

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Никита Анатольевич Балдаков

Институт водных и экологических проблем СО РАН, 656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1, инженер лаборатории гидрологии и геоинформатики, тел. (3852)66-65-01, e-mail: nikita-baldakov@yandex.ru

Алексей Васильевич Кудишин

Институт водных и экологических проблем СО РАН, 656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики, тел. (3852)66-65-01, e-mail: kudishin@iwep.ru

Моделирование стока с водосбора требует автоматизированной обработки большого объема разнородных данных. В статье представлены результаты разработки инструментария для автоматизации расчета характеристик водосборного бассейна на базе открытого программного обеспечения.

Ключевые слова: ГИС, гидрологические модели, цифровая модель рельефа, визуализация, зона затопления.

AUTOMATED CALCULATION OF CHARACTERISTICS OF THE CATCHMENT BASIN AS A TOOL OF RUNOFF MODELLING

Nikita A. Baldakov

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 1, Molodezhnaya St., Barnaul, 656038, Russia, Engineer of Laboratory of Hydrology and Geoinformatics, phone: (3852)66-65-01, e-mail: nikita-baldakov@yandex.ru

Alexey V. Kudishin

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 1, Molodezhnaya St., Barnaul, 656038, Russia, Senior Researcher of Laboratory of Hydrology and Geoinformatics, phone: (3852)66-65-01, e-mail: kudishin@iwep.ru

The modeling of runoff from the catchment area requires automated processing of a large amount of heterogeneous data. The article presents the results of the development of tools for automating the calculation of the drainage basin characteristics based on open source software.

Key words: GIS, hydrological models, DEM, visualization, flood plain.

Введение

Регулярно происходящие в последние годы в России и в мире крупные наводнения приводят к повышению интереса к системам оперативного прогнозирования половодий и паводков на реках. Наличие таких систем позволяет более эффективно планировать профилактические мероприятия для минимизации по-

следствий наводнений, имеет большое значение для федеральных и региональных административных органов, организаций Росгидромета и водного хозяйства. Особо значимы такие прогнозы для гидроэнергетики, в первую очередь, для повышения заблаговременности и надежности краткосрочной оценки приточности воды к водохранилищам. Существующие в настоящее время информационно-моделирующие системы опираются на модели формирования стока воды с водосборного бассейна (модели типа «осадки-сток») и гидролого-гидродинамические модели неустановившегося движения воды в русловой сети [1 – 3]. В качестве примера можно привести разработку «Европейской системы информирования о наводнениях» (European Flood Awareness System, EFAS), которая предназначена для прогнозирования наводнений в речных бассейнах Европы, однако требует больших объемов натурной информации (метеоданные, гидрологические данные, подробные ЦМР) [4]. Эти данные должны обеспечиваться густой сетью метеостанций и гидропостов. В нашей стране подобный уровень натурной информации отсутствует, что ставит под сомнение возможность использования инструментария, развитого в рамках таких систем как EFAS. Существенное значение имеет стоимость приобретения (инсталляции/сопровождения) систем. Необходимо учитывать то, что вследствие существенного формализма упрощений гидрофизических процессов на водосборе гидрологические модели не являются универсальными и заточены под решение конкретных задач на конкретных водосборах. В любом случае адаптация существующих систем прогноза или разработка оригинальных требует предварительных исследовательских работ по интересующим водосборам, что является дополнительным аргументом в пользу разработки оригинальных систем, позволяющих модифицировать модели формирования стока.

Детерминированные модели водосборов в плане имеют дискретизацию расчетной области 2 типов: 1 – область определения является совокупностью элементарных естественно определенных водосборов; 2 – более точная, область определения описывается различного вида сетками, расчетный элемент которых небольшой (сотни метров) [5 – 8]. В статье рассматриваются вопросы автоматизации построения расчетной области для первого случая, позволяющего рассчитывать водосборы больших размеров (поскольку размеры элементарных водосборов велики—десятки километров).

