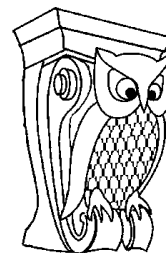




УДК (504.5.06+004.942):(470.44)

## Разработка алгоритма математико-картографического моделирования зон затопления застроенных территорий (на примере участка реки Медведица у города Петровска Саратовской области)



П. А. Шлапак, В. А. Морозова, Е. А. Морозова

Шлапак Павел Александрович, старший преподаватель, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, henryxiv@list.ru

Морозова Валерия Андреевна, ассистент, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, riukarin@gmail.ru

Морозова Елена Алексеевна, магистрант, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, elena\_hvesina@mail.ru

В статье рассматриваются аспекты разработки алгоритма построения зон затопления с помощью современных геоинформационных технологий на участке р. Медведица в пределах г. Петровска Саратовской области. Рассмотрен комплексный подход к построению зон затопления разной обеспеченности гидрологической величины. В результате применения разработанного алгоритма выявлены участки, подвергающиеся риску затопления с разными вероятностями (1, 5, 25 и 50%), с указанием глубины затопления.

**Ключевые слова:** зона затопления, половодье, паводок, геоинформационное моделирование, моделирование зоны затопления, р. Медведица, Саратовская область.

Поступила в редакцию: 24.03.2020 / Принята: 12.04.2020 / Опубликована: 31.08.2020

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

**The Development of an Algorithm for Constructing the Flood Zones Using Geoinformation Technologies (on the Example of the Medveditsa River Section Near Petrovsk)**

P. A. Shlapak, V. A. Morozova, E. A. Morozova

Pavel A. Shlapak, <https://orcid.org/0000-0002-6418-8749>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, henryxiv@list.ru

Valeria A. Morozova, <https://orcid.org/0000-0002-5768-1201>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, riukarin@gmail.ru

Elena A. Morozova, <https://orcid.org/0000-0002-0827-3084>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, elena\_hvesina@mail.ru

The article discusses aspects of developing an algorithm for flood zones modeling using modern geographic information technologies in

the area of the river near the town Petrovsk. The integrated approach to the flood zones modeling of different hydrological magnitude is considered. As a result of the developed algorithm application, flood risk areas with different probabilities (1, 5, 25 and 50%) with an indication of the depth of flooding are identified.

**Keywords:** flood zone, high water, flood, geoinformation modeling, flood zone modeling, Medveditsa River, Saratov region.

Received: 24.03.2020 / Accepted: 12.04.2020 / Published: 31.08.2020

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-3-176-183>

**Актуальность исследования.** Проблема прогнозирования возникновения и развития опасных природных явлений является одной из наиболее актуальных в географических исследованиях. Лесные пожары, разливы рек, сходы оползней, активизация водной эрозии – все эти и другие опасные явления заставляют исследователя искать способы их прогнозирования для оценки и минимизации ущерба. Несомненно, существует множество методик для прогноза и моделирования опасных для человека природных явлений [1–4]. Однако их усовершенствование, адаптирование для работы с локальными объектами исследования, поиск новых приемов для разработки методического алгоритма очень важны при решении многих конкретных задач.

К наиболее распространенным и опасным явлениям на территории Российской Федерации относится наводнение. Оно представляет угрозу для населенных пунктов и объектов инфраструктуры. Затопление может быть спровоцировано разливом рек из-за половодья, паводка, заторов, зажоров или ошибками в регулировании уровня воды на гидротехнических объектах [5–6].

Существующие исследования, направленные на изучение наводнений (затоплений, как более локального явления) и оценку возможного ущерба от них, в большинстве своем опираются на комплексную обработку данных на основе статистического, вероятностного подходов и методов риск-анализа [7–10].

Качественные результаты на основе такой обработки можно получить лишь при наличии актуальных данных, отличающихся полнотой и детальностью. Их отсутствие – причина невозможности создания надлежащих прогнозных моделей. К сожалению, получение нужных данных сложно обеспечить – нет стационарных или



временных пунктов наблюдения, слишком дорогими и затратными по времени являются полевые исследования. Поэтому возникает необходимость в комплексировании информации из разных источников об исследуемом объекте. Обозначенная проблема далеко не новая, но до сих пор многие вопросы остаются открытыми. Так, актуальной является проблема разработки и совершенствования методов математико-картографического моделирования и улучшения соответствующего программного обеспечения, позволяющего обрабатывать большие массивы статистических и картографических данных, объединять их с данными полевых исследований и данными дистанционного зондирования (ДДЗ).

