

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ВЫДЕЛЕНИЯ КРАЕВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАНИЦ ЛАНДШАФТОВ

А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин

Мордовский государственный университет, Россия

Поступила в редакцию 16 августа 2013 г.

Аннотация: В статье пошагово описывается суть алгоритма выделения краев и его практическое применение в области моделирования границ ландшафтов на примере учебно-научного полигона по дешифрированию космических снимков на территории национального парка «Смольный».

Ключевые слова: алгоритм, ландшафт, моделирование.

Abstract: The article describes the steps of edge detection algorithm and its practical use in the field of modelling borders of landscapes by the example of scientific-training ground for satellite image interpretation in the national park «Smolny».

Key words: algorithm, landscape, modeling.

Задача сознания алгоритма, который всегда оптимально выделяет границы ландшафтов, на практике выглядит практически нерешаемой. Сложности реально существующих природных территориальных комплексов (ПТК), обуславливает тот факт, что число границ, которые можно выделить в рамках исследуемой территории, практически бесконечно велико. Границы форм рельефа, типов почв, растительных массивов и других компонентов часто коррелируют между собой, но эти взаимосвязи осложняются характером антропогенной трансформации геосистем. Тем не менее, максимально точное выделение краев с минимальной погрешностью, безусловно, важно для решения многих задач обработки и анализа изображений, одной из которых является задача ландшафтного картографирования и физико-географического районирования. Ее суть заключается в выделении территорий, обладающих относительным сходством по некоторому признаку [1]. Поэтому, перед началом решения обозначенной задачи необходимо четко определить цель, с которой проводится ландшафтное картографирование, выбрать критерии классификации.

В качестве полигона для апробации методики синтетического ландшафтного картографирования использовалась система эталонных полигонов для дешифрирования космических снимков, в том чис-

ле территория национального парка «Смольный» (рис. 1), расположенного на левобережье Алатыря в северной лесостепи Приволжской возвышенности. Географические координаты поселка Смольный (южная часть парка) 54°43' с. ш., 45°16' в. д.

Особенностью ландшафтной дифференциации территории национального парка «Смольный» является хорошо выраженная склоновая смена ПТК от внутренних водораздельных пространств Алатыря и Пьяны к пойме Алатыря и его крупным притокам: Язовке, Кальше, Баракманке. Эта закономерность определяется пространственными изменениями элементов литогенной основы ландшафтов: генетических типов четвертичных отложений (водно-ледниковых, аллювиально-водно-ледниковых, древних и современных аллювиальных отложений), мощности четвертичных отложений (от 0,5 до 20 м), глубины залегания грунтовых вод, а также изменениями активности экзогенных геолого-геоморфологических процессов (эрозионных, суффозионных и др.). Особенности литогенной основы ПТК определяют перераспределение тепла и влаги, структурно-функциональные особенности геосистем и их устойчивость к антропогенному воздействию. В склоновой смене ПТК принимают участие местности ландшафтов смешанных лесов водно-ледниковых, аллювиально-водно-ледниковых равнин и надпойменных террас.

Общая последовательность работ по созданию электронной синтетической ландшафтной карты

Хорошей отправной точкой является обоснованный выбор канала съемки, изображение которого будет подвергнуто анализу. Каждый из восьми спектральных диапазонов съемки Landsat 7 характеризует свойство фотографируемой поверхности отражать излучение определенной длины волны, благодаря чему по-разному выражаются свойства изучаемой поверхности и отчетливо выделяются различные ее участки. Выбор канала съемки обусловит расположение, характер и значение границ, которые будут выделены в ходе выполнения алгоритма.

В предварительной стадии выполнения алгоритма, перед тем, как приступить к непосредственному поиску границ, изображение необходимо подготовить.

Во-первых, для повышения производительности вычислений, цветное изображение следует преобразовать в монохромное, серое. Например, при цветовой модели RGB, пиксель растра характеризуется тремя цветовыми компонентами – красной, зеленой и синей. Пиксель изображения в градациях серого может описываться всего одним числом, яркостью, значение которой равно максимальной из цветовых компонент.

Космические снимки Landsat 7 уже поставляются в виде множества монохромных изображений различных спектральных диапазонов.