Методы и материалы

Для имитационного моделирования стока с водосбора водосбор разбивается на множество, так называемых, элементарных бассейнов, которые для целей моделирования принимаются однородными в отношении физико-географических факторов, влияющих на сток. В эти факторы входят увлажненность территории, температура, скорость ветра и количество облаков, морфометрические характеристики бассейна (уклоны и экспозиции), тип почвы и характеристика преобладающей на водосборе растительности. Их количественное описание, необходимое для моделирования представляет собой комплексный набор разнородных

данных. Подготовка такого набора требует расчета входящих в модель параметров из первичных данных, таких как ЦМР водосбора и временные ряды наблюдений с метеостанций. Это трудоемкая задача, которую при поиске оптимального разбиения водосбора на элементарные иногда приходится проделывать многократно. Для ее решения необходим соответствующий программный инструментарий [9 – 13].

Работу с первичными данными можно представить в виде последовательного выполнения над ними различных операций, например, построение растрового слоя осадков, выпавших на территорию водосбора, при помощи интерполяционных методов, построение гидрологически-корректной ЦМР, разбиение на элементарные водосборы, расчет среднего уклона для каждого из элементарных водосборов и т.д. Хотя, по отдельности такие операции реализованы во многих ГИС как коммерческих, так и открытых, включая: ArcGIS, QGIS, GRASS, SAGA GIS и др., целесообразно иметь общий интерфейс, организующий для пользователя рабочий процесс подготовки данных для модели.

В качестве примера модуля, реализующего подобный интерфейс, можно привести расширение ArcGIS HEC–GeoHMS, предназначенное для подготовки данных для HEC-HMS, программного комплекса, моделирующего сток, разработанного в USACE. Недостатком HEC–GeoHMS является необходимость использования дорогостоящего программного обеспечения от ESRI и привязка формата выходных данных к конкретной моделирующей системе [14].

Результаты

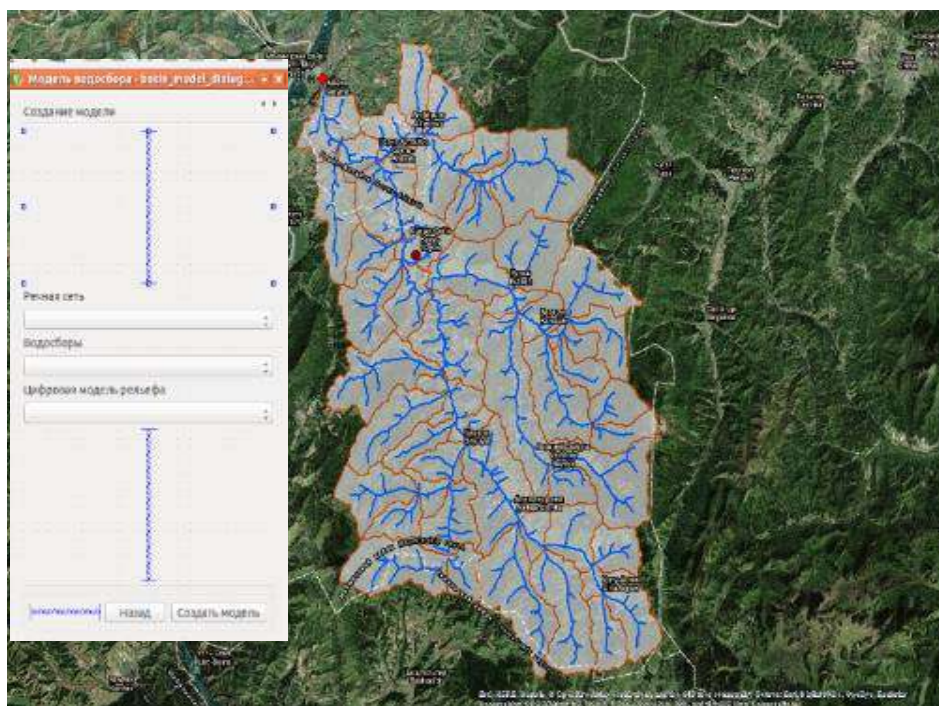
Представляет практический интерес разработка собственного программного комплекса, реализующего подобную функциональность на базе открытого программного обеспечения. Комплекс состоит из двух компонент – плагина QGIS и базы данных PostgreSQL и позволяет выполнять следующие задачи: подготовка первичных данных, разбиение водосбора на элементарные подбассейны, вычисление параметров модели, загрузка и выгрузка подготовленного набора данных в виде проекта QGIS [15]. Пространственные данные проекта как векторные, так и растровые хранятся в таблицах PostGIS.