В предлагаемой статье изложены результаты разработки алгоритма моделирования зон затопления разной обеспеченности гидрологической величины (раздел 68 ГОСТ 19179) [9] в пределах ключевого участка на р. Медведице у г. Петровска Саратовской области, основанного на геоинформационных технологиях.

#### Характеристика объекта и методы исследования

Особенно актуальным является исследование городских плотнонаселённых и часто затопляемых территорий. Поэтому в качестве объекта изучения была выбрана территория г. Петровска с населением более 20 тысяч человек. Этот город Саратовской области расположен в верхнем течении р. Медведица. Значительная часть его территории (как частный сектор, так и участки с многоквартирными домами) периодически на протяжении достаточно длительного времени

подвергается затоплению во время половодья и паводков (рис. 1).

Алгоритм построения зоны затопления включает следующие этапы:

- подготовку и создание базы данных (БД);
- моделирование зон затопления;
- анализ результатов (рис. 2).

Следует отметить, что алгоритм достаточно стандартен для выполнения работ, связанных с математико-картографическим моделированием. Детали каждого из блоков рассмотрим подробно.

#### Подготовка и создание базы данных

Для создания модели затопления необходимо использовать целый комплекс данных. Перечислим основные виды данных, которые необходимы для исследования: сведения о расходах и уровне воды, о шероховатости речного дна, о типах землепользования на ключевом участке, рельефе, зданиях и сооружениях, мостах. Обозначенная информация имеется в разных источниках, которые можно разделить на несколько групп: многолетние сведения Гидрометеослужбы РФ (гидрологические посты и метеостанции), картографические материалы, данные дистанционного зондирования.

Дадим характеристику каждой выделенной группе источников.

1. Многолетние сведения Гидрометеослужбы РФ (*гидрологические посты и метеостанции*). Этот источник информации включает в себя многолетние данные об уровне и расходе воды в пределах выбранного гидропоста, а также об осадках и снежном покрове. Оптимальным вариантом является расположение

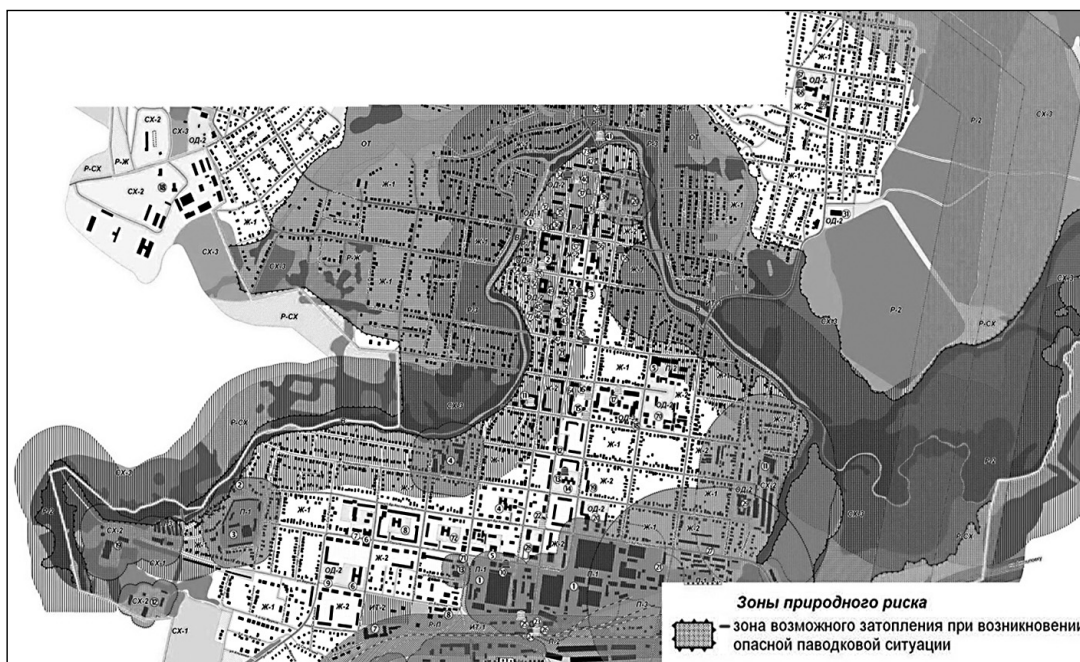


Рис. 1. Карта с особыми условиями использования территории г. Петровска с указанием зон возможного затопления при паводковой опасности [11]

