

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ДРЕНИРОВАННОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Покровский В.Д.¹, Дутова Е.М.¹, Никитенков А.Н.¹, Кузеванов К.И.¹, Покровский Д.С.²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия (634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 30), e-mail: vdp@tpu.ru

²Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия (634003, г. Томск, пл. Соляная, 2), e-mail: dsp@sibmail.com

Множество городов и населённых пунктов находятся в зоне активного развития техногенного подтопления. Техногенное подтопление - подъем уровня грунтовых вод, вызванный влиянием жизнедеятельности города. Подтопление формируется под действием природных и техногенных факторов, среди которых наибольшее значение имеют геологическое строение и дренированность территории, интенсивность дополнительного питания подземных вод и ухудшение условий их стока и испарения. В данной статье рассмотрена методика картографических построений и оценки одного из факторов, оказывающих решающий вклад в развитие процессов подтопления - дренированности территорий. Показаны общие операции, выполняемые средствами ГИС над высотными данными, результатом которых являются карты эрозионной сети, плотности и глубины вреза эрозионной сети, уклонов дневной поверхности территории исследований, сопровождаемые оценкой их суммы как параметра дренированности.

Ключевые слова: дренированность территории, цифровая модель рельефа, эрозионная сеть, плотность и глубины вреза эрозионной сети, уклон дневной поверхности.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO DRAINAGE DEGREE EVALUATION OF URBANIZED TERRITORIES

Pokrovskiy V.D.¹, Dutova E.M.¹, Nikitenkov A.N.¹, Kuzevanov K.L.¹, Pokrovsky D.S.²

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30), e-mail: vdp@sibmail.com

²Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia 634003, Solyanaya Sq., 2), e-mail: dsp@sibmail.com

Many cities and towns in the world are confronted by one and the same geological problem – anthropogenic underflooding. Anthropogenic underflooding is the rise of shallow groundwater levels provoked by the town's activities under the influence of natural and anthropogenic factors, including territorial geological structure and drainage system, underground water intensity and its poor water flow and evaporation. This article reviewing methodologies for cartographic construction and drainage estimation were reviewed. There were examined general operations made with using GIS technologies at upper-air data. In result of construction erosion network, density and depth of incision erosion network, surface area slope maps, which attended by sum estimation as drainage parameter.

Keywords: degree of drainage, digital elevation model, erosion network, density and depth of incision erosion network, surface area slope.

Понятие дренированности является термином широкого толкования и применяется большинством исследователей как характеристика, отражающая совокупность условий, определяющих скорость и объемы оттока поверхностных и подземных вод с той или иной территории. Это понятие достаточно широко используется при проектировании инженерной защиты от процессов подтопления, при определении структур почвенного покрова для размещения господствующих типов растительности, при разработке схем зонирования для определения мелиоративных мероприятий и проч.

Вместе с тем четких методических указаний по непосредственной количественной оценке степени дренированности территорий нет. Для получения количественной

характеристики нам представляется целесообразным пойти по пути выявления набора факторов, обуславливающих степень дренированности, и определять их величины и значимость в системе балльных экспертных оценок.

Совокупность основных факторов, определяющих степень дренированности, по нашему мнению, можно разделить на две группы, каждая из которых содержит природную и техногенную составляющие.

Первая группа отражает способность массива к фильтрации подземных вод и определяется как особенностями строения геологического разреза и фильтрационными свойствами пород, так и масштабами и характером элементов техногенного воздействия (барражи, дренажные системы и проч.).

Вторая группа факторов зависит от характера естественно-природного или техногенно измененного рельефа, определяющего плановое и высотное положение базисов дренирования и, соответственно, возможность формирования, структуру и динамическую составляющую разгружающегося фильтрационного потока.

Для выявления особенностей геологического разреза и определения фильтрационных параметров слагающих его пород необходимы значительные физические объемы дорогостоящих натурных исследований. Достаточно трудоемкими оказываются и традиционно используемые подходы к специализированному анализу строения рельефа, однако информация о его параметрах может быть получена на основе цифровых моделей (ЦМР).

