

ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГИС ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОСБОРОВ НА ТЕРРИТОРИИ Г. МИНСКА

С. В. Алисиевич¹⁾, Н. В. Ковальчик²⁾, Е. П. Овчарова³⁾

^{1), 2)} *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, Минск, Беларусь, email: sviatalv@gmail.com, kovalchiknv@gmail.com*

³⁾ *Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь, email: geosystem1@rambler.ru*

В среде ГИС ArcGIS с использованием инструментов гидрологического моделирования Arc Hydro проведено выявление трансформации пространственной структуры естественных водосборов на территории г. Минска. Последовательно было выполнено моделирование естественных локальных водосборов, исторической гидрографической сети, водосборных бассейнов коллекторов дождевой канализации, выявлены участки трансформации водосборов.

Ключевые слова: ГИС-технологии; гидрологическое моделирование; локальные водосборы; трансформация пространственной структуры водосборов.

HYDROLOGICAL MODELING IN GIS FOR IDENTIFYING TRANSFORMATION OF NATURAL WATERSHEDS' SPATIAL STRUCTURES ON MINSK CITY TERRITORY

S. Alisiyevich¹⁾, N. Kavalchyk²⁾, A. Aucharova³⁾

^{1), 2)} *Belarusian State University, Niezaliežnasci Avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus, email: sviatalv@gmail.com, kovalchiknv@gmail.com*

³⁾ *Institute for Nature Management, Skaryny Avenue, 10, 220076, Minsk, Republic of Belarus, email: geosystem1@rambler.ru*

In the ArcGIS GIS environment using Arc Hydro hydrological modeling tools, the transformation of natural watersheds' spatial structure on Minsk city territory was identified. Modeling of natural local watersheds, the historical hydrographic network and rainwater drainage watersheds was consistently implemented, and watershed transformation areas were identified.

Keywords: GIS technologies; hydrological modeling; local watersheds; watersheds' spatial structure transformation.

Геоинформационные технологии являются важным инструментом исследования гидрологических процессов. Широкое внедрение ГИС-

технологий в гидрологии связано с тем, что большинство гидрологических задач имеет пространственный характер. Спектр гидрологических приложений ГИС чрезвычайно широк и включает получение и обработку пространственных данных, моделирование, прогнозирование и поддержку принятия решений [1]. Гидрологическое моделирование в ГИС применяется для решения таких задач, как расчет русловых и бассейновых морфометрических характеристик [2], прогнозирование паводков и половодий на реках [3], определение зон возможного подтопления [4] и др.

В статье описывается применение гидрологического ГИС-моделирования и ГИС-картографирования для выявления трансформации пространственной структуры естественных водосборных бассейнов на территории г. Минска. Исследование проводилось в среде ГИС ArcGIS и включало четыре этапа: выделение локальных водосборов, воссоздание ретроспективной гидрографической сети, выделение водосборов коллекторов дождевой канализации, выявление участков трансформации.

Выделение локальных водосборов. Для выделения локальных водосборов применялись инструменты гидрологического моделирования модуля Arc Hydro [5]. В качестве исходных данных была использована цифровая модель рельефа г. Минска с пространственным разрешением 10 м. Выделение водосборов проводилось в несколько шагов.

Первым шагом построения водосборных бассейнов территории является обработка исходной ЦМР с целью создания гидрологически корректной цифровой модели рельефа (гидро-ЦМР). Гидро-ЦМР представляет собой модель, в которой форма и направление смоделированных водотоков совпадают с реальными в пределах исследуемой территории [6]. Результатом построения такой модели является отражение настоящего характера движения водных потоков.

Для обработки исходной ЦМР использовался инструмент Fill Sinks («Заполнить понижения»). Если ячейка окружена ячейками с большей высотой, вода задерживается в этой ячейке и не может течь. Инструмент Fill Sinks корректирует значения высот для устранения этой проблемы. В результате обработки была получена гидрологически-откорректированная ЦМР территории.

На втором шаге построения водосборов с помощью инструмента Flow Direction («Направление потока») в каждой ячейке грид-модели путем анализа углов и экспозиций склонов определялось направление стока.