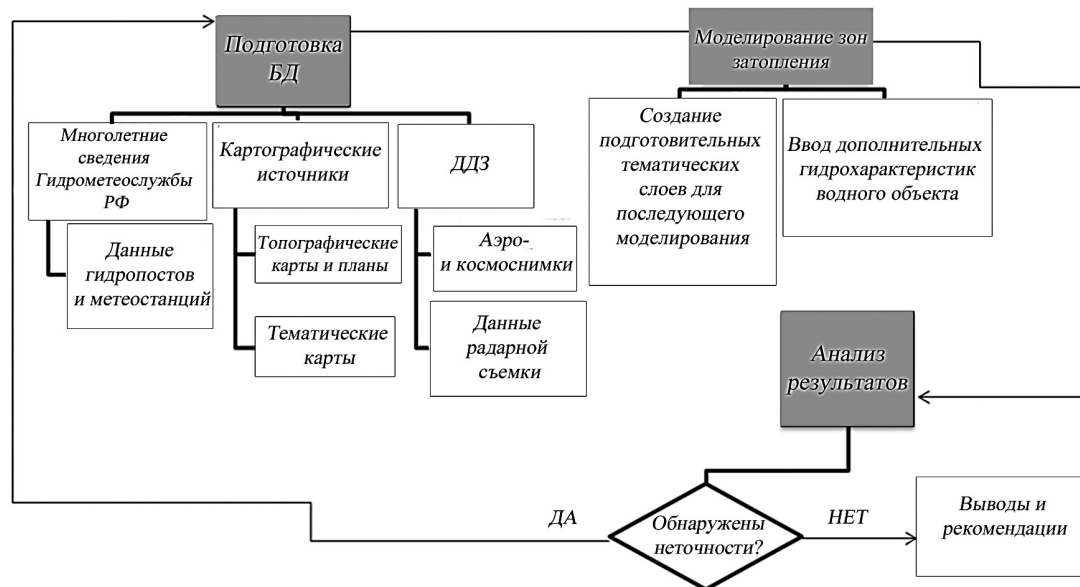


Рис. 2. Блок-схема алгоритма построения зон затопления (сост. авторами)

стационарного пункта наблюдения в пределах зоны затопления. К сожалению, это условие редко соблюдается. Гидрологический пост в г. Петровске существовал непродолжительный период в 30-е гг. XX в. (был расположен в 637 км от устья реки). Поэтому данные гидропоста в Петровске не отвечают двум важнейшим требованиям: длительности и актуальности наблюдений [9, 12]. В связи с этим необходимо использовать информацию с гидрологического поста-аналога. Согласно источникам [9, 12], в качестве поста-аналога можно выбрать створы выше или ниже по течению от основного гидрологического поста и отвечающие требованиям качества полученной на них информации. В данном исследовании рассматривался гидропост в р. п. Лысые Горы, находящийся ниже по течению (166 км) р. Медведица. Для построения зон затопления были использованы данные о среднемноголетнем расходе воды и показатели затопления паводками разной обеспеченности из гидрометеорологических справочников [12, 13].

2. *Картографические материалы.* Основой для картографирования и построения математико-картографических моделей послужили топографические и тематические карты функционального зонирования территории и типов землепользования. На основе этих карт создавались векторные слои цифровой карты: контуры гидрографических объектов, коммуникации, инженерно-технические сооружения, изолинии рельефа, отметки высот и т. п. Несомненно, при исследовании территорий на предмет затопления и уязвимости к этому явлению необходимо использовать более подробную и геометрически точную информации о рельефе, объектах инфраструктуры. Поэтому рекомендуется применять карты крупного масштаба вплоть до топографических планов (от 1:50000 и крупнее).

