

# Дешифрирование почв пойменных ландшафтов методами цифровой обработки аэрофотоснимков

*В.В.Конах\*, А.А.Тоназ\*\*, Ф.Е.Шалькевич\*\**

*\*факультет прикладной математики и информатики,  
\*\*географический факультет, Белорусский государственный университет  
пр. Скорины, 4, Минск, 220050, Республика Беларусь  
(017) 209-55-31; Konakh@bsu.by*

## **Введение**

Одной из наиболее важных и сложных задач цифровой обработки снимков является их дешифрирование. Принципиальная схема дешифровочного процесса остаётся неизменной независимо от того, кто его выполняет: человек или автоматизированная система. Распознавание выполняется путём сопоставления и определения степени близости некоторого набора признаков дешифрируемого объекта и соответствующих эталонных признаков. Поэтому визуальный и машинный анализы видеоинформации различаются не принципиально, а скорее методически. Если при визуальном анализе использование дешифровочных признаков носит качественный, эвристический характер, а результаты анализа, соответственно, оказываются субъективными, то при автоматизированном – дешифровочные признаки преобразуются в цифровую форму (формализуются), и решения принимаются по количественным критериям.

Результативность цифровой обработки существенно зависит от соответствующего математического и программного обеспечения. Рассматриваемая в работе система автоматизированного дешифрирования почв по материалам аэрофотосъёмки позволяет проводить предварительную обработку изображений аэрофотоснимков (устранять гистограммные искажения, локальные скачки яркости, шумы различного рода), выделять на изображении однородные области путём сегментации, проводить классификацию выделенных сегментов, а также получать количественные показатели для характеристики структуры почвенного покрова.

## **Алгоритмическое наполнение системы**

Для решения задач дешифрирования почв в системе реализованы алгоритмы гистограммных преобразований, фильтрации, подчёркивания контуров и кластерного анализа без обучения и с обучением [1].

*Гистограммные преобразования* заключаются в замене элементов изображения одной яркости на элементы изображения другой яркости. По сути, гистограммное преобразование исходного изображения  $F(x, y)$  в  $G(x, y)$  задается отображением  $G = f(F(x, y))$ , где  $f(t)$  - целочисленная функция от целого аргумента  $t \in [0..255]$ , принимающая значения из интервала  $[0..255]$ ..

В системе реализованы две функции:

$$f_1(t) = \begin{cases} 0, & t < a \\ \lfloor ct + d \rfloor, & a \leq t \leq 255 - b \\ 255, & t > 255 - b \end{cases}, \quad \text{где } a, b \in Z, \quad 0 \leq a, b < 255, \quad a + b < 255,$$
$$c = \frac{255}{255 - a - b}, \quad d = -ca.$$
$$f_2(t) = \left\lfloor 255 \cdot \left(\frac{t}{255}\right)^\alpha \right\rfloor, \quad \text{где } \alpha > 0, \alpha \in R.$$

При воздействии функцией вида  $f_1$  фрагменты изображения с яркостью ниже  $a$  окрашиваются в черный цвет и различия между ними стираются, а фрагменты изображения с яркостью больше чем  $255 - b$  окрашиваются белым. Яркость остальных

фрагментов равномерно распределяется на отрезке  $[0..255]$ . В зависимости от выбора значений  $a$  и  $b$  функцию можно использовать для увеличения контрастности отдельных элементов изображения или для устранения искажений, вносимых при печати снимка и сканировании, когда весь диапазон яркости исходного изображения от черного до белого отображается на отрезок  $[a..255-b]$ , который необходимо линейно преобразовать в отрезок  $[0..255]$ , что более соответствует исходному изображению.

Функция вида  $f_2$  устраняет нелинейные искажения яркости, характерные для некоторых видов фотопленок.

*Методы фильтрации* позволяют устранять шумы различного вида, повышать контрастность изображения, подчеркивать границы однородных областей, сглаживать изображение, размывать его и т.д. Алгоритмов фильтрации существует великое множество, и выбор конкретного алгоритма определяется из потребностей задачи. При дешифрировании почв пойменных ландшафтов были использованы линейные и нелинейные фильтры. Линейная фильтрация выражается соотношением:

$$g(x, y) = \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M h(x, y, i, j) f(x+i, y+j)$$

Это соотношение характеризует связь исходного изображения  $f(x, y)$  и изображения

$g(x, y)$ , подвергнутого фильтрации  $h(x, y, i, j)$  [1].