Процесс работы с комплексом организован для пользователя в виде последовательности диалоговых окон, каждое из которых отвечает за определенную задачу (рисунок).

Создание проекта. При создании проекта пользователь указывает имя проекта, географическую проекцию и координаты ограничивающей рамки, которые будут использоваться для хранения пространственных данных и определения области моделирования. Эти сведения сохраняются в базе данных в таблице метаданных.

Разбиение водосбора. Пользователь указывает ЦМР, покрывающую площадь водосбора, геометрию водосбора и параметры разбиения. Разбиение производится с помощью инструментов GRASS, которые включены в QGIS [16]. Параметры разбиения делятся на базовые и дополнительные. В базовые пара-

метры входят минимальные и максимальные пороговые значения площади подбассейна. При необходимости задаются дополнительные параметры, соответствующие параметрам инструментов GRASS. Ход выполнения этой задачи отражен в таблице.



Расчетная область водосбора р. Майма

Этапы разбиения водосбора

Этап разбиения	Инструмент GRASS
Гидрологически корректная ЦМР	r.fill
Растр аккумуляирования стока	r.watershed
Растр направлений стока	
Разбиение водосбора	
Построение водотоков	r.streams.extract
Векторизация водотоков	

Полученные геометрии сохраняются в таблице PosGIS. Бассейны естественным образом образуют структуру дерева; каждому бассейну соответствует его единственный родитель, расположенный непосредственно ниже по течению водотока. Корнем дерева при этом является нижний створ рассматриваемого водного объекта. При работе с деревом бассейнов возникает ряд характерных задач, таких как, укрупнение и слияние бассейнов, выборка подбассейна для данного узла дерева, выборка бассейнов по заданному свойству. Для эффективного решения этих задач генерируется специальное поле, хранящее для каждого узла дерева путь до корня дерева. Генерация осуществляется с помощью

расширения PostgreSQL ltree [17, 18]. По этому полю создается индекс базы данных.

Метеоданные. Пользователь задает распределенные по водосбору метеоданные: жидкие осадки, скорость ветра, температуру воздуха.

Почвы и растительность. Пользователь задает распределенные по водосбору характеристики проницаемости почвы и индекс растительности. На этом диалоговом окне заканчивается создание проекта и загрузка в него данных.

Расчет параметров модели. Плагин рассчитывает необходимые параметры для каждого бассейна: геометрические и геоморфологические характеристики, коэффициенты кривых потерь воды на просачивание в грунт и испарение, характеристики проницаемости грунта. Бассейны предполагаются однородными, поэтому параметры попиксельно усредняются. Функции расчета реализованы на стороне базы данных на языке plpgsql с использованием функций PostGIS.

Работа с разбиением. При необходимости пользователь имеет возможность укрупнить разбиение, выделить подбассейн, выбрать бассейны по заданному свойству (например, со средним уклоном не меньше 30% и т.п) посредством SQL-подобного запроса.

Завершением работы является сохранение рассчитанных параметров выходном файле формата JSON, который можно использовать в качестве входного набора данных для имитационного моделирования стока с водосбора.

Заключение

Предложенные в статье алгоритмы позволяют автоматизировать расчет характеристик водосборного бассейна на базе открытого программного обеспечения. Комплекс состоит из двух компонент – плагина QGIS и базы данных PostgreSQL и позволяет выполнять следующие задачи: подготовка первичных данных, разбиение водосбора на элементарные подбассейны, вычисление параметров модели, загрузка и выгрузка подготовленного набора данных в виде проекта QGIS. Пространственные данные проекта, как векторные, так и растровые, хранятся в таблицах PostGIS.

Благодарности

Работа выполнена в рамках Госзадания по проекту «Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для стратегии водопользования и охраны водных ресурсов» (0383-2016-0002, 0383-2019-0003).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ackerman, C.T., Evans, T.A., and Brunner, G.W. HEC-GeoRAS: Linking GIS to Hydraulic Analysis using ARC/INFO and HEC-RAS // Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Ge-

