

ЛАНДШАФТНЫЙ ПОДХОД К ВЫДЕЛЕНИЮ ВОДООХРАННОЙ ЗОНЫ РЕКИ УШАЙКИ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Инновационные технологии ландшафтного анализа в экологическом сопровождении инвестиционно-строительных проектов» в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. Мероприятие № 1.3.1 «Проведение научных исследований молодыми учеными – кандидатами наук» по направлению «География и гидрология суши».
Государственный контракт № П2586 от 26 ноября 2009 г.

Рассмотрены проблемы выделения водоохранных зон малых рек на примере р. Ушайки. Предложена методика выделения водоохранной зоны с использованием ландшафтного анализа территории на основе геоинформационного картографирования.

Ключевые слова: водоохранная зона; ландшафтный анализ; геоинформационное картографирование.

Природоресурсное и природоохранное законодательство Российской Федерации предусматривает различные виды правового обеспечения охраны окружающей среды. Так, в настоящее время законодательной базой при определении водоохранной зоны какого-либо водного объекта является Постановление Правительства РФ № 1404 от 23 ноября 1996 г. [1], которое в действительности применимо лишь в качестве универсальной системы выделения водоохранных зон и должно использоваться в случаях, требующих огромных затрат на более детальное проектирование (например, для проектирования водоохранных зон для множества малых рек Российской Федерации, находящихся в отдалённых слабозаселённых районах). В случае же когда речь идёт о малых реках, расположенных в пределах крупных урбанизированных территорий, такой подход, на наш взгляд, требует значительной доработки.

Другие известные подходы решения этой проблемы: выделение всего водосборного бассейна реки, выделение «буферной зоны» от исторически максимального уровня воды в реке и др., являются более приемлемыми с экологической точки зрения, но из-за большой площади, которую они занимают, на практике в большинстве случаев такие подходы не находят применения. Особенно это очевидно для высокоурбанизированных территорий, где очень велика стоимость земли.

В связи с указанными недостатками имеющихся методик авторами работы была предложена инновационная методика выделения водоохранных зон малых рек в пределах урбанизированных территорий, основу которой составляет ландшафтный анализ долин малых рек с использованием методов геоинформационного картографирования. Необходимо отметить, что осуществление работы стало возможным благодаря участию сотрудников кафедры географии Томского государственного университета совместно с сотрудниками ИВЭП СО РАН в разработке проекта водоохранных зон водных объектов в черте г. Томска (на основании контракта с ОГУ «Облкомприрода»). Поэтому в качестве объекта исследования была выбрана долина р. Ушайки в пределах г. Томска.

Первым этапом работы стало создание крупномасштабной ландшафтной карты долины р. Ушайки. В качестве исходных источников для ландшафтного картографирования использовались оцифрованные ли-

сты топографической карты масштаба 1:10 000, космический снимок Quick Bird II 2005 г. с пространственным разрешением 2,44 м, а также материалы полевых исследований с использованием GPS-съёмки (всего 69 точек наблюдений). Все данные с помощью программного комплекса ArcGIS 9.2 (ESRI Inc.) были привязаны к единой проекции в системе координат 1942 г. (проекция Гаусса-Крюгера, 15-я зона) и сведены в единую базу геоданных (БГД). В результате была построена ландшафтная карта долины р. Ушайки (рис. 1), состоящая из 3 602 полигонов геосистем, которые были дифференцированы на 39 видов урочищ, объединённых в 6 групп урочищ: прирусловая пойма р. Ушайки, центральная пойма р. Ушайки, притеррасная пойма р. Ушайки, первая надпойменная терраса р. Ушайки, центральная пойма р. Томи, геосистемы с очень высокой степенью антропогенной модификации.

На основе оцифрованных с топокарт горизонталей, высотных отметок и контуров гидросети методом триангуляции Делоне была построена цифровая модель рельефа (ЦМР) долины р. Ушайки в формате нерегулярной триангуляционной сети (TIN). Далее был проведён морфометрический анализ урочищ долины Ушайки на основе ЦМР [2, 3]. С помощью функции зональной статистики модуля Spatial Analyst пакета ArcGIS был рассчитан средний уклон каждой геосистемы (урочища).

Весь этот объем пространственных данных совместно с экспертным пространственным анализом был использован авторами для разработки инновационной методики выделения водоохранных зон малых рек в пределах урбанизированных территорий, которая представлена на рис. 2.

Главным инструментом представленной методики являлась комплексная ландшафтная географическая информационная система (ГИС), которая содержала большой объём информации о рельефе, гидрографии, а главное – подробные характеристики всех ландшафтных систем (урочищ), входящих в долину Ушайки (см. табл. 1).