Различные виды линейных фильтров отличаются своими весовыми функциями и нормирующими коэффициентами. Обычно используются апертуры размером  $3 \times 3$  элемента; увеличение размеров апертуры увеличивает объем вычислений, в то время как качество обработки улучшается незначительно.

Для очистки изображения от высокочастотного шума в системе используется следующая разновидность функции  $h(i, j)$ :

$$h(0,0) = \frac{1}{4} \quad h(1,0) = h(0,1) = h(0,-1) = h(-1,0) = \frac{1}{8}$$

$$h(1,1) = h(1,-1) = h(-1,1) = h(-1,-1) = \frac{1}{16}$$

Для получения изображения с более резкими краями использована функция  $h(i, j)$ :

$$h = (0,0) = b \quad h(-1,0) = h(0,-1) = h(0,1) = h(1,0) = a$$

*Нелинейная фильтрация* обеспечивает очищение от шума участков, расположенных внутри определённых областей изображения, не вызывая при этом размывания его краёв. В данной задаче использован гистограммный *медианный фильтр* с выбором размера окна в интерактивном режиме. При нахождении медианы реализован алгоритм Ч. Хоара для поиска  $k$ -го наибольшего элемента.

Основная цель операций *подчеркивания контуров* на снимках — более четкое выделение границ дешифрируемых объектов, линеаментов и других линейных объектов. Чаще всего эти операции основаны на различиях в яркости пикселей соседних объектов.

Предлагается 10 способов выполнения этой операции. Для этого просматривается каждый пиксель снимка вместе с его окрестностью, которую можно представить в виде матрицы размером  $3 \times 3$ :

A	B	C
D	E	F
G	H	I

E - яркость анализируемого пикселя.

В каждом из 10 способов E заменяется на новое значение, вычисленное по одному из правил [2];

1.  $MAX[ABS(F-E), ABS(H-E)]$
2.  $ABS(F-E) + ABS(H-E)$
3.  $MAX[0, D+F+B+H-4E]$
4.  $ABS[D+F+B+H-4E]$
5.  $MAX[0, D+F-2E, B+H-2E]$
6.  $MAX[ABS(D+F-2E), ABS(B+H-2E)]$
7.  $[(A+B+C-G-H-I)**2+(C+F+I-A-D-G)**2]**0,5$
8.  $ABS(A+B+C-G-H-I) + ABS(C+F+I-A-D-G)$
9.  $MAX[ABS(A+B+C-G-H-I), ABS(C+F+I-A-D-G)]$
10.  $ABS(MEAN - MEDIAN)$

В первых двух способах вычисляются первые производные по двум ортогональным направлениям. В пределах изображения с однородными значениями яркости вычисляемые разности будут близки к нулю, а на границе двух областей с различными значениями яркости будет скачок, и граница изобразится более светлыми точками. Таким способом подчеркиваются вертикальные и горизонтальные участки линии контура.

Способы 3 и 4 используют вычисления вторых производных (лапласиан  $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$ ).

Для участков изображения с близкой яркостью значение лапласиана равно нулю, а при существенных различиях в яркости соседних точек, когда вторая производная отлична от нуля, его значение не равно нулю.

В соотношениях 5 и 6 также используются величины вторых производных, вычисляемые по двум ортогональным направлениям.

Следующие способы используют вычисление для каждого пикселя производной в направлении наиболее быстрого изменения яркости на изображении (по градиенту). Для тех же случаев применяется замена квадратного корня из суммы квадратов разностей суммой абсолютных значений (способы 7 и 8). Еще один вариант такого подхода, обеспечивающий большую симметрию, использует попарные разности значений яркости пикселей, расположенных по обе стороны от пикселя E (способ 9).

Вместо вычисления производных можно использовать распределение значений яркости в соседних областях снимка. Способ 10 основан на сравнении среднего и медианного значений, вычисленных по окрестности пикселя.