3. *Данные дистанционного зондирования Земли.* Для актуализации информации, взятой с топографических карт, были использованы данные радарной съемки SRTM и мозаика космоснимков Landsat-8 OLI. По этим данным уточнялись контуры гидрографии. Создание гидрологически-корректной цифровой модели рельефа было осуществлено на основе комбинации векторных слоев, оцифрованных по топокартам (изолинии, отметки высот), и открытых данных радарной съемки SRTM [14–16]. Очевидно, что для повышения точности построения моделей следует брать данные о рельефе с карт более крупного масштаба, использовать для уточнения этих данных дополнительно оцифрованные структурные линии (линии наибольшего ската, водоразделов, тальвегов). Кроме того, SRTM является цифровой моделью естественного и искусственного рельефа, что требует дополнительной работы с мозаикой. Отсюда вытекает необходимость предварительной обработки данных [14].

#### *Моделирование зон затопления*

Для создания модели затопления территории был использован программный комплекс ESRI ArcGIS, HEC-RAS 5.0 и ArcGIS HecGeoRas [17]. Модуль HEC-RAS моделирует гидравлику потока воды через естественные реки и каналы. Программа была создана для управления речными системами, гаванями и использования в гидрологических исследованиях.

Процесс моделирования начинается с конвертации собранной на первом этапе базы данных (векторные и растровые слои с характерной атрибутивной информацией).

Как итог, были созданы необходимые слои, представленные в табл. 1.



Таблица 1

## Характеристика тематических слоев HecGeoRAS

Название слоя	Наполнение слоя	Описание содержимого слоя
Stream centerline + tributies	Линейные объекты	Осевая линия водного потока и крупные притоки
Bank lines	Линейные объекты	Береговые линии
XS cut lines	Линейные объекты	Морфостворы
Flow path centerlines	Линейные объекты	Максимально возможные границы зоны затопления
Ineffective flow areas	Полигональные объекты	Водные объекты, обладающие очень низкой скоростью течения или не имеющие ее совсем
Blocked obstructions	Полигональные объекты	Безводные области (здания)
LandUse	Полигональные объекты	Данные по землепользованию
Manning K	Числовые характеристики	Коэффициенты Маннинга (шероховатость)

Дадим характеристику каждому из перечисленных тематических слоев.

1. *Stream centerline + tributies*. *Центральный поток + притоки*. Первый шаг подготовки тематических слоев заключается в создании центральной линии водотока, необходимой для идентификации речной сети. Центральная линия, как и большинство подготавливаемых файлов, проводится в обязательном порядке от верхней границы моделируемого участка к нижней (по течению). Затем объекту присваивается в слое название реки и название участка (функция ID). Следующим шагом является получение из центральной линии 3D объекта – продольного профиля моделируемого участка реки, для этого используется функция «Stream centerline attributes».

После завершения редактирования данного слоя ему присваивается уникальное имя, чтобы программа могла его идентифицировать. Для этого используется функция «Assign RiverCode/ReachCode».

Далее необходимо убедиться, что созданные тематические слои связаны между собой и имеют правильную атрибутику. Для этого добавляются все поля атрибутов для реки с помощью команды «Streamcenterlineattributes/All» из контекстного меню HecGeoRas. Затем в информацию о речном объекте добавляются новые поля и проводится верификация имеющихся.

2. *Bank lines*. *Береговые линии*. Там же, как и в случае с векторизацией центральной линии, создаются линии берега для расчёта прохождения высоких расходов воды при выходе потока на пойму (строго вниз по течению: левый и правый берег соответственно).

По завершении редактирования данного слоя на выходе остается два объекта: правый и левый берег.

3. *XS cut lines*. *Поперечные створы*. Поперечные профили задаются на тех участках потока, где встречается изменение расхода воды, уклонов, формы поперечного сечения русла или шероховатости, а также в местах начала или конца дамб, мостов, плотин и т. д. независимо от расстояния между сечениями.

Именно поперечные профили являются ключевыми входными данными для программного комплекса HEC-RAS. Создаваемые поперечные профили должны полностью отражать плановое очертание русла, а также все особенности рельефа поймы. Необходимо, чтобы поперечники захватывали всю пойму и в обязательном порядке проходили перпендикулярно руслу реки. Обязательным условием является создание объектов внутри слоя: строго слева направо (по направлению течения). В конце данного этапа работ создаются 3D-профили для последующего моделирования.

4. *Flow path centerlines*. *Максимально-возможные границы зон затопления (линии водного потока)*. Слой определяет зону разлива водного объекта. В этих пределах рассчитывается затопленные территории. В этом слое необходимо оцифровать центральную линию водотока и границы исследуемой территории, в пределах которой проводился анализ.

