

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ
КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЭКРАНОЗЕМОВ МОСКОