

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОБЪЕКТОВ ПО ЦИФРОВЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

М.А. Куприянов

Автономное учреждение Ханты-Мансийского автономного округа – Югры "Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий"

В последние два десятилетия активно развиваются спутниковые методы дистанционного зондирования Земли. Всё чаще в научных работах приводятся численные оценки различных характеристик объектов и явлений полученных на основе обработки спутниковых данных. Например, в работе [1] даются оценки площади и численности озёр на Земле, в [2] измеряются лесные площади пройденные пожарами, в [3] оценивается изменение площади лесов в восточной Европе. В связи с этим актуальной является задача исследования точности численных оценок, полученных по данным дистанционного зондирования Земли из космоса.

Целью данной работы является исследование погрешности определения площади объектов на цифровом изображении.

Для проведения исследования с использованием программного обеспечения ArcGIS была создана модель, позволяющая генерировать векторные объекты случайность формы с заданной площадью. Идея модели заключается в формировании 10 случайных точек с равномерным распределением из которых путём последовательного соединения линией образуются полигоны. Генерирование объектов проводилось по следующему алгоритму:

1. Создание полигональной сетки, состоящей из n элементов.
2. Создание десяти случайных точек в каждом n -ом элементе полигональной сетки.
3. Преобразование точек в полигоны.
4. Сглаживание границ полигонов.
5. Устранение отверстий в полигонах.
6. Масштабирование полигонов к заданной площади.

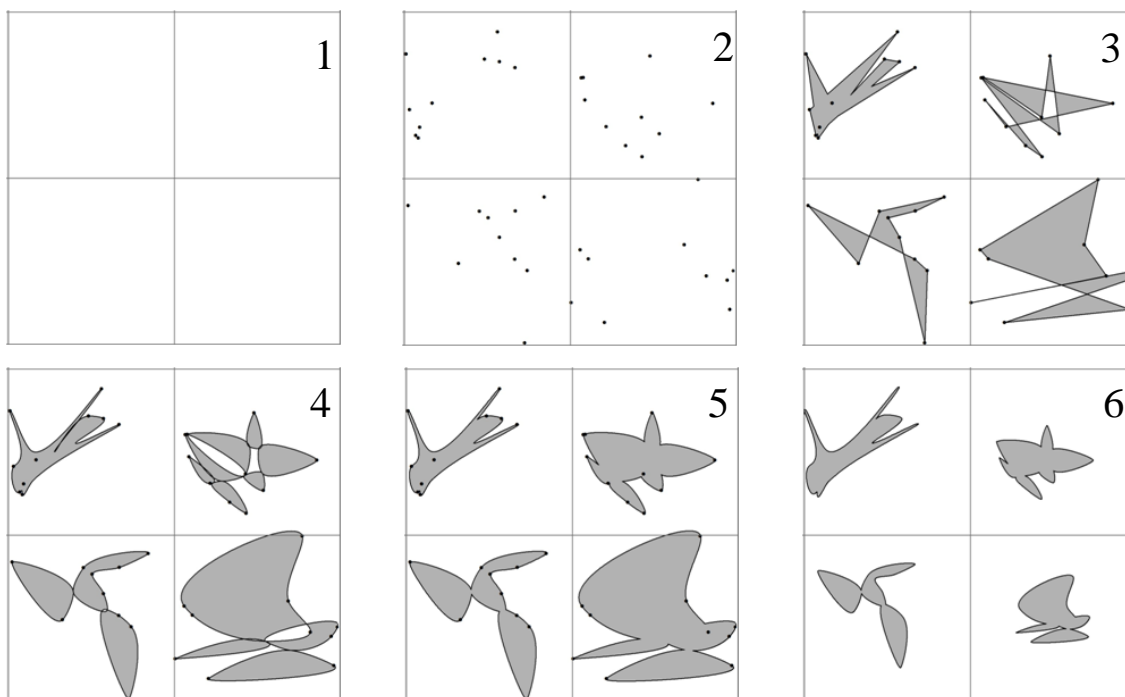


Рис. 1. Промежуточные результаты работы алгоритма генерирования полигональных объектов

На рис. 1 дана иллюстрация последовательности шагов алгоритма (от 1 до 6). Разработана методика исследования, включающая 3 этапа:

1. Генерирование векторных объектов.
2. Растеризация объектов (конвертирование из векторного в растровый формат данных).
3. Статистический анализ данных.

На этапе генерирования векторных объектов было создано 5 тыс. модельных объектов, их площадь варьировалась в пределах от 9 999,962 до 10 000,003 м². Такая вариативность площади объектов в сравнении с площадью пикселя пренебрежимо мала, поэтому при расчётах площадь объектов приравнивалась к эталонной (10 000 м²).

На этапе растеризации объектов устанавливалось фиксированное пространственное разрешение изображения (фиксированный размер пикселя), после чего объекты конвертировались в растровый формат данных. Для растеризации каждого объекта использовались следующие значения пространственного разрешения (в метрах): от 75 до 5 с шагом 5; от 5 до 1 с шагом 1; 0,5.

Пиксели, суммарная площадь которых покрывалась векторным контуром менее чем на 50%, не учитывались при определении площади растеризованных объектов. На рис. 2 приведён пример растеризации векторного объекта (показан жирной чёрной линией) в растровый формат данных. Как видно на рисунке, всего 4 пикселя накрываются полигональным объектом более чем на 50%, остальные 11 пикселей покрыты менее чем на 50%, они не будут учтены при определении площади объекта после процедуры растеризации. Площадь растеризованных объектов определялась по формуле:

$$S_{и} = N \times L^2,$$

где $S_{и}$ – площадь растеризованного объекта, м²;

N – количество пикселей в растеризованном объекте;

L – пространственное разрешение изображения, м.

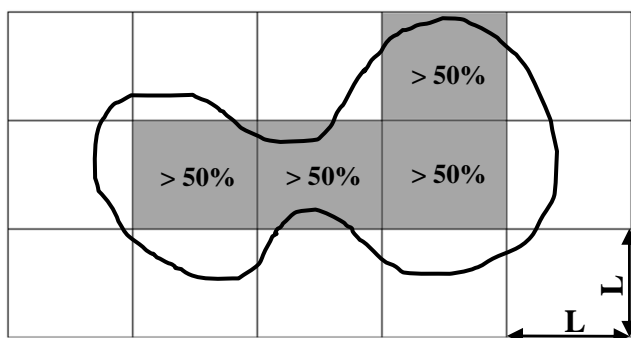


Рис. 2. Пример растеризации векторного объекта

На этапе статистического анализа было получено аппроксимирующее уравнение зависимости относительной погрешности определения площади растеризованных объектов от количества пикселей в растеризованном изображении объекта. Относительная погрешность определения площади растеризованных объектов рассчитывалась по формуле:

$$\delta = 3 \times \sigma / S_p,$$

где δ – относительная погрешность определения площади растеризованных объектов (в процентах);

σ – среднееквадратичное отклонение площади растеризованных объектов, м²;

S_p – заданная площадь векторных объектов (эталонная), м².

На рис. 3 приведён график зависимости δ от N . График построен в двойном логарифмическом масштабе, что позволяет степенную функцию представить в виде прямой линии. Как следует из графика, для определения площади объекта на цифровом изображении с погрешностью 10% необходимо, чтобы количество пикселей в объекте составляло около 55 шт. Например, для достижения указанной погрешности (10%), при использовании мультиспектральных космических снимков Landsat 8 (пространственное разрешение 30 м), необходимо, чтобы площадь измеряемого объекта составляла около 50 000 м².