5. *Ineffective flow areas*. *Неэффективные водные области*. Слой содержит водные объекты, не имеющие скорости течения или обладающие очень низкой скоростью (области перед/за опорой моста, старицы, озера, пруды).

В рамках исследуемого участка такие области выявлены не были.

6. *Blocked obstructions*. *Блокирующие препятствия*. Этот слой формируется из объектов, являющихся преградой для водного потока. Самым ярким примером являются здания.

7. *LandUse*. *Типы землепользования*. Слой необходим для определения коэффициентов шероховатости (коэффициент Гоклера – Маннинга) – показателей сопротивления, оказываемого руслом протекающему потоку. Тип землепользования определяет стоковые характеристики, просачивание воды в почвогрунты, возможное загрязнение речной системы [18].

8. *Manning K*. *Коэффициенты шероховатости по Маннингу*. Для каждого поперечного профиля нужно установить свое значение коэффициента Маннинга. Этот слой задействует данные, полученные из предыдущего пункта. Следует также учитывать, что коэффициент ше-



роховатости Маннинга на берегу будет выше, чем на основном потоке.

Как итог, все необходимые картографические слои с характерной атрибутикой были созданы (рис. 3).

Далее проводится проверка топологии водного объекта и всех связанных с ним слоев, выставляется расход воды (cfs) и определяются дополнительные условия для каждого поперечного профиля. Следует учитывать, что эти ограничения будут индивидуальны для каждого водного объекта: нормальная глубина, кривая расходов, если таковая имеется, известный уровень воды в пределах морфостворов, критическая глубина.

Эти условия позволяют уточнить границы будущих зон затопления и учесть все дополнительные параметры водного объекта. Характеристики данных параметров представлены в табл. 2.

После введения всех условий проводятся анализ гидрологических данных, построение поперечных профилей участка в 2D- и 3D-форматах (рис. 4), а также осуществляется непосредственное построение зон затопления разной обеспеченности.

Результаты моделирования зон затопления представлены на рис. 5.

На слой с зонами затопления были наложены слои застройки, классифицированные как дачные, частные и жилые для последующей пространственной выборки по зонам гидрологической обеспеченности. Данные вероятности попадания объектов в потенциальные зоны затопления приведены в табл. 3.

### Анализ результатов и выводы

Анализ табл. 3 показал, что наибольшей угрозе затопления подвергаются дачные массивы и дома частного сектора. Полученные результаты могут быть подтверждены реальными данными о чрезвычайных ситуациях в г. Петровске в 2012 г. и 2018 г. [19, 20].

Анализ зон затопления позволяет предварительно оценить возможный ущерб и риск затопления исследуемой территории. Такие исследования могут быть положены в основу оценки социального, экономического и физического риска [21], а также использованы не только для прогноза и



Рис. 3. Тематические слои будущей математико-картографической модели, созданные с помощью модуля HecGeoRas ArcGIS v.10.2

Таблица 2

### Характеристика дополнительных входных условий для каждого участка между профилями при моделировании устойчивого водного потока

Название граничного условия	Характеристика
<i>Normal Depth</i> (нормальная глубина)	Программа аппроксимирует данные на основе уклона водного потока или водной поверхности на исследуемом гидропосте
<i>Critical depth</i> (критическая глубина)	Программа рассчитывает критическую глубину для поперечного профиля и используется в качестве входного условия
<i>Rating Curve</i> (кривая уровней и расходов)	Уровень воды интерполируется на основе этих данных. Обычно используется в случае контрольной станции (гидропоста), где уровень воды и расходов постоянно измеряется
<i>Known water surface</i> (известный уровень воды)	Известный уровень водной поверхности для данного участка. Используется в случаях, когда уровень воды был измерен для указанного расхода воды

