректно только для участка ниже порогов, для верхнего участка площадь затопления завышена.

В нижнем течении р. Луги на участке длиной 60 км от устья затоплению подвержены 16 населенных пунктов. Генезис образования наводнений здесь различен – малая пропускная способность русла, ледовые явления, нагонные явления, а также их взаимное наложение. Выявление причин наводнений осуществлялось путем рекогносцировочного обследования с опросом местных жителей (рис. 3).

**Река Тосна.** Расчетные уровни воды определялись по посту р. Тосна – г. Тосно. При наивысшем уровне воды 31,45 м БС в зону затопления попадает 2450 жилых зданий, большинство из которых (97%)

одноэтажные. Более половины затопляемых зданий (1310 построек) расположены в пригородных садоводствах.

Верификация зон затопления проводилась по материалам космического снимка SPOT 5 разрешением 2,5 м, предоставленного Ресурсным центром космических и геоинформационных технологий СПбГУ. По снимку выделена фактическая зона затопления на 08:00 часов 22 апреля 2013 г., соответствующая повторяемости 1 раз в 10 лет (рис. 4). В ее пределах расположено 1440 жилых зданий. Следует отметить, что на значительной части территории глубины затопления не превышали 0,3 м, вследствие чего вода не попадала внутрь жилых помещений.

Затопление г. Отрадное, расположенного в устье р. Тосны, происходит в зимний период из-за образования подпора р. Невой при возникновении на последней ледяных заторов. В зону затопления при повторяемости 1 раз в 100 лет (уровень воды 4,94 м БС) попадает 41 здание.

Следует отметить, что надежное определение зон затопления возможно лишь при соблюдении следующих условий.

1. Наличие современного картографического материала. Было установлено, что оптимальными масштабами карт для данного вида работ являются



**Рис. 3.** Генезис наводнений в нижнем течении р. Луги



**Рис. 4.** Верификация рассчитанных зон затопления р. Тосны по космическому снимку за 21 апреля 2013 г. (близкого к 10% повторяемости превышения)

1:500, 1:1000 и 1:2000 с сечением рельефа не более 0,5 м. Использование карт масштаба 1:10000 или соответствующих им цифровых моделей рельефа приводило к снижению надежности установления зоны затопления. В случае отсутствия требуемого картографического материала должна производиться геодезическая съемка местности, что значительно увеличивает стоимость работ.

2. Наличие гидрометрических наблюдений на изучаемом участке водного объекта. В случае недостаточности или полного отсутствия наблюдений надежность расчетов будет существенно снижаться.

3. Верификация результатов расчетов по фактическим зонам редкой повторяемости. Последние могут быть установлены в ходе опросов местных жителей и представителей органов власти с нивелированием отметок уровня высоких вод (и) или путем обработки аэрокосмических снимков высокого разрешения, выполненных в период прохождения паводка низкой повторяемости.

При несоблюдении хотя бы одного из перечисленных условий требования к надежности определения зон затопления должны существенно снижаться.

### Заключение

По результатам расчетов нами было установлено, что в пределах зон затопления расчетной веро-

ятности превышения 1% для исследуемых объектов на р. Луге расположено 438 зданий, на р. Тосне – 2491 здание, из которых 2450 – в г. Тосно.

Нами показано, что для корректного установления зон затоплений требуется использование всех возможных видов информации, в том числе метки высоких вод, опросы местных жителей и материалы аэрокосмических съемок, которые позволяют провести верификацию расчетов.

Действующие нормативные документы в инженерной гидрологии, градостроительстве, в ведении государственного водного реестра, государственного кадастра недвижимости не раскрывают в полной мере методики определения границ зон затопления, особенно в сложных условиях их формирования в антропогенно нарушенных речных руслах, поймах и долинах, где расположены населенные пункты.

С учетом масштаба предполагаемых работ по выделению зон затопления для всех водных объектов целесообразно разработать единые методические рекомендации, устанавливающие общие подходы и требования к определению границ зон затопления территорий.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ № МК-5251.2014.5.

### Литература

#### Список русскоязычной литературы

1. Барышников НБ. Гидравлические сопротивления речных русел. СПб.: РГГМУ; 2003.
2. Доброумов БМ, Тумановская СМ. Наводнения на реках России: их формирование и районирование. Метеорология и гидрология. 2002;12:70-8.
3. Данилов-Данильян ВИ, Гельфан АН, Мотовилов ЮГ, Калугин АС. Катастрофическое

наводнение 2013 года в бассейне реки Амур: условия формирования, оценка повторяемости, результаты моделирования. Водные ресурсы. 2014;41(2):111-22.

4. Нежиховский РА. Наводнения на реках и озерах. Л.: Гидрометеиздат; 1988.

5. Постнова ИС, Яковченко СГ, Дмитриев ВО. Технология оценки с помощью ГИС зон затопления весенними паводками малой обес-

печенности. Вычислительные технологии. 2005;10(3):39-46.

6. Таратунин АА. Наводнения на территории Российской Федерации. Екатеринбург: УРЦ «Аэрокосмоэкология»; 2000.

7. Терский ПН, Фролова НЛ. Наводнения на реках севера Европейской территории России (на примере бассейна р. Северная Двина). Известия РАН. Серия географическая. 2011;3:94-105.

#### Общий список литературы/Reference list

1. Baryshnikov NB. Gidravlicheskiye Soprotivleniye Rechnykh Rusl [Hydraulic Resistance of Fluvial Channels]. Saint Petersburg.: RSHU Publishers; 2003. (In Russ.)

2. Dobroumov BM, Tumanovskaya SM. [River floods in Russia: their formation and zoning]. Meteorologiya i Gidrologiya. 2002;12:70-8. (In Russ.)

3. Danilov-Danilyan VI, Gelfan AN, Motovilov Yu G, Kalugin AS. [The disastrous flood of 2013 in Amur basin: Its genesis, assessment of its recurrence, and simulation results]. Vodnye Resursy. 2014;41(2):111-22. (In Russ.)

4. Nezhikhovskiy RA. Navodnniya na Rekakh i Ozerakh. [Flood of Rivers and Lakes]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1988. (In Russ.)

5. Postnova IS, Yakovchenko SG, Dmitriev VO. [A GIS technology for calculation of flooded ar-

eas]. Vychislitelnye Tekhnologii. 2005;10(3):39-46. (In Russ.)

6. Taratunin AA. Navodneniya na Territorii Rossiyskoy Federatsii. [Floods in the territory of the Russian Federation]. Yekaterinburg: URC Aerokosmologiya; 2000.

7. Terskiy PN, Frolova NL. [Floods of the North-European Russian rivers (a case study of the river Severnaya Dvina)]. Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya. 2011;3:94-105.

8. Bates PD, De Roo APJ. A simple raster-based model for flood inundation simulation. J Hydrol. 2000;236(1):54-77.

9. Di Baldassarre G, Schumann G, Bates PD, Freer JE, Beven KJ. Flood-plain mapping: a critical discussion of deterministic and probabilistic approaches. Hydrol Sci J. 2010;55(3):364-76.

10. Horritt MS, Bates PD. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. J Hydrol. 2002;268(1):87-99.

11. Khrapov SS, Pisarev AV, Kobelev IA, Zhumaliev AG, Agafonnikova EO, Losev AG, Khoperskov AV. The numerical simulation of shallow water: estimation of the roughness coefficient on the flood stage. Adv Mech Eng. 2013;5:787016.

12. Priestnall G, Jaafar J, Duncan A. Extracting urban features from LiDAR digital surface models. Comput Environ Urban. 2000;24(2):65-78.