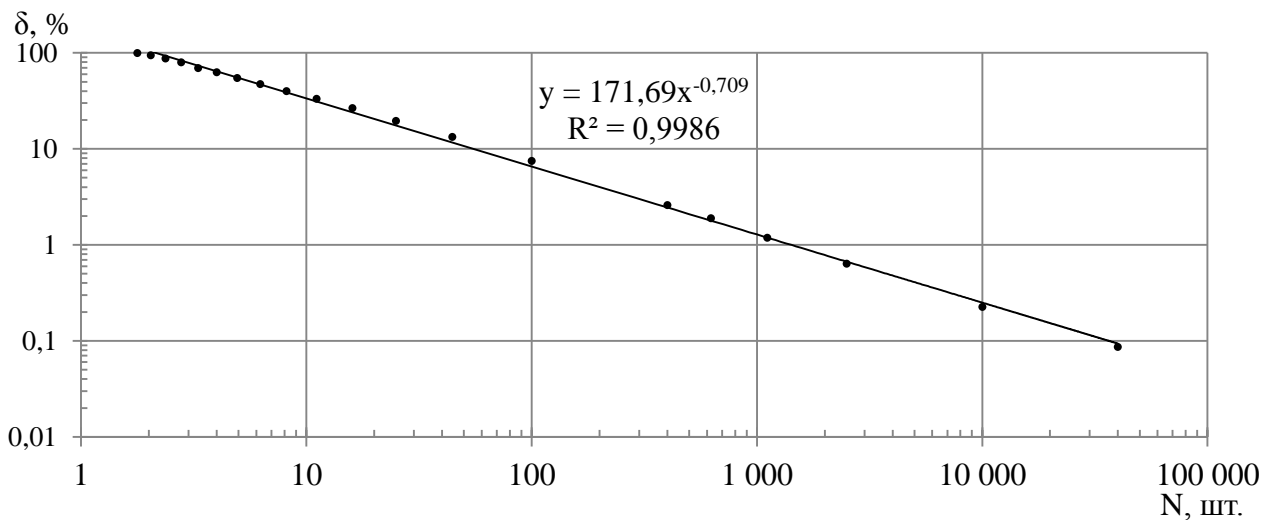


Рис. 3. Зависимость относительной погрешности измерения площади на цифровом изображении от количества пикселей, приходящихся на измеряемый объект

На практике для расчёта относительной погрешности определения площади по цифровым изображениям необходимо использовать формулу:

$$\delta = a \times (S_{\text{и}} / L^2)^b,$$

где δ – относительная погрешность измерения площади объекта (в процентах);

$S_{\text{и}}$ – измеренная площадь объекта, м²;

a – безразмерный коэффициент, равный 171,69;

L – пространственное разрешение цифрового изображения, м;

b – безразмерный коэффициент, равный -0,709.

Представляет интерес сравнить наши результаты с результатами полученными на основе реальных измерений площади в исследовании [4]. В работе дана оценка относительной погрешности определения площади водоёмов по космическим снимкам. Методика оценки погрешности заключалась в сравнении измерений, произведённых с использованием снимков различного пространственного разрешения (среднего и высокого). В табл. дано сравнение полученных результатов, для этого рассчитано относительное изменение погрешности определения площади по формуле:

$$\Delta = (\delta_1 - \delta_2) / \delta_1,$$

где Δ – относительное изменение погрешности определения площади;

δ_1 – погрешность определения площади водоёмов на космических снимках по реальным данным [4];

δ_2 – погрешность определения площади по данным автора.

Как видно из таблицы, по нашим результатам с уменьшением площади объекта погрешность измерения увеличивается быстрее, чем по результатам [4] (при неизменном L). На наш взгляд, это может быть вызвано двумя обстоятельствами: методикой проведения исследования и различной природой изучаемых объектов. Методика исследования в [4] подразумевает сравнение площадей водоёмов определённых путём дешифрирования космических снимков, что отличается от выбранной нами методики моделирования. В настоящем исследовании моделировались объекты случайной формы, а в [4] изучались объекты преимущественно округлой формы (озёра), извилистость которых значительно меньше, чем у случайных объектов. Очевидно, что чем больше извилистость объекта, тем больше погрешность определения площади по цифровым изображениям.

Таблица 1. Сравнение результатов анализа с данными [4]

Площадь, м ²	δ , % (при L = 30)		Δ , %
	По данным [4]	По данным автора	
10 000 000	0,24	0,23	3,2
1 000 000	1,05	1,19	-13,3
100 000	4,57	6,09	-33,2

В результате исследования установлена зависимость между погрешностью определения площади случайного объекта и количеством пикселей из которых состоит измеряемый объект на цифровом изображении. Полученная в настоящей работе формула может быть использована для определения относительной погрешности измерения площади объектов случайной формы по цифровым изображениям.

Литература

1. Verpoorter, C., T. Kutser, D. A. Seekell, and L. J. Tranvik (2014), A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 6396–6402, doi:10.1002/2014GL060641.
2. Liu W, Wang L, Zhou Y, Wang S, Zhu J, Wang F. A comparison of forest fire burned area indices based on HJ satellite data *Natural Hazards*. 81: 971-980. DOI: 10.1007/s11069-015-2115-x
3. Potapov P.V., Turubanova S.A., Tyukavina A., Krylov A.M., McCarty J.L., Radeloff V.C., Hansen M.C Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive. *Remote Sensing of Environment*, 2014. DOI:10.1016/j.rse.2014.11.027
4. Корниенко С.Г. Оценка погрешности измерения площади водоемов в криолитозоне по данным космической съемки различного пространственного разрешения // *Криосфера Земли*, 2014, т. 18, № 4, с. 86–93.