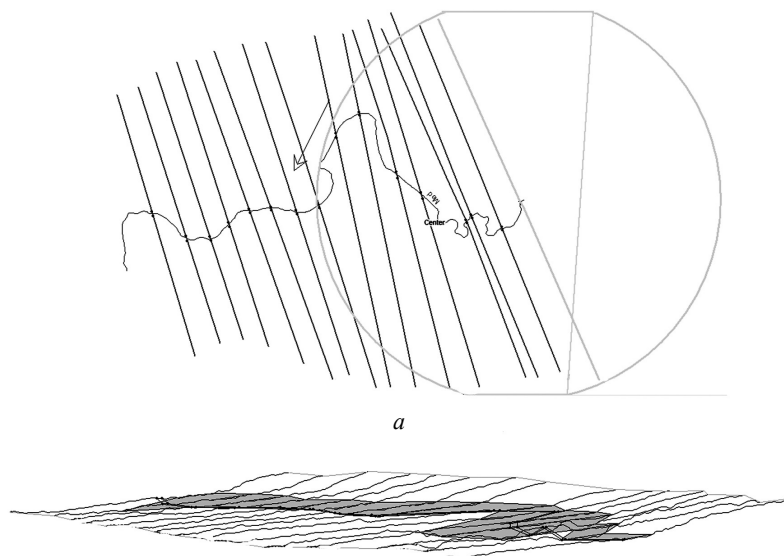


Рис. 4. Интерфейс HEC-RAS: *а* – 2D представление морфостворов; *б* – 3D представление морфостворов, превращение плоской модели в объемную

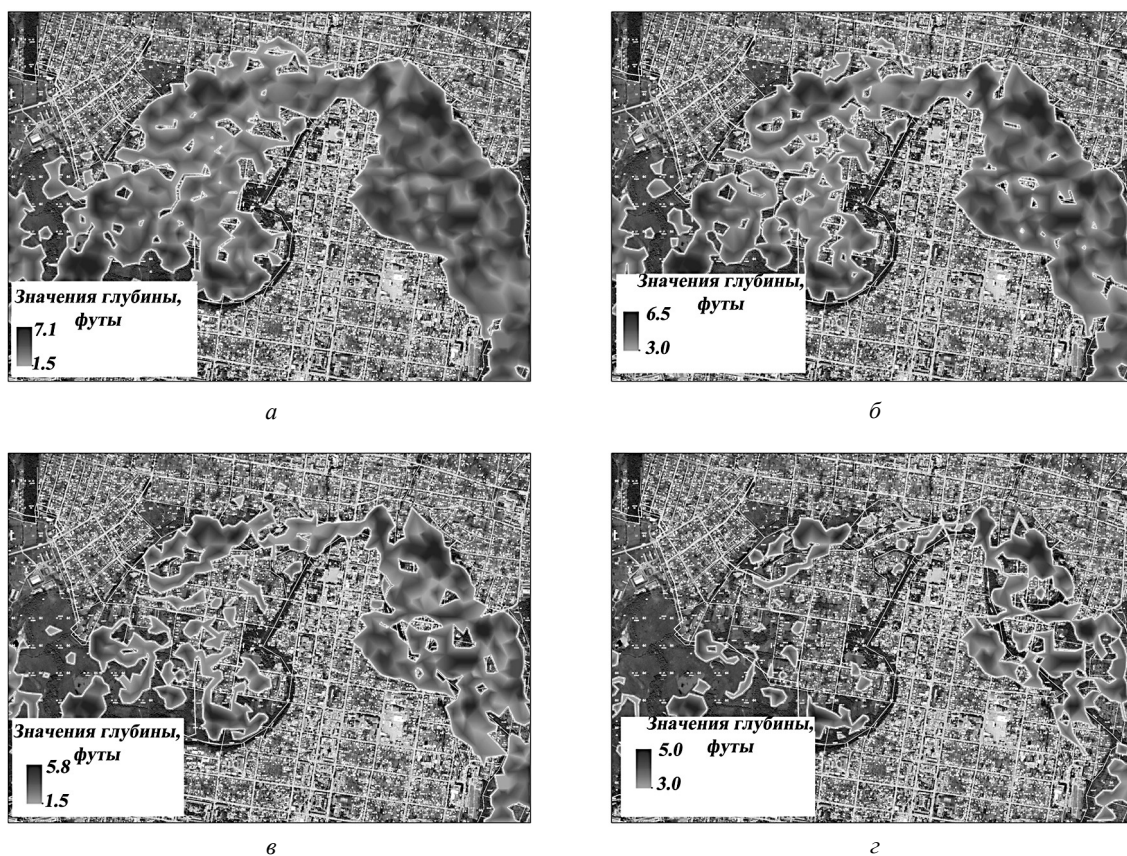


Рис. 5. Модели затопления дачных и жилых участков в г. Петровске в долине р. Медведица с разной степенью обеспеченности: *а* – 1%; *б* – 5%; *в* – 25%; *г* – 50%



Таблица 3

## Попадание объектов в потенциальные зоны модели затопления

Степень обеспеченности модели, %	Количество дачных участков	Количество участков частного сектора	Количество многоквартирных малоэтажных домов
1	348	971	5
5	340	745	3
25	296	519	0
50	127	203	0

оценки ущерба от наводнений, но и для изучения косвенных последствий затопления городской территории. К таким последствиям можно отнести вынос рекой опасных химических элементов, размещённых в долине реки, снос плодородного слоя почвы, разрушение твердого покрытия дорог и площадок [22].