Инструмент Flow Direction принимает скорректированную ЦМР (Hydro DEM) в качестве входных данных и вычисляет соответствующую грид-поверхность направления стока (Flow Direction Grid). Значения в ячейках поверхности направления стока указывают направление наискорейшего спуска из этой ячейки. Всего выделяется 8 направлений спуска, в

зависимости от которых каждой ячейке присваивается числовое значение: восточное – 1, юго-восточное – 2, южное – 4, юго-западное – 8, западное – 16, северо-западное – 32, северное – 64 и северо-восточное – 128.

Третьим шагом построения является вычисление суммарного стока (количества всех ячеек, чей сток попадает в ячейку, лежащую ниже по склону) с помощью инструмента Flow Accumulation («Накопление стока»).

Инструмент Flow Accumulation принимает в качестве входных данных грид направления стока (Flow Direction Grid), после чего вычисляет связанную грид-модель накопления стока (Flow Accumulation Grid), которая содержит накопленное количество ячеек вверх по течению для каждой ячейки во входном гриде. Ячейки с самым большим значением суммарного стока образуют собой линии, которые служат каркасом для создания в дальнейшем сети водотоков. Ячейки, суммарный сток которых принимает значение «0», – это территориальные «пики» (возвышения), с помощью которых визуализируются линии водоразделов.

На четвертом шаге при помощи инструмента Stream Definition («Определение водотоков») производилось определение постоянных водотоков. Инструмент принимает в качестве входных данных модель накопления стока (Flow Accumulation Grid) и создает сеть постоянных водотоков (Stream Grid) для заданного порога. Этот порог определяется либо количеством ячеек (по умолчанию 1%), либо площадью водосбора в квадратных километрах, таким образом, задается пороговое значение показателя суммарного стока, при котором ячейка будет считаться водотоком. В ходе исследования в качестве значения порога было принято значение по умолчанию, составляющее 1% от общей площади.

На пятом шаге на основе полученной сети водотоков выделялись звенья каждого водотока. Для этого использовался инструмент Stream Segmentation («Сегментация водотоков»), который создает грид-модель сегментов водотоков, имеющих уникальную идентификацию. Сегмент определяется как главный сегмент, либо как сегмент между соединениями двух сегментов. Все ячейки в определенном сегменте имеют один и тот же код сетки, характерный для этого сегмента. Результатом работы инструмента является грид сегментации потоков (Stream Link Grid).

Шестым шагом является очертание водосборных площадей. Инструмент Catchment Grid Delineation («Очертания поверхности водосбора») создает грид-модель, в которой каждая ячейка содержит значение (grid code), указывающее, к какому водосбору она принадлежит. Это значение соответствует тому значению, которое имеет сегмент потока, осушающий область, определенную во входном гриде (Stream Link Grid). На выходе была получена грид-модель водосборов (Catchment Grid).

Седьмым шагом производилось автоматизированное выделение границ водосборов. Для этого использовался инструмент Catchment Polygon Processing («Обработка полигонов водосбора»). Инструмент принимает в качестве входных данных грид-модель водосборов (Catchment Grid) и преобразует ее в класс полигональных пространственных объектов водосборов (Catchment). Соседние ячейки сетки, имеющие одинаковый код сетки, объединяются в единую область, граница которой векторизуется. Полигоны с одной ячейкой и «полигоны-сироты», сгенерированные как артефакты процесса векторизации, автоматически растворяются, так что в конце процесса на каждый водосбор остается только один полигон.

Далее проводилась ручная доработка границ водосборов. Из полученного полигонального слоя водосборов были вырезаны крупные площадные водные объекты города: водохранилища Дрозды, Лебяжье, Чижовское и Курасовщина. Таким образом, на территории Минска было выделено 73 естественных локальных водосбора (рис. 1).

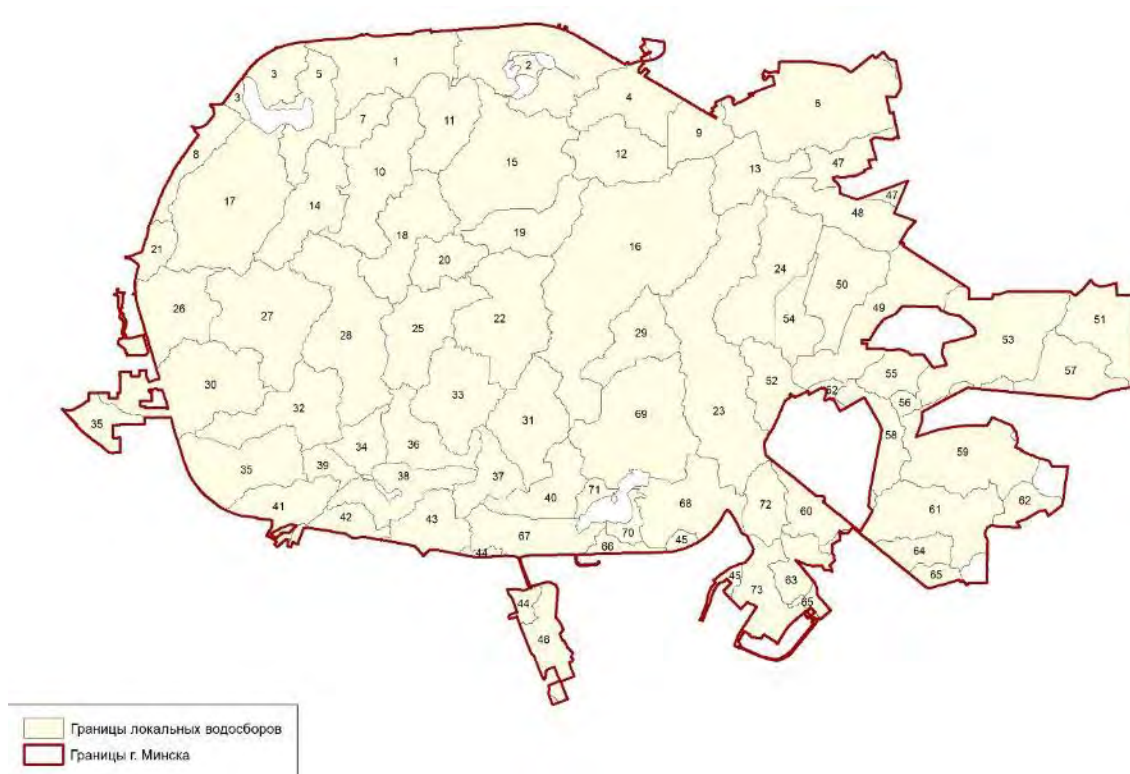


Рис. 1. Естественные локальные водосборы, выделенные на территории г. Минска

Воссоздание ретроспективной гидрографической сети. На следующем этапе исследования была воссоздана ретроспективная гидрографическая сеть г. Минска: проведено картографирование исторических водотоков, выделены их водосборные бассейны.

Для картографирования исторических водотоков – рек и ручьев г. Минска – выполнялся визуальный анализ исторических карт города, а также анализ текстовых материалов о гидрографической сети Минска [7]. Помимо того, при картографировании учитывалось размещение естественных водотоков, смоделированных на предыдущем этапе исследования. На основе имеющихся данных был создан векторный слой ретроспективной гидрографической сети города.

Для картографирования водосборных бассейнов исторических рек и ручьев Минска выделенные ранее локальные водосборы классифицировались по принадлежности к тому или иному водотоку. Водосборы включались в бассейн определенной реки или ручья согласно направлению поверхностного стока и порядку водосборов. Таким образом, все локальные водосборы были поделены между 15 водосборными бассейнами (рис. 2).

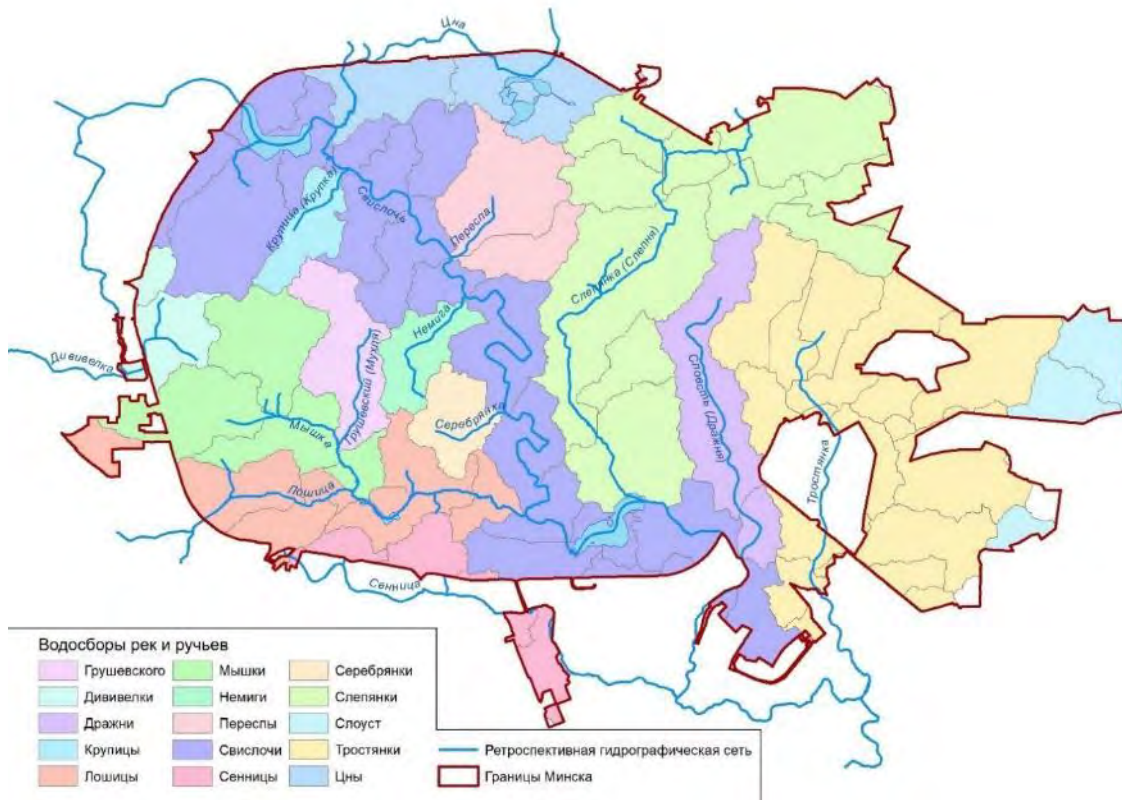


Рис. 2. Ретроспективная гидрографическая сеть г. Минска

Выделение водосборов коллекторов дождевой канализации. Для получения слоя коллекторной сети была оцифрована схема дождевой канализации города Минска с расположением очистных сооружений. По данным реестра выпусков сточных вод в поверхностные водные объекты г. Минска были получены местоположения выпусков коллекторов.

Далее выполнялось картографирование водосборов коллекторов. Для этого выделенные локальные водосборы классифицировались по принадлежности к одному из коллекторов: водосборы, на территории которых размещаются трубы только одного коллектора, определяются как часть водосбора данного коллектора; если через территорию локального водосбора проходят трубы более чем одного коллектора, то он разбивается на несколько частей, каждая из которых классифицируется как часть водосбора одного из этих коллекторов. При этом разделение территории водосбора проводится с учетом направления поверхностного стока и конфигурации улично-дорожной сети.

В результате были выделены водосборы семи крупных коллекторов, водосборы мелких коллекторов, а также водосборы без сети дождевой канализации (поверхностный сток с территории которых не собирается ни одним из коллекторов) (рис. 3).

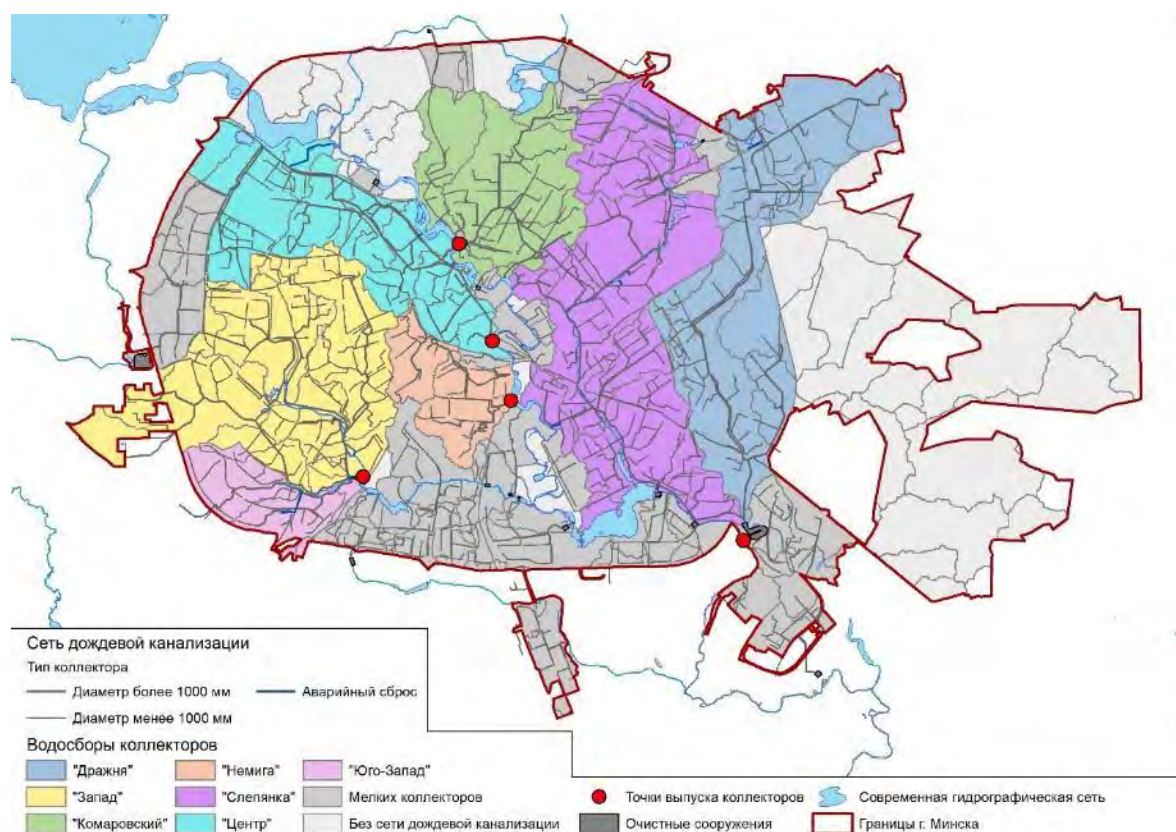


Рис. 3. Водосборы коллекторов дождевой канализации на территории г. Минска

Выявление участков трансформации. Строительство системы дождевой канализации для отвода формирующегося на территории города поверхностного стока привело к существенной трансформации водосборов

естественных водотоков [8]. Для выявления участков территории города, подвергшихся трансформации, выделялись водосборы, сток с которых в настоящее время отводится коллектором, наследующим бассейн естественного водотока, к которому данный водосбор не относится. В результате была составлена карта трансформации пространственной структуры естественных водосборов на территории г. Минска (рис. 4).

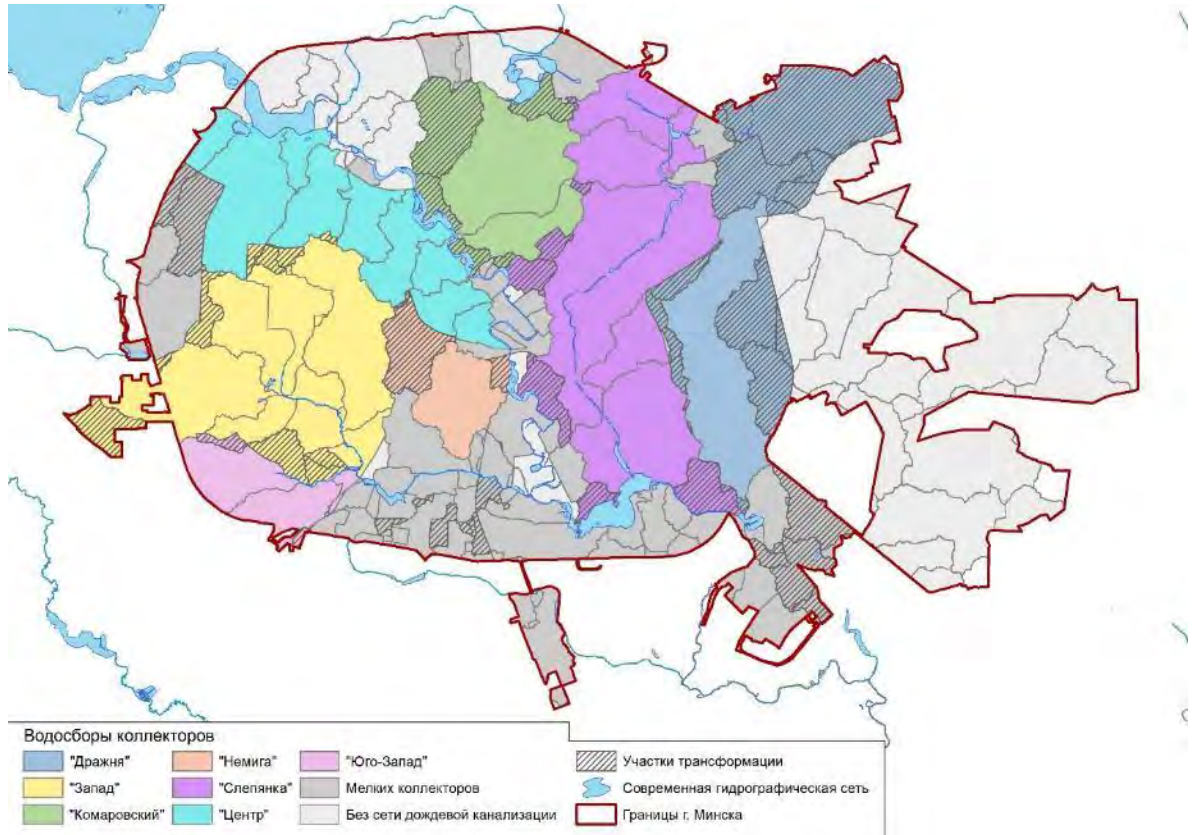


Рис. 4. Трансформация пространственной структуры естественных водосборов на территории г. Минска

Таким образом, согласно полученным результатам, более 17,9 % (59,3 км²) (без учета территории Нац. аэропорта «Минск» и мкр. Сокол) площади водосборных территорий г. Минска подверглось трансформации в результате антропогенного преобразования естественной гидрографической сети города.

Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшего изучения экологических, а также иных аспектов влияния антропогенного воздействия на гидрографическую сеть территории г. Минска.

Библиографические ссылки

1. *Пьянков С. В., Шихов А. Н.* Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. 148 с.
2. Использование ГИС-моделирования для оценки гидрологических процессов / Д. М. Курлович [и др.] // Вестник БГУ. Серия 2: Химия. Биология. География. 2013. № 2. С. 75-80.
3. Визуализация гидрологической обстановки в бассейнах крупных рек средствами ГИС-технологий / С. В. Борщ [и др.] // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2013. № 349. С. 47-62.
4. *Куракина Н. И., Ковчик В. С.* Геоинформационная система моделирования гидрологических процессов подтопления территории // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2020. № 5. С. 66-73.
5. Arc Hydro: GIS for Water Resources [Electronic resource] / Esri. URL: <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/sitecore-archive/Files/Pdfs/library/fliers/pdfs/archydro.pdf> (date of access: 15.02.2023).
6. *Чумаченко А. Н., Хворостухин Д. П., Морозова В. А.* Построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (на примере Саратовской области) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2018. Т. 18. № 2. С. 104-109.
7. *Савич-Шемет О. Г., Томина Н. М., Анцух Ю. П.* Оценка антропогенной преобразованности водосборов малых рек города Минска // Природопользование. 2010. Вып. 18. С. 74-80.
8. *Овчарова Е. П.* Эколого-геохимическая оценка поверхностного стока с городской территории (на примере г. Минска): автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Минск: Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси, 2006. 22 с.