Появившаяся в настоящее время методическая основа и программное обеспечение по созданию и использованию цифровых моделей рельефа (ЦМР) средствами современных геоинформационных систем (ГИС) позволяет на новом уровне подойти к анализу и решению этих вопросов. Появление ЦМР достаточно высокого пространственного разрешения, а также рост вычислительных возможностей персональных компьютеров способствовали развитию в геоинформационных системах функционала по анализу гидрологических и морфометрических характеристик территорий.

В качестве источника информации для создания ЦМР регионального уровня могут быть использованы данные высотной съемки SRTM-3 Национального управления США по авиации и исследованию космического пространства (NASA) [8–10]. Ранее нами была показана обработка таких высотных данных, осуществляющаяся средствами ГИС Iwiv 3.5, позволяющей проводить построения гидрографической сети и получение ее морфометрических характеристик. Для создания итогового картографического материала применялся ArcGIS 9.3 [6]. Построенная ЦМР регионального уровня была использована для изучения особенностей формирования подземного стока Кузнецкого Алатау.

Построение ЦМР локального уровня можно производить путем интерполяции оцифрованных изолиний крупномасштабных топографических карт. Такой источник высотных данных был использован нами для оценки дренированности территории города Томска.

Методика применения ГИС для анализа цифровых моделей рельефа

Общую схему действий, производимых для создания цифровых карт характеристик рельефа, можно условно разделить на три этапа. Первые два из них являются вспомогательными, третий – основным.

На первом этапе исследований осуществляются преобразование оцифрованных изолиний топографических карт в точечные объекты, получение единой сетки высот и оценка качества охвата территории полученными данными. Результирующей процедурой, завершающей первый этап, является передача полученной ЦМР в ГИС.

Обработка данных созданной ЦМР производится на втором этапе исследований. В целях обеспечения расчета направлений стока со всей территории выполняется процедура по ликвидации бессточных понижений рельефа за счет их выравнивания относительно окружающего пространства (средствами инструмента *fill sinks*). Ликвидируемые при выполнении данной процедуры бессточные понижения рельефа могут рассматриваться как объекты накопления поверхностного и транзита подземного стока.

Затем на основе выровненной ЦМР определяется направление стока в пределах каждой её элементарной ячейки. Для этого производится расчет величин уклонов для центральной ячейки в блоке размером 3x3. Направление стока определяется путем обнаружения наибольшего уклона (инструмент *flow direction*, метод определения направления потока – *steepest slope*). Помимо направлений стока, указанная операция позволяет охарактеризовать экспозицию элементарных ячеек ЦМР. Далее для каждой элементарной ячейки ЦМР производится расчет кумулятивных значений стока. Эти значения представляют собой число ячеек, вносящих свой сток в оцениваемую ячейку под действием сил гравитации, т.е. фактически характеризуют площадь водосбора. Данная операция реализуется инструментом *flow accumulation*.

На третьем, заключительном, этапе производится построение карт плотности и глубины вреза эрозионной сети, уклонов дневной поверхности территории, а также результирующей карты, содержащей интегрированную информацию.

Построение карты эрозионной сети осуществляется путем вычитания из матрицы кумулятивных значений стока всех его значений, имеющих величину ниже заданного порогового предела, представляющего собой минимальную величину, формируемую путём суммирования элементарных ячеек водосбора, сток с которых попадает в оцениваемую

ячейку. Пороговое значение выбирается исходя из представлений о том, при какой минимальной площади водосбора образуются поверхностные водотоки с устойчивым в течение всего года стоком. В нашем случае пороговое значение принято в 300 элементарных ячеек, что соответствует площади водосбора порядка 2,5 км². Затем выполняется идентификация отдельных водотоков на основе данных по точкам слияниям и их векторизация. Для выполнения этих операций использовался инструмент drainage network extraction. Точность картографических построений (привязки вершин, конфигурация речной сети), полученных средствами ГИС на основе данных SRTM, оценивается путем сопоставления с аналогичными элементами на традиционной топографической карте соответствующего масштаба.

Последующие картографические построения и вычисления производились применительно к единице площади ячейки.