Отметим недостатки и проблемы, обнаруживаемые при построении математико-картографической модели затопления по предложенному методическому алгоритму.

1. Необходимо наличие детальной, достоверной и актуальной информации по гидрологическому режиму реки и рельефу её долины.

2. Важно, чтобы в зоне потенциального затопления или недалеко от нее находился действующий гидрологический пост [23]. В предлагаемой модели отсутствует показатель замусоренности русла реки. Нередко это является одним из определяющих факторов развития процесса затопления.

3. Модель существенно усложняется при зарегулированности русла реки. В этом случае необходимо вводить дополнительные параметры, учитывающие характеристики гидротехнических сооружений и режим их работы, абразивные процессы [24].

Предлагаемая математико-картографическая модель затопления территории может быть экстраполирована на подобные уязвимые территории как в пределах Саратовской области, так и в других регионах со схожими условиями. В дальнейших исследованиях планируется уточнение алгоритма математико-картографического моделирования на основе анализа перечисленных недостатков. Полученные результаты послужат основой для будущего районирования территории по степени риска затопления и для дальнейшего комплексного анализа территории.

Подобные модели можно использовать при решении ряда гидрологических и социально-экономических задач.

**Библиографический список**

1. Patel K. B., Yadav S. M. One Dimensional Unsteady Flow Analysis using HEC-RAS Modelling Approach for flood in Navsari City [Электронный ресурс] // Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications: International Conference. URL: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3351780](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3351780) (дата обращения: 27.09.2019).

2. Brauneck J., Pohl R., Juepner R. Experiences of using UAVs for monitoring levee breaches [Электронный ресурс] // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/46/1/012046> (дата обращения: 27.09.2019).

3. Harahap R., Jeumpa K., Hadibroto B. Flood Discharge Analysis with Nakayasu Method Using Combination of HEC-RAS Method on Deli River in Medan City [Электронный ресурс] // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/970/1/012011> (дата обращения: 27.09.2019).

4. Романовский П. В. Применение методов компьютерного моделирования зон затопления при максимальных расчетных уровнях воды для решения проектных задач при рекультивации нарушенных земель, а также проектирования зданий и сооружений вблизи водных объектов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 2. С. 186–201.

5. Эвакуация жителей из Иркутской области [Электронный ресурс] // Lenta.ru – Новости России и мира сегодня. URL: <https://lenta.ru/news/2019/07/29/wateragain/> (дата обращения: 27.09.2019).

6. Жителям российского села пригрозили наводнением после «падения метеорита» [Электронный ресурс] // Lenta.ru – Новости России и мира сегодня. URL: <https://lenta.ru/news/2019/01/21/bureya/> (дата обращения: 27.09.2019).

7. Голубева А. Б. Зоны затопления для равнинных рек Алтайского края : расчет ущербов и анализ рисков // Известия АО РГО. 2015. № 4 (39). С. 43–48.

8. Ноговицын Д. Д., Шеина З. М., Сергеева Л. П. Применение ГИС-технологий при определении зоны затопления в Якутии // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. № 1(4). С. 967–969.

9. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик [Электронный ресурс] // Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035578> (дата обращения: 27.09.2019).

10. Голубева А. Б., Земцов В. А. Оценка опасности и рисков наводнений в г. Барнауле (пос. Затон) // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 373. С. 183–188.

11. ФГБОУ ВПО СГУ им. Н. Г. Чернышевского. НВОЦ «ГИС-ЦЕНТР». Правила землепользования и застройки территории МО г. Петровск Петровского муниципального района Саратовской области [Электронный ресурс] // Официальный сайт администрации Петровского района. URL: <https://petrovsk64.ru/upload/medialibrary/02c/02c5446537a6d5636575aed972711a5d.pdf> (дата обращения: 27.09.2019).