Полученные на основе морфометрического анализа результаты подтвердили основные закономерности, присущие элементам речных долин. Так, наименьший средний уклон ($0,45^\circ$) имеют парки, скверы и прочие зелёные насаждения на изменённых почвах, располо-

женные в пределах поймы и надпойменной террасы. Геосистемы, расположенные на террасе и в пойме, в большинстве имеют незначительный средний уклон (от 1 до 3°). Максимальным же средним уклоном (до 14,6°) обладают геосистемы на склонах междуречных равнин.

Не секрет, что основное негативное воздействие на водный объект могут оказывать поверхностные стоки, имеющие различное происхождение, как промышленное (с предприятий, автомобильных и железных дорог), так и бытовое (с территории жилой и общественной

застройки). Вследствие этого основной задачей для расчёта водоохранной зоны стало моделирование поверхностного стока, которое можно было осуществить на основе проведённого ранее морфометрического и других видов анализа. Особенности в характере поверхностного стока на всей территории долины р. Ушайки можно было определить благодаря пространственным данным и информации, содержащейся в созданной комплексной ландшафтной ГИС, а также применив экспертный пространственный анализ.

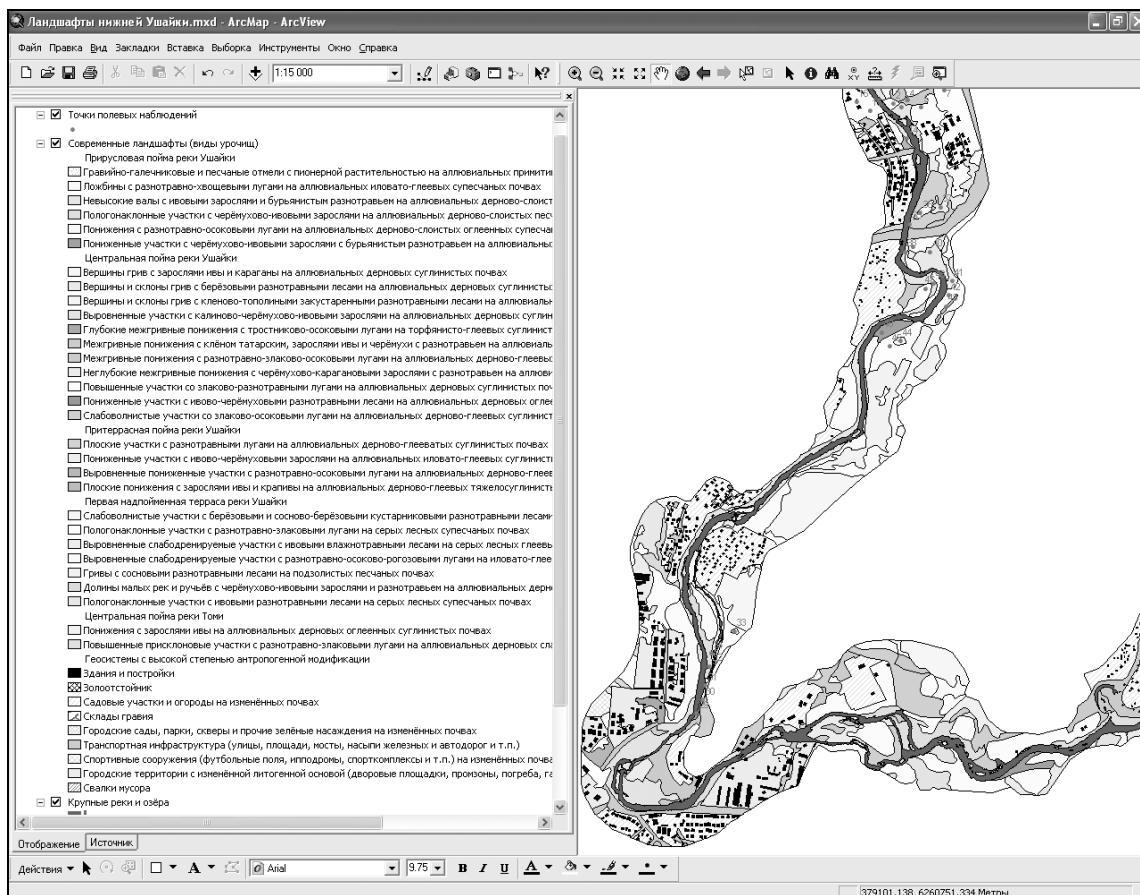


Рис. 1. Фрагмент цифровой ландшафтной карты долины р. Ушайки

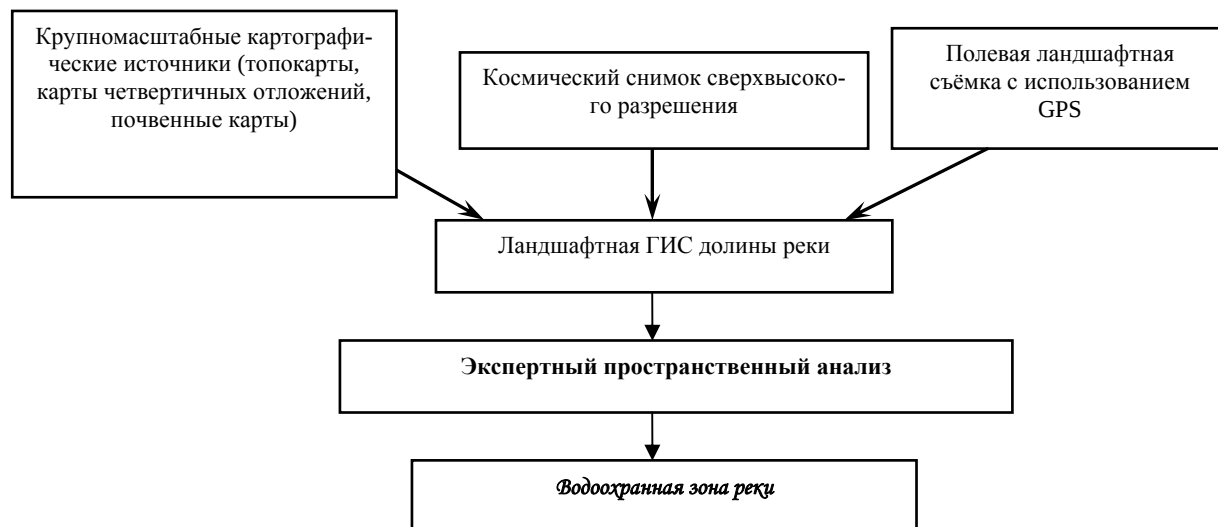


Рис. 2. Предложенный алгоритм выделения водоохранной зоны малой реки

Фрагмент БГД пойменных ландшафтных систем долины р. Ушайки

Название урочища	Группа урочищ	Литогенная основа	Почва	Площадь, км ²	Средний уклон, гр.
Невысокие валы с ивовыми зарослями и бурьянистым разнотравьем на аллювиальных дерново-слоистых супесчаных и песчаных почвах	Прирусовая пойма р. Ушайки	Супесь, песок	Аллювиальная дерново-слоистая	0,1	5,35315
Понижения с разнотравно-осоковыми лугами на аллювиальных дерново-слоистых оглеенных супесчаных почвах	Прирусовая пойма р. Ушайки	Супесь	Аллювиальная дерново-слоистая оглеенная	0,04	3,70952

В первую очередь в водоохранную зону вошли исключения, выделенные с помощью экспертного пространственного анализа. К ним относились: пойменные геосистемы, включение которых в водоохранную зону не вызывало сомнений после весеннего паводка в 2008 г. (когда оказалась затопленной большая часть пойменных ландшафтов), долины малых рек и ручьёв, а также овраги (при условии, что их устья и водосборы входят в долину реки).

Для определения принадлежности к водоохранной зоне остальной территории долины реки был рассчитан коэффициент потенциальной экологической опасности ($K_{\text{пот.экоп.}}$), назначением которого было показать степень опасности нарушения правил землепользования на данной территории, а в случаях, когда эти правила кардинальным образом нарушены, – необходимость применения комплекса инженерных систем, регулирующих поверхностные стоки.

Расчёт коэффициента потенциальной экологической опасности ($K_{\text{пот.экоп.}}$) происходил по следующей формуле:

$$K_{\text{пот.экоп.}} = K_{\text{ср.укл.}} + K_p + K_c;$$

где $K_{\text{ср.укл.}}$ – коэффициент среднего уклона ландшафтной системы, рассчитанного на основе ЦМР; K_p – коэффициент состояния растительности ландшафтной системы; K_c – коэффициент почвенного субстрата ландшафтной системы.

Расчёт коэффициента потенциальной экологической опасности производился по 7-балльной оценочной шкале. При этом оценка отличалась определённой долей субъективизма, избежать которого полностью, по всей видимости, невозможно. Однако его долю можно значительно снизить, связав некоторые критерии оценки с чёткими количественными характеристиками геосистем и переложив трудоёмкие расчёты этих характеристик на компьютер [4].

Для моделирования поверхностных стоков было решено использовать коэффициент среднего уклона каждой геосистемы ($K_{\text{ср.укл.}}$), так как известно, что наклон поверхности непосредственным образом влияет на величину стока (табл. 2).

Таблица 2
Коэффициент среднего уклона геосистемы

Средний уклон, гр.	Балльная оценка
Менее 0,5	1
0,5–0,7	2
0,7–1	3
1–3	4
3–7	5
7–11	6
Более 11	7

Подобным образом был рассчитан коэффициент состояния растительности (K_p), для дифференциации ко-

торой были взяты участки как с нарушенным растительным покровом, так и занятые лугом, кустарником и лесом. Известно, что лесная растительность задерживает до 30% атмосферных осадков, поэтому для таких ландшафтных систем было решено использовать $K_p = -2$. За участки с нарушенным растительным покровом было принято считать и садовые участки, и территории, занятые под городскую застройку. Поверхностный сток на этих участках может происходить с различными скоростями и объёмами, но общая тенденция всё же идёт к его увеличению, следовательно, $K_p = +1$ (табл. 3).

Таблица 3
Коэффициент состояния растительности геосистемы

Состояние растительности	Балльная оценка
Лес	-2
Кустарник	-1
Луг	0
Участки с нарушенным растительным покровом	+1

Значение коэффициента почвенного субстрата (K_c) рассчитывалось благодаря унификации значений коэффициентов фильтрации грунтов конкретной ландшафтной системы, входящей в долину р. Ушайки. Например, самым низким коэффициентом фильтрации обладает глина (< 0,001 м/сут). Суглинок (0,01 м/сут) и супесь (0,05 м/сут) обладают промежуточными значениями, а коэффициент фильтрации песков (от 0,1 м/сут у мелкозернистых до 5,0 м/сут у крупнозернистых) и гравия (10 м/сут), вне сомнения, гораздо выше, чем у других субстратов (табл. 4).

Таблица 4
Коэффициент почвенного субстрата ландшафтной системы

Вид субстрата	Балльная оценка
Гравий, галька, песок	-2
Супесь	-1
Суглинок	0
Глина	+1
Изменённый человеком	+1

Таким образом, гравийный и песчаный субстраты позволяют влаге просачиваться вглубь склона, снижая поверхностный сток, следовательно, $K_c = -2$. Глинистый же субстрат и большинство поверхностных, изменённых человеком (грунтовые и асфальтированные дороги), наоборот, усиливают поверхностный сток, поэтому для таких субстратов $K_c = +1$ (см. табл. 4).

В результате вычисления коэффициентов потенциальной экологической опасности была создана карта водоохранной зоны р. Ушайки (рис. 3).



Рис. 3. Фрагмент водоохранной зоны р. Ушайки на космическом снимке QuickBird 2

Ландшафтные системы, получившие в результате расчётов коэффициент от 0 до 2 и не попавшие в существующие исключения, оговоренные выше, не вошли в неё. Примерами таких ландшафтных систем являются урочища, расположенные на поверхности первой надпойменной террасы и занимающие 8,33% площади долины:

- гривы с сосновыми разнотравными лесами на подзолистых песчаных почвах;
- слабоволнистые участки с берёзовыми и сосново-берёзовыми кустарниковыми разнотравными лесами на дерново-подзолистых супесчаных почвах;
- выровненные слабодренлируемые участки с ивовыми влажнотравными лесами на серых лесных глеевых супесчаных почвах;
- пологонаклонные участки с ивовыми разнотравными лесами на серых лесных супесчаных почвах.

Как и предполагалось ранее, в водоохранную зону включена большая часть ландшафтных систем долины реки (91,27%), которые являются составными частями общего водосбора р. Ушайки.

Разработанная методика доказала свою актуальность и необходимость практического использования при анализе последствий весеннего наводнения в г. Томске в 2008 г. По ряду важных параметров она является более эффективной и менее затратной, чем существующие методики, а включение в обработку статистических данных современного программного обеспечения ГИС позволило значительно автоматизировать весь процесс и сделать его более беспристрастным.

Из конкретных рекомендаций по исследуемой территории заслуживают внимания, на наш взгляд, две:

- участки леса, сохранившиеся до настоящего времени, следует рассматривать как потенциально возможные рекреационные ресурсы, а не будущие строительные площадки;
- в случаях, когда территория, относящаяся к водоохранной зоне, исторически является обжитой либо находится в планах застройки, необходимо разработать комплекс мероприятий в целях управления поверхностными стоками, включающий строительство дренажных систем, прибрежных дамб и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении положения о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах. Постановление от 23 ноября 1996 г. N 1404 // Консультант плюс: справочно-правовая система. М., 2005.
2. Хромых В.В., Хромых О.В. Опыт автоматизированного морфометрического анализа долинных геосистем Нижнего Притома на основе цифровой модели рельефа // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 298. С. 208–211.
3. Хромых В.В., Хромых О.В. Морфометрический анализ долинных геосистем Нижнего Притома // ArcReview. 2008. № 4 (47). С. 6.
4. Хромых В.В. Географические информационные системы при планировании хозяйственного использования территории : дис. ... канд. геогр. наук. Томск, 2000. 219 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 8 февраля 2013 г.