- ographical Information Systems / In Maidment, D., and Djokic, D. (Eds.). – New York: ESRI Press, 2000. – P.155–176.
2. Васильев О. Ф. Создание систем оперативного прогнозирования половодий и паводков // Вестник РАН. - 2012. – № 3. – С. 237–242.
3. MIKE 21C-2D river hydraulics and morphology. [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.dhisoftware.com/Products/WaterResources/MIKE21C.aspx> (дата обращения: 05.03.2019).
4. Smith, P. J., Pappenberger, F., Wetterhall, F., et al. On the Operational Implementation of the European Flood Awareness System (EFAS) // Flood Forecasting. – 2016. – P. 313–348. doi:10.1016/b978-0-12-801884-2.00011-6
5. Экстремальный дождевой паводок 2014 г. в бассейне Верхней Оби: причины, прогноз и натурные наблюдения / А. Т. Зиновьев, К. Б. Кошелев, А. В. Дьяченко, А. А. Коломейцев // Водное хозяйство России. Проблемы, технологии, управление. – 2015. – № 6. – С. 93–104.
6. Зиновьев А. Т., Кошелев К. Б. Моделирование процесса затопления пойменных территорий для участков крупных рек со сложной морфометрией русла и поймы // Водное хозяйство России. Проблемы, технологии, управление. - 2013. - № 6. – С. 17–31.
7. Васильев О.Ф., Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б. Кудишин А.В., Ловцкая О.В., Овчинникова Т.Э., Семчуков А.Н. Разработка информационно-моделирующих систем для оперативного прогнозирования опасных гидрологических ситуаций для крупных речных систем Сибири (на примере Верхней Оби) // Водная стихия: опасности, возможности прогнозирования, управления и предотвращения угроз: Мат. всерос. науч. конф., г. Краснодар, 7–12 октября 2013 г. – Новочеркасск : ЛИК, 2013. – С. 41–47.
8. Геоинформационное обеспечение для решения гидрологических задач / А. Т. Зиновьев, О. В. Ловцкая, Н. А. Балдаков, А. В. Дьяченко // Вычислительные технологии. – 2014. – Т. 19. – № 3. – С. 60–72.
9. Инструментальные средства создания web-ГИС на базе GEOSERVER / Н. А. Балдаков, К. Б. Кошелев, О. В. Ловцкая, А. А. Черкашин // Тр. Всерос. научн. конф. с международ. участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии». – Барнаул, 2012. – Т. 3. – С. 211–217.
10. Информационно- моделирующая система на основе компьютерной модели руслового потока: структура, определяющие уравнения, результаты расчетов / А. Т. Зиновьев, К. Б. Кошелев, К. В. Марусин, А. А. Шибких // Геоинформационные технологии и математические модели для мониторинга и управления экологическими и социально- экономическими системами / под ред. И. Н. Ротановой : монография. ИВЭП СО РАН. Барнаул: Пять плюс, 2011. – С. 55–62.
11. Геоинформационное обеспечение водохозяйственных и гидрологических расчетов / О. В. Ловцкая, С. Г. Яковченко, И. В. Жерелина, В. А. Жоров, И. С. Постнова // Сибирский экологический журнал. – 2005. – Т. 6. – С. 1013–1023.
12. Мотовилов Ю. Г. Состояние и перспективы гидрологического моделирования речных бассейнов России на основе комплекса ECOMAG // В сб. Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Мат. 3-й всероссийской конференции с международным участием. Барнаул: «Пять плюс», 2010. – С. 530–532.
13. HEC-GeoHMS, (Geospatial Hydrologic Modelling Extension), User's Manual - electronic resource. – URL: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/documentation/HEC-GeoHMS_Users_Manual_10.1.pdf (дата обращения: 05.03.2019).
14. Documentation QGIS testing. – URL: https://docs.qgis.org/testing/en/docs/pyqgis_developer_cookbook/plugins.html (дата обращения: 05.03.2019).
15. GRASS GIS 7.4.5svn Reference. – URL: <https://grass.osgeo.org/grass74/manuals/index.html> (дата обращения: 05.03.2019).

16. PostgreSQL 9.6 Documentation. – URL: <https://www.postgresql.org/docs/9.6/ltree.html> (дата обращения: 05.03.2019).
17. Neteler M., Mitasova H. Open Source GIS : A Grass GIS Approach. – Springer, New York, 2008. – 420 p.
18. Вислобоков В. Краткий обзор возможностей PostgreSQL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://postgresql.ru.net/> (дата обращения: 05.03.2019).
19. What is PostGIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://postgis.refrations.net/> (дата обращения: 05.03.2019).

© *Н. А. Балдаков, А. В. Кудишин, 2019*