12. Государственный гидрологический институт : основные гидрологические характеристики при нестационарности временных рядов, обусловленной влиянием климатических факторов [Электронный ресурс]. URL: [http://www.hydrology.ru/sites/default/files/Books/a5\\_2017\\_sto\\_ggi\\_52.08.41\\_180917.pdf](http://www.hydrology.ru/sites/default/files/Books/a5_2017_sto_ggi_52.08.41_180917.pdf) (дата обращения: 05.02.2020).
13. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 7. Донской район / под ред. М. С. Протасьева. Л. : Гидрометеоздат, 1973. 460 с.
14. Морозова В. А. Применение ГИС-технологий совместно с данными дистанционного зондирования (ДДЗ) для мониторинга и картографирования зон затопления на примере рек Саратовской области // Теория и практика гармонизации взаимодействия природных, социальных и производственных систем региона : материалы междунар. науч. практ. конф. : в 2 т. / редкол. : С. М. Вдовин (отв. ред.) [и др.]. Саранск : Издательство Мордовского университета, 2017. С. 359–364
15. Чумаченко А. Н., Хворостухин Д. П., Морозова В. А. Построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (на примере Саратовской области) // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 104–109.
16. EarthExplorer : USGS science for a changing world [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 28.09.2019).
17. HEC-RAS : USGS science for a changing world [Электронный ресурс]. URL: <https://www.usgs.gov/software/hec-ras> (дата обращения: 28.09.2019).
18. Гусев В. А., Басамыкин С. С., Шлапак П. А. Оптимизация структуры землепользования для увеличения устойчивости агроландшафтов // Изв. Саратов. ун-та Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2016. Т. 16, вып. 3. С. 133–137.
19. Уровень воды в Петровске падает [Электронный ресурс] // Lenta.ru – Интернет-газета «Четвертая Власть». URL: <https://www.4vsar.ru/news/104025.html> (дата обращения: 05.10.2019).
20. В Петровске Саратовской области река Медведица затопила 62 дома [Электронный ресурс] // Российская газета. URL: <https://rg.ru/2012/04/12/reg-pfo/petrovsk-anons.html> (дата обращения: 05.10.2019).
21. Геоэкологический риск-анализ нефтяных месторождений Саратовской области с применением ГИС-технологий / А. Н. Чумаченко, А. В. Молочко, В. З. Макаров [и др.] ; под ред. А. Н. Чумаченко. Саратов : Издательство Саратовского университета, 2017. 104 с.
22. Чумаченко А. Н., Гусев В. А., Данилов В. А., Макаров В. З., Затонский В. А., Пичугина Н. В., Федоров А. В., Шлапак П. А. Геоэкологическая оценка качества поверхностных вод бассейна реки Чардым Саратовской области // Изв. Саратов. ун-та Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2016. Т. 16, вып. 2. С. 93–97.
23. Морозова В. А. Анализ гидрологических данных и оценка зоны затопления на участке реки Большой Иргиз в районе г. Пугачёв Саратовской области. Современные проблемы территориального развития [Электронный ресурс] // Научная электронная библиотека «Киберленинка». URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-gidrologicheskikh-dannyh-i-otsenka-zony-zatopleniya-na-uchastke-reaki-bolshoy-irgiz-v-rayone-g-pugachyov-saratovskoy-oblasti/viewer> (дата обращения: 05.10.2019).
24. Саратовское Предволжье. Ландшафтная структура. История освоения. Проблемы природопользования / Макаров В. З., Чумаченко А. Н. [и др.] : под ред. В. З. Макарова. Саратов : Издательство ИП Кошкин В. А., 2014. 180 с.

**Образец для цитирования:**

Шлапак П. А., Морозова В. А., Морозова Е. А. Разработка алгоритма математико-картографического моделирования зон затопления застроенных территорий (на примере участка реки Медведица у г. Петровска Саратовской области) // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2020. Т. 20, вып. 3. С. 176–183. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-3-176-183>

**Cite this article as:**

Shlapak P. A., Morozova V. A., Morozova E. A. The Development of an Algorithm for Constructing the Flood Zones Using Geoinformation Technologies (on the Example of the Medveditsa River Section Near Petrovsk). *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2020, vol. 20, iss. 3, pp. 176–183 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2020-20-3-176-183>