Во-вторых, проблему при определении краев создают шумы изображения – беспорядочные, не коррелирующие между собой изменения яркостей пикселей, усложняющие распознавание границ изображения ландшафтов. Шумовое воздействие напрямую может способствовать возникновению резких нежелательных колебаний яркости между соседними пикселями и, как следствие, выделению контуров там, где их быть не должно. В борьбе с шумом полезно сглаживание изображения, которое применяется для того, чтобы нивелировать нежелательные различия между яркостями соседних пикселей.

Суть алгоритма сглаживания сводится к свертке двумерного массива яркости пикселей с ядром размытия (фильтром). Операцию свертки оптимально проводить, используя быстрое преобразование Фурье. В этом случае, необходимо преобразовать исходные данные в частотную область (вычислить их преобразование Фурье), перемножить результаты преобразования и выполнить обратное преобразование Фурье. Данная методика дает хорошие результаты, когда мы имеем дело с боль-

шими массивами входных данных, которыми и являются исследуемые растровые изображения.

В качестве ядра размытия целесообразно использовать гауссово ядро [5], описываемое следующей формулой:

$$G_s(x, y) = \frac{1}{2\pi s^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2s^2}},$$

где s – среднееквадратическое отклонение, которое представляет из себя настраиваемый параметр гауссова фильтра.

Гауссова функция имеет максимальное значение при нулевом отсчете и начинает стремиться к нулю при удалении от него. Таким образом, при свертке растра с гауссовым ядром, значение яркости каждого пикселя размытого изображения вычисляется как среднее взвешенное значений яркостей соответствующего пикселя источника и его окрестности [5]. Весовые коэффициенты соседних пикселей уменьшаются по мере их удаления, благодаря чему снижается влияние значений их яркости на результирующую величину. По правилу трех сигм, можно ограничиться сверткой с ядром, радиус которого в три раза превышает используемое среднееквадратическое отклонение, так как более удаленные пиксели практически не влияют на сглаженное значение в данной точке.

Среднееквадратическое отклонение напрямую влияет на степень размытия изображения фильтром. Если оно очень мало, то сглаживание не даст значительный результат, так как весовые коэффициенты всех окрестных пикселей будут близки к нулю. Наоборот, если выбрать слишком большое среднееквадратическое отклонение, то вместе с шумом исчезнут и значимые элементы изображения ландшафта.

Таким образом, при выборе параметра гауссова фильтра нужно стремиться к компромиссу, при котором усредненное значение пикселя размытого изображения будет в достаточной степени согласовано с соседями, благодаря чему уменьшится влияние шума, но в то же время сглаженный снимок не должен утратить значимых элементов.

Теперь в полученном на подготовительной стадии размытом монохромном космическом снимке можно начать поиск контуров природных комплексов. Для начала целесообразно вычислить значение и направление градиента яркости пикселей изображения. Решение этой задачи возможно через применение оператора Собеля к каждому пикселю растра. Этот метод основан на свертке изображе-

ния с небольшими целочисленными фильтрами в вертикальном и горизонтальном направлениях.

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} * I \quad G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * I,$$

где I – исходное изображение, G_x и G_y – изображения, каждый пиксель которых характеризует значение производной по x и y .

Значение и направления градиента в каждой точке растра можно получить исходя из

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}; \quad A = \arctg\left(\frac{G_y}{G_x}\right),$$

где G – матрица значений градиентов, A – матрица направлений градиента.

Значения результирующих матриц показывают, насколько резко меняется яркость каждого пикселя растра. Чем модуль значения градиента в данной точке изображения выше, тем больше вероятность того, что она является граничной. Ориентация вектора градиента говорит нам о направлении наибольшего увеличения яркости.

Далее, после вычисления градиентов изображения, целесообразно выполнить операцию подавления немаксимумов, предложенную Джоном Кэнни [2]. На данном шаге для каждого пикселя проверяется, является ли величина градиента локальным максимумом в направлении градиента, при этом угол направления вектора округляется до величины, кратной 45 градусам.

Например, если округленный угол направления вектора градиента в данной точке изображения равен нулю градусам (граница имеет направление с севера на юг), то данный пиксель считается краевым, если величина его градиента больше, чем у пикселей, которые располагаются севернее и южнее его. Если данное условие не выполняется, то считается, что данный пиксель не является граничным.

В результате операции подавления немаксимумов, только локальные максимумы отмечаются как границы и края становятся более тонкими и менее размытыми.

В ходе следующего шага все множество пикселей предполагается разделить на три категории: достоверно определяющие границу, требующие уточнения и подавляемые. Для этого необходимо вручную установить минимальное (w_{min}) и максимальное (w_{max}) пороговые значения. Операция, носящая название двойной пороговой фильтрации,

заключается в том, что пиксели, яркость которых меньше определенного минимального порога, окрашиваются в черный цвет и отбрасываются; пиксели, яркость которых больше максимальной границы, обозначаются белым цветом и принимаются за граничные, не требующие дальнейшего уточнения. Для оставшихся пикселей устанавливается фиксированное среднее значение яркости, и на завершающем шаге алгоритма будет необходимо уточнить, являются ли они краевыми.

Чем меньше нижний порог, тем больше границ будет находиться, но и тем больше на конечный результат будет влиять шум. Наоборот, увеличивая нижний порог, мы рискуем потерять тонкие границы. От верхнего порога зависит, какой процент пикселей мы примем как достоверно граничные.

Значения минимального и максимального порогов двойной пороговой фильтрации выбираются эмпирически, исходя из результата, полученного в результате предшествующих шагов алгоритма.

На завершающем шаге алгоритма выполняется проверка неоднозначных пикселей, которые добавляются к достоверной границе в том случае, если они соприкасаются с ней по одному из 8-и (или 4-х) смежных направлений (рис. 2), иначе происходит подавление неоднозначной точки.

По завершении данной операции мы получаем бинарное изображение, белым цветом на котором выделены краевые точки исследуемого космического снимка.

Для реализации алгоритма, суть которого описана в статье, использовался язык Python. Его библиотека SciPy предоставляет доступ к обширному спектру математических алгоритмов, что позволяет использовать данный язык, как универсальную среду для научных расчетов [3], в качестве замены специализированных коммерческих пакетов (таких как MATLAB). NASA и CERN активно использует Python для научных исследований и расчетов.

Результатом выполнения алгоритма при заданных параметрах s , w_{min} , w_{max} является изображение исследованного канала съемки Landsat 7 с

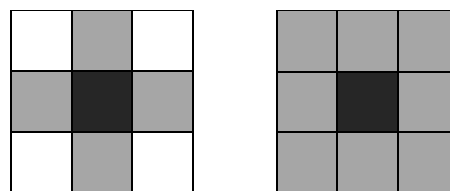


Рис. 2. Типы смежности.

Серым цветом отмечены пиксели, которые смежны центральному при 4- и 8-смежности

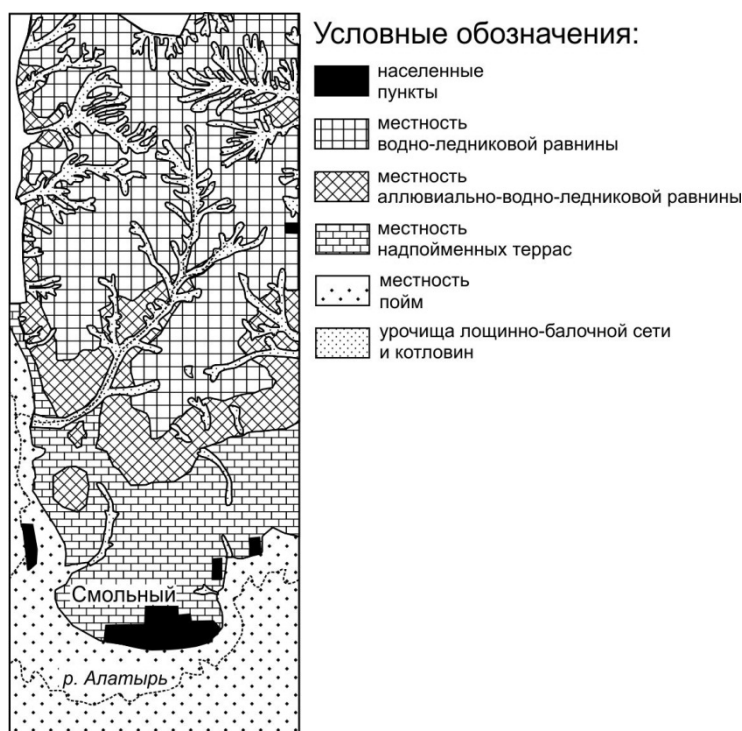


Рис. 3. Природные ландшафты учебно-научного полигона «Смольный»

отмеченными краевыми точками. Регулируя входные параметры, можно добиться требуемого результата с определенной точностью.

Выделенные комплексы в зависимости от целей исследования могут подвергаться типологической классификации с выделением классов, подклассов, групп, подгрупп, типов, подтипов, родов, подродов, видов и подвидов ландшафтов. В качестве примера приведем схему типизации геокомплексов на уровне родов (рис. 3).

Местность водно-ледниковой равнины – занимает верхнюю гипсометрическую ступень с абсолютными отметками от 150 до 220 м. Литогенная основа ландшафтов представлена маломощными водно-ледниковыми песками (до 1 м), подстилаемыми нижнемеловыми песчано-глинистыми отложениями, реже моренными суглинками. В верховьях Барахманки, Удальца и Язовки коренные отложения (глины) на водораздельных пространствах вскрываются на глубине 0,2-0,4 м. Для этой группы ПТК характерны системы слабопроточных, почти не выраженных в рельефе замкнутых и полузамкнутых западин, редкая сеть тальвегов. Склоновые процессы слабо выражены. Особенности пространственной структуры и функционирования геокомплексов во многом определяются преобладанием нисходящих движений гравитационных, грунтовых и подземных вод с частичной их разгрузкой в верховьях гидрографической сети. В

структуре почвенного покрова мозаично сочетаются светло-серые и дерново-подзолистые песчаные, супесчаные, реже песчанисто-легкосуглинистые почвы. В естественной растительности преобладают дубовые и дубово-липовые леса, прерываемые сменившимися их мелколиственными насаждениями.

Местность аллювиально-водно-ледниковой равнины – занимает высотный интервал от 120 до 150 м. Она сложена песками (среднемощными), подстилаемыми песчано-глинистыми породами нижнемелового возраста. В отличие от предыдущей местности здесь наряду с нисходящим движением водных масс значительны латеральные потоки воды, периодически выходящие на дневную поверхность весной и во время дождей. Здесь сформирована сравнительно густая и глубокая гидрографическая сеть. В структуре почвенного покрова преобладают подзолистые, дерново-слабо- и среднеподзолистые песчаные и супесчаные почвы. В естественной растительности доминируют смешанные леса с сосной, елью, липой, дубом.

Местность надпойменных террас – имеет абсолютные отметки от 100 до 120 м. Она субшироко протягивается в южной части национального парка. Литогенная основа сложена преимущественно древнеаллювиальными песками, имеющими мощность более 10 м. Отложения обладают хорошими фильтрационными свойствами. С движением грунтовых вод связана повышенная актив-

ность суффозионных процессов, что проявляется в довольно широком распространении пологих бессточных воронок и западин. С развитием суффозионных процессов, вероятно, связаны и многие обрывистые склоны террас к пойме Алатыря. Характерной чертой рельефа этой местности является широкое распространение древнеоловых форм рельефа – дюн и котловин выдувания. Эти особенности литогенной основы ландшафта обуславливают довольно хорошую выраженность фациальной микропоясности. На вершинах бугров (дюн) распространены боры-беломошники на слабогумусированных песках, которые вниз по склону сменяются сосняками-зеленомошниками на дерново-слабоподзолистых почвах, а у их основания располагаются сосняки-долгомошники на дерново-глеевых почвах. В западинах и других отрицательных формах рельефа распространены небольшие сфагновые болота на торфянистых торфяно-глеевых почвах. Степень выраженности фациальной микропоясности увеличивается в парке с востока на запад.

Местность пойм. Наибольшую долю в этом типе местности занимает пойма Алатыря, которая полосой протягивается в южной части национального парка. Аллювиальные отложения представлены песками с прослоями суглинков. Особенности литогенной основы определяют функционирование следующих типов пойменных геокмплексов: выровненные, сложенные аллювиальными песками с прослоями суглинков с аллювиальными дерновыми суглинистыми и супесчаными почвами под лесами с осиной, липой, дубом, вязом; мелковолнистые, сложенные аллювиальными отложениями с аллювиальными дерновыми слоистыми и аллювиальными дерновыми зернистыми супесчаными, легко- и тяжелосуглинистыми почвами под клеверно-разнотравно-злаковыми и мятликово-разнотравными лугами; выровненные с болотными низинными, обедненными торфяными почвами, с растительным покровом из осок, етврофных видов сфагновых мхов или сосново-березовыми разреженными лесами низкого бонитета.

Природные территориальные комплексы ложинно-балочной сети. Эрозионная сеть ориентирована относительно Алатыря. Наиболее широкое распространение имеют неглубокие лощины с сырыми и мокрыми днищами, дерново-подзолистыми глеевыми и дерново-глеевыми супесчаными и суглинистыми почвами под осиново-широколиственными лесами; балки разной степени дренированности с ручьями, часто врезанными в дни-

ща, сложенные аллювиально-делювиальными отложениями с дерново-грунтово-глеевыми, а по склонам – со смыто-намытыми почвами под осиново-черноольховыми с ивой влажнотравно-щучково-осоковыми фитоценозами; балки влажные и сырые под влажнотравно-злаковыми лугами и осиново-широколиственными папоротниково-широкотравно-влажнотравными лесами на дерново-поверхностно-глееватых и дерново-грунтово-глеевых почвах; балки заболоченные под черноольхово-широколиственными болотнотравно-осоковыми лесами на перегнойных поверхностно-глеевых и торфянисто-подзолистых поверхностно-оглеенных почвах, залегающих на водно-ледниковых и древнеаллювиальных отложениях; балки с наносными суглинистыми почвами, с байрачными дубравами.

Таким образом следует выделить основные этапы рассмотренного алгоритма выделения границ.

1. Подготовительные этап, включающий в себя преобразование исследуемого изображения в монохромное и сглаживание изображения для удаления шума (задается параметр, характеризующий радиус размытия).

2. Вычисление градиентов пикселей изображения.

3. Подавление немаксимумов.

4. Двойная пороговая фильтрация.

5. Проверка неоднозначных пикселей.

6. Выделение полученных границ.

7. Характеристика свойств ландшафтов.

Важно отметить, что исследуемую область реального мира можно делить на районы различными способами, исходя из поставленной цели, в то время, как число границ, которые можно перенести на карту – ограничено [1]. Представленный алгоритм позволяет вносить в процесс выделения границ элемент субъективности, путем регулирования входных параметров его выполнения в зависимости от конечной цели, которую поставил эксперт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арманд Д. Л. Наука о ландшафте (Основы теории и логико-математические методы) / Д. Л. Арманд. – Москва : Мысль, 1975.

2. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection / J. Canny // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1985. – Vol. PAMI-8, № 6.

3. Klein A. Python for scientists. Python vs Matlab / A. Klein. – URL: <https://sites.google.com/site/pythonforscientists/python-vs-matlab>.

4. Shapiro L. G. Computer Vision / L. G. Shapiro, G. C. Stockman. – New Jersey : Prentice Hall, 2001.

5. Forsyth D. Computer Vision: A Modern Approach / D. Forsyth, J. Ponce. – New Jersey : Prentice Hall, 2002.

6. Шадрин А. Color Management System (CMS) в логике цветowych координатных систем / А. Шадрин. – URL: <http://www.darkroomphoto.ru/stati/tsvet-i->

[kolorimetriya/color-management-system-cms-v-logike-tsvetovyih-koordinatnyih-sistem.-chast-i.html](http://www.darkroomphoto.ru/stati/tsvet-i-kolorimetriya/color-management-system-cms-v-logike-tsvetovyih-koordinatnyih-sistem.-chast-i.html)

Ямашкин Анатолий Александрович
доктор географических наук, профессор, декан географического факультета Мордовского государственного университета, г. Саранск, т. (8342) 47-44-54, E-mail: yamash@smtp.ru, fac-geo@adm.mrsu.ru

Ямашкин Станислав Анатольевич
аспирант Мордовского государственного университета, г. Саранск, E-mail: yamashkinsa@mail.ru

Yamashkin Anatoliy Alexandrovitch
Doctor of Geography, Professor, Dean of Geography Department of Mordovian State University, Saransk, tel. (8342) 47-44-54, E-mail: yamash@smtp.ru, fac-geo@adm.mrsu.ru

Yamashkin Stanislav Anatol'yevitch
Postgraduate student of Mordovian State University, Saransk, E-mail: yamashkinsa@mail.ru