*Алгоритмы классификации без обучения – кластеризации* – позволяют формально расчленять изображение, не прибегая к обучающим данным. В этом случае элементы изображения объединяются в группы – кластеры – по какому-либо формальному признаку (мере близости) без учета их содержательного значения. В качестве критерия близости используется расстояние в метрическом пространстве признаков. В процессе кластеризации стремятся, чтобы расстояния между пикселями одного кластера были минимальными, а между пикселями разных кластеров – максимальными. Кластеры, полученные в результате автоматической группировки пикселей, дешифровщик соотносит с типом объектов, с легендой проектируемой тематической карты.

*Алгоритмы классификации с обучением* учитывают априорную информацию о значениях спектральных характеристик эталонных объектов (эталонных значениях их спектрального образа), от качества которой зависит точность классификации. При разработке алгоритмов классификации с обучением используются детерминированный и статистический подходы. Детерминированный подход применяется, как правило, когда классы объектов не пересекаются в пространстве признаков. В этом случае области решения могут быть выделены линейными границами, которые характеризуются линейными разделяющими (дискриминантными) функциями. Каждая дискриминантная функция характеризует свой класс дешифрируемых объектов и строится так, что для пикселей своего класса она принимает положительное значение, а чужого — отрицательное.

После проведения сегментации проводится вычисление характеристик, соответствующих кластерам, таких как вычисление площадей, периметров участков

изображений, отнесенных к данному кластеру, коэффициента расчленения, коэффициентов по шкале по отношению к фоновому и др. Для этого производится индексация кластеров в соответствии с расчетными таблицами индексов почвенных ареалов. Поскольку индексация производится вручную, то ее должен проводить опытный оператор, чтобы правильно сопоставить тип почвы, отнесенный к данному кластеру, с заданным индексом.

### ***Дешифрирование почв пойменных ландшафтов***

С использованием данной автоматизированной системы были выполнены исследования возможностей дешифрирования по аэрофотоснимкам почв пойменных ландшафтов. Для дешифрирования был выбран ключевой участок «Оревичи», расположенный в нижнем течении реки Припяти. В исследованиях использовался чёрно-белый аэрофотоснимок, отпечатанный с панхроматической плёнки летнего залёта (июль).

Достоверность дешифрирования пойменных почв определяется полнотой объективно существующих в природе взаимосвязей между почвами и факторами почвообразования, основными из которых для пойменных ландшафтов являются растительность и рельеф [3,4,5]. Поэтому перед выполнением классификации оцифрованного изображения был выполнен анализ рельефа по рисунку горизонталей (рис.1).

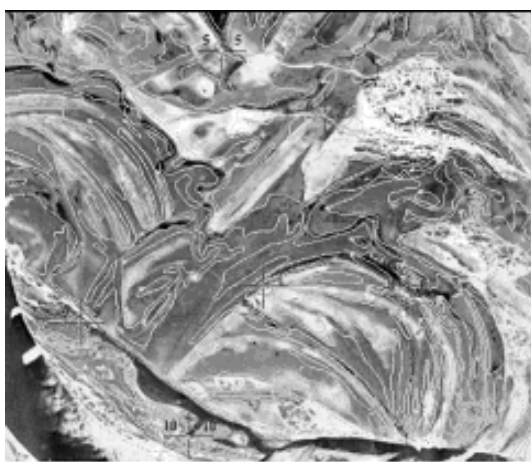


Рис.1. Отображение рисунка горизонталей

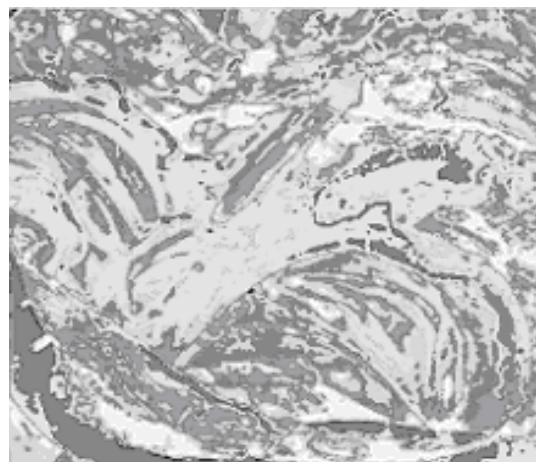


Рис.2. Кластерное изображение ключевого участка «Оревичи»