Карта уклонов дневной поверхности строится с использованием инструмента Slope, работа которого в целом аналогична работе инструмента flow direction. Оценка уклонов производится путём расчета уклона между центром оцениваемой ячейки и центрами её соседей. Наибольшее значение присваивается в качестве величины уклона оцениваемой ячейки.

Для оценки плотности эрозионной сети вся территория исследований была покрыта равномерной квадратной сеткой со стороной элементарной ячейки в 100 м. Затем в пределах каждой элементарной ячейки рассчитывается суммарная длина элементарных дрен и делится на её площадь. Полученное значение присваивается ячейке.

Карта глубины вреза эрозионной сети строится на основе статистического анализа рельефа в рамках сетки, построенной на этапе оценки плотности эрозионной сети. Глубина вреза эрозионной сети оценивается как разность между максимальными и минимальными отметками рельефа, значение которой присваивается оцениваемой ячейке сетки.

Совокупность этих трех характеристик рельефа - уклона поверхности, плотности и глубины вреза эрозионной сети территории, нам представляется, можно использовать в качестве комплексной оценки роли рельефа и называть коэффициентом дренированности.

Плотность и глубина вреза эрозионной сети характеризуют степень эрозионной изрезанности территории, соответственно, отвечают за связь поверхностных и подземных вод и определяют потенциальную возможность разгрузки поверхностных и подземных вод эрозионной сетью, а величина уклона поверхности косвенно, через гидравлические градиенты отражает интенсивность этой разгрузки.

Результирующая карта коэффициента дренированности территории, выраженного в системе балльных оценок, составляется с помощью функции field calculator. Показанные на

карте элементы соответствуют выделенным группам дренированности: недренируемые, слабо дренируемые, умеренно дренируемые, хорошо дренируемые.

Дренированность территории города Томска

Апробация представленных методических приемов выполнена нами для территории города Томска, исследованием гидрогеологических условий которого мы занимались в течение длительного времени [2; 5; 6]. Общая схема оценки коэффициента дренированности территории Томска в соответствии с приведенными методическими приемами показана на рис. 1.

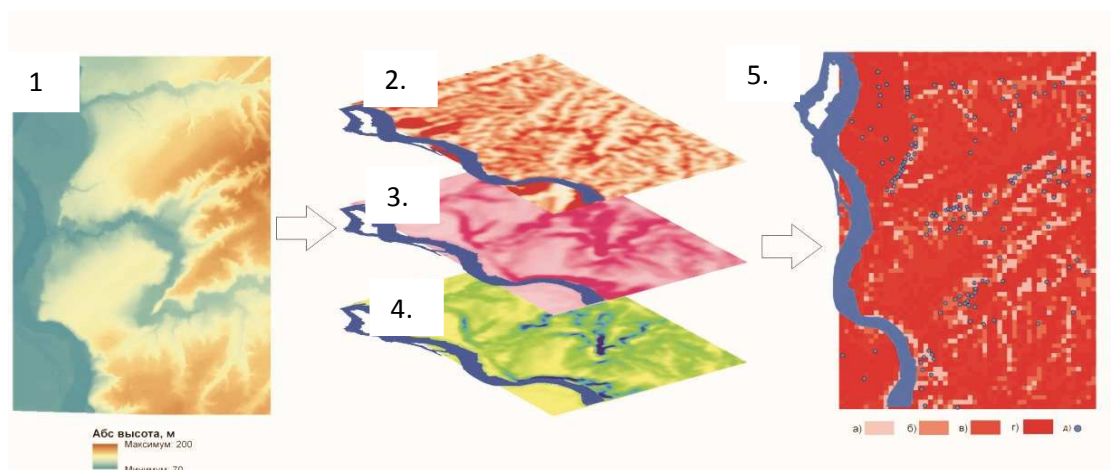


Рис. 1. Общая схема оценки дренированности территории города Томска:

1 – цифровая модель рельефа; 2 – карта плотности эрозионной сети; 3 – карта уклонов дневной поверхности; 4 – карта глубины эрозионного вреза; 5 – карта дренированности

Томск - старинный студенческий, культурный и промышленный город, расположен в избыточно увлажненной таежной зоне Западной Сибири на р. Томи, являющейся правым притоком р. Оби. Город имеет сложную инфраструктуру. Современная пяти-десятиэтажная и более высотная застройка концентрируется в жилых микрорайонах, а также представлена отдельными зданиями в старых кварталах. Промышленные предприятия рассредоточены в пределах селитебной застройки. Историческая центральная часть застроена старинными двух- и трехэтажными кирпичными домами, соседствующими с кварталами деревянных строений. Многие из них являются историческими и культурными памятниками. Среди них архитектурные памятники каменного и деревянного зодчества: храмы, дома архитекторов К.К. Лыгина, А.Д. Крячкова, П.Ф. Федоровского, А.К. Бруни и других, строения с деревянной резьбой удивительной красоты и сложности. Сохранение этого культурного наследия является одной из важнейших задач градостроительной политики. В то же время

для Томска, как и многих других городов мира, характерны опасные геологические процессы, одним из которых является техногенное подтопление, вызывающее сложности в эксплуатации подземных коммуникаций, резко ухудшающее экологическую обстановку и создающее угрозу для зданий и сооружений. Известны и такие объекты городского хозяйства, где техногенное изменение гидрогеологических условий приводит к возникновению чрезвычайных ситуаций катастрофического характера. Это оползневой склон Лагерного сада - одного из любимых мест отдыха томичей, и микрорайон «Солнечный», где в результате развития процессов подтопления жилые высокоэтажные здания находятся в аварийном состоянии.

Дренированность территории, наряду с типом фильтрационного разреза и интенсивностью источников обводнения, предопределяет степень потенциальной подтопляемости. Для территории Томска впервые важность специального рассмотрения этого вопроса отметил Д.С. Покровский, роль дренированности на тот период исследований учитывалась лишь качественно. Косвенным критерием для ее оценки использовалась глубина залегания грунтовых вод.

На рис. 2 приведена результирующая карта коэффициента дренированности территории города, построенная на количественной основе [7].

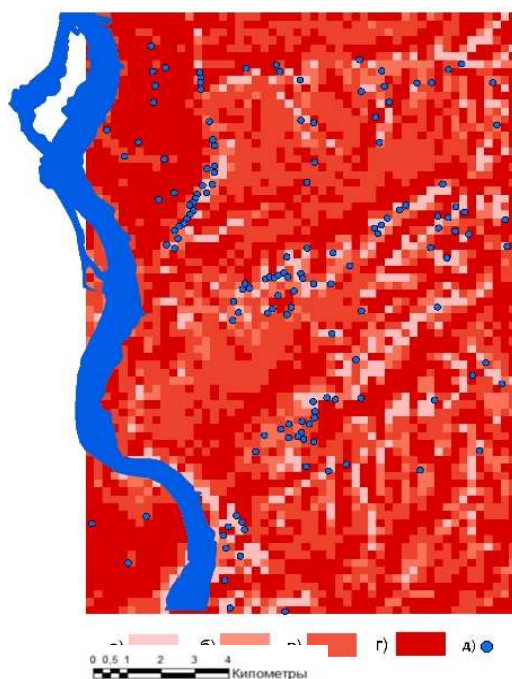


Рис. 2. Карта коэффициента дренированности центральной части территории города

Томска:

- а) хорошо дренируемые; б) умеренно дренируемые; в) слабо дренируемые; г) не дренируемые; д) родники.

Показанные на карте элементы соответствуют выделенным группам дренированности: недренируемые, слабо дренируемые, умеренно дренируемые, хорошо дренируемые. Характеристика показанных на итоговой карте элементов, соответствующих выделенным группам дренированности, приведена в таблице.