Проведенный анализ позволил проследить корреляцию между тоном фотоизображения и рисунком горизонталей, а также выделить основные элементы и формы рельефа, являющиеся индикаторами почвенного покрова. Более светлым тоном фотоизображения на снимке изображаются повышенные элементы рельефа, более тёмным – пониженные. Так, вершины высоких грив и холмообразных повышений имеют светлый тон фотоизображения, вершины плоских холмов и грив и пологие склоны высоких грив – светло-серый, нижние части склонов, плоские гривы и выположенные ложбинообразные понижения – серый, выровненные понижения, западины – серый и тёмно-серый, западины и плоские понижения притеррасной части поймы – тёмно-серый, староречья и межгривные понижения – тёмный тон фотоизображения. Частые изменения рельефа влекут за собой смену растительности и почв.

Ранее проведёнными исследованиями [6] установлено, что дешифрирование почвенного покрова пойменных ландшафтов позволяет в камеральных условиях визуально выделить 6 групп контуров, различающихся по тону, форме, размеру, рисунку и структуре фотоизображения, т. е. по комплексу прямых дешифровочных признаков. В

разработанной автоматизированной системе для разделения изображения на классы используется только один признак - тон фотоизображения, что существенно ограничивает достоверность результатов при такой классификации.

После проведения процедуры классификации с обучением на цифровом изображении было выделено 7 кластеров, различающихся по тону фотоизображения. Основанием для разбиения изображения на 7 кластеров явились выявленные при визуальном дешифрировании шесть групп контуров, различающиеся по своим дешифровочным признакам, наличие водных поверхностей обусловило необходимость выделения 7-го кластера.

Полученное кластерное изображение ключевого участка «Оревичи» представлено на рис. 2. Результаты классификации показали, что:

Первый кластер (средняя яркость пикселей - 243) соответствует группам контуров от светлого до чисто белых тонов. Близким к белому тону изображаются **пойменные неразвитые песчаные почвы**, не покрытые растительностью. В основном, они формируются у русла рек ("пляжные пески"), а также отдельными контурами разбросаны в прирусловой и центральной части поймы.

Второй кластер (средняя яркость пикселей - 225) соответствует также светлому тону фотоизображения, который характерен для **пойменных дерновых оглеенных внизу почв**, по рельефу приуроченным к высоким прирусловым валам, узким гривам и холмообразным повышениям. В растительном покрове преобладают булавоносцевые с очитком едким фитоценозы. Проективное покрытие луговой растительности невысокое (20-30 %). Распространены почвы этой группы преимущественно в прирусловой части, а также на участках поймы с гривистым рельефом. Иногда среди светлого тона фотоизображения имеется тёмный крап, что вызвано наличием отдельных кустов ивы. Из-за другой тональности этот крап был выделен в составе 3-го кластера.

Третий кластер (средняя яркость пикселей - 187) соответствует светло-серому тону фотоизображения. В данный кластер вошли, в основном, **пойменные дерновые временно избыточно увлажняемые почвы**. По рельефу - это плоские гривы и склоны высоких грив или невысокие плоские холмы (в виде островов). По сравнению с почвами предыдущего кластера, у этих почв более мощный перегнойный горизонт, а также лучшие водно-физические свойства, что способствует более широкому развитию луговой растительности, проективное покрытие составляет 35-45 %. Преобладают разнотравно-келериево-полевишные с очитком едким и луговаястребинково-настоящеподмаренниковые-полесскоовсяничные фитоценозы. Характерными дешифровочными признаками этих почв при визуальном дешифрировании является наличие более тёмных, с зернистым рисунком узких полос (поросли ивы и ольхи) по краям контуров, на границе с другими почвами. При цифровой обработке данные полосы, имеющие более тёмный тон фотоизображения, выделяются в составе другого кластера (4-го).

Четвертый кластер (средняя яркость пикселей - 154) - серый тон фотоизображения, соответствует **пойменным дерново-глееватым песчаным и супесчаным почвам**. Контуры серого тона встречаются по всей территории поймы, имеют различную конфигурацию и площадь, чаще имеют вытянутую форму. Они занимают нижние части склонов, выположенные западины, плоские гривы. Эти почвы имеют более мощный перегнойный горизонт с содержанием гумуса до 4.5 %. Благоприятные почвенные условия способствуют развитию более богатой луговой растительности, представленной красноовсянично-полесско-овсянично-лисохвостолуговыми, красноовсянично-едкоочитковыми и белоусовыми ассоциациями. Проективное покрытие составляет 50-65 %. Преобладание в верхнем ярусе травостоя овсяницы красной и вейника ланцетолистного создаёт на аэрофотоснимках ровный серый тон с мелким крапом (кусты ивы).

Пятый кластер (серый и тёмно-серый тон фотоизображения, средняя яркость пикселей - 128) соответствуют **пойменным дерново-глеевым почвам** с разнотравно-незамечаемо-вейниковыми ассоциациями. По рельефу эти почвы приурочены к межгрядным понижениям, а также занимают плоские, выровненные участки поймы. Проективное покрытие составляет 70-80 %. Форма контуров различная.

Шестой кластер (средняя яркость пикселей - 102) соответствует группе контуров тёмно-серого тона, которые по положению в рельефе приурочены к выровненным пространствам и западным понижениям, где формируются **пойменные дерново-перегнойно-глеевые и торфяно-болотные почвы**. Растительность представлена двумя наиболее широко распространенными ассоциациями: канареечничково-остроосоковой и остроосоковой. Проективное покрытие составляет 75 - 85 %. Однако на отдельных контурах, приуроченных к западным понижениям, имеется зернистый рисунок фотоизображения. Зернистость увеличивается и в центральной части контуров. Это объясняется тем, что травяной покров неравномерный, произрастает на кочках, участки, не покрытые растительностью, переувлажнены, а иногда на их поверхности стоит вода, и они изображаются более тёмным тоном, чем растительность.

В шестой кластер вошли также контуры тёмного и тёмно-серого тона, которые соответствуют **пойменным дерновым иловато-глеевым почвам**, приурочены к староречьям, старицам и глубоким межгрядным понижениям. Наиболее широко распространена ситнягово-водноглицириевая ассоциация. Участки с этой ассоциацией переувлажнены, иногда вода стоит на поверхности. Травостой разреженный, проективное покрытие 40 - 45 %.

В седьмой кластер (средняя яркость пикселей - 64), соответствующий наиболее тёмному тону фотоизображения, вошли, в основном, **водные поверхности**.

### ***Заключение***

Таким образом, обработка аэрофотоснимка ключевого участка «Оревичи» с помощью автоматизированной системы позволила выделить контуры пойменных почв, различающиеся по тону фотоизображения, а также на основе анализа взаимосвязей почвенного покрова с растительностью и рельефом определить классификационную принадлежность выделенных контуров.

### ***Литература***

1. V.V.Konakh, A.A.Topaz. Automating the Process of Soil Maps Construction. Pr. IY-th Intern. Conf. "PRIP'2001", Minsk, 2001.
2. Космические методы изучения среды. Автоматизированный аэрокосмический практикум. Под ред. А.П. Капицы, Ю.Ф. Кинненикова. – М.: Изд-во МГУ, 1990.
3. Лепешев А.А. Дешифрирование аллювиальных почв по контактными крупномасштабным аэрофотоснимкам // Почвоведение и агрохимия. Вып. 12.– Мн.: Урожай, 1975.
4. Соловей И.Н., Шалькевич Ф.Е. Дешифрирование на аэрофотоснимках пойменных почв в районе нижнего течения Припяти // Почвенные исследования и применение удобрений. Вып. 7. – Мн.: Урожай, 1976.
5. Трифонова Т.А. Типология пойменных земель на основе комплексного дешифрирования аэрофотоснимков (на примере среднеобской поймы). – Автореф. дисс... канд. биол. наук. – М., 1975.
6. Шалькевич Ф.Е. Использование аэрометодов при изучении почв. Автореф. дис... канд. биол. наук. – М., 1981.