Показатели, характеризующие степень дренированности территории

Степень дренированности	Показатели			Коэффициент дренированности (сумма баллов)
	Плотность эрозионной сети	Глубина вреза эрозионной сети	Уклон дневной поверхности	
	м/км ² (балл)	м (балл)	м/м (балл)	(балл)
Хорошо дренируемые	0,009279	27,905767	8,15	0,072
Умеренно дренируемые	0,008447	17,99609	5,12	0,036
Слабо дренируемые	0,007294	10,362696	2,72	0,015
Недренируемые	0,001251	2,594715	1,5	0,00063

Для подтверждения правильности предлагаемых подходов к оценке дренированности нами использованы проведенные исследования по картированию родников. Конфигурация полученных полей градаций дренируемых территорий хорошо коррелирует с конфигурацией полей распространения родников, тщательно закартированных А.Д. Назаровым. Это свидетельствует о принципиальной правильности выбранных подходов к оценке дренированности [3].

Заключение

Проведенные на примере территории города Томска исследования показали, что возможности современных геоинформационных систем, используемые при анализе рельефа, позволяют достаточно качественно осуществлять построения эрозионной сети, а также получать основные ее морфометрические характеристики. На основе полученных данных возможна оценка дренированности территорий.

Результаты исследований могут использоваться при инженерно-геологических изысканиях и быть востребованы различными ведомствами и службами, обеспечивающими жизнедеятельность города, для:

- контроля и оперативного управления состоянием геологической среды;
- оценки вероятности возникновения, масштабов и интенсивности нежелательных последствий антропогенного воздействия;
- обоснования управленческих и инженерных решений обеспечения комфортной экологически безопасной обстановки, принимаемых на различных уровнях, от разработки генерального плана до природоохранных мероприятий на конкретных участках городской территории;
- оценки стоимости земель городской территории;
- оптимизации планирования выделения финансовых средств для проведения реставрационных работ в исторически значимой части г. Томска.

Список литературы

1. Никитенков А.Н., Дутова Е.М., Покровский Д.С. Картографические построения и оценка морфометрических параметров водосборов горно-складчатых территорий по данным спутниковой съемки (SRTM) (на примере северной части Кузнецкого Алатау) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. - № 1. - С. 223-231.
2. Покровский Д.С., Дутова Е.М., Кузеванов К.И. Применение геоинформационных технологий для оценки гидрогеоэкологических условий застраиваемых территорий // Известия вузов. Строительство. - 2008. - № 3 (591). - С. 107-112.
3. Покровский В.Д., Дутова Е.М., Кузеванов К.И., Покровский Д.С. Информационно-поисковая система оценки степени подтопляемости территории города Томска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. - 2015. - № 1 (48). - С. 172-181.
4. Coltelli M. et al. SIR-C/X-SAR multifrequency multipass interferometry: A new tool for geological interpretation // Journal Of Geophysical Research - 1996. – 101. - 23127-23148.
5. Dutova E.M. et al. The chemical and microbiological composition of urban groundwater, Tomsk, Russia // Groundwater in the Urban Environment. Proceedings of the XXVIIth Congress IAH. – Nottingham, UK, 1998. – V. 2. - P. 125-130.

6. Pokrovsky D.S., Rogov G.M., Kuzevanov K.I. The impact of urbanisation on the hydrogeological conditions of Tomsk, Russia // Groundwater in the Urban Environment. Proceedings of XXVIIth Congress IAH. – Nottingham, UK, 1998. – V. 2. - P. 217-223.
7. Pokrovskiy V., Pokrovskiy D., Dutova E., Nikitenkov A. The Research Underflooding Processes of Architecture Monuments On The Territory of Tomsk With Using GIS- technology // Science and technologies in geology, exploration and mining. 14th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM2014. - Albena, Bulgaria, 2014. - V. 2. - P. 935-941.
8. Rodriguez E. et al. An assessment of the SRTM topographic products Technical Report JPL D-31639. - Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California. - 2005. – P. 143.
9. Tim Ormsby, Eileen Napoleon and Robert Burke Getting to know ArcGIS (Esri Press). - 2004. – P. 572.
10. Werner M. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Mission overview J. Telecom. - 2001. – 55. – P. 75-79.

Рецензенты:

Рихванов Л.П., д.г.-м.н., профессор кафедры геоэкологии и геохимии, Томский политехнический университет, г. Томск;

Строкова Л.А., д.г.-м.н., и.о. руководителя кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии, Томский политехнический университет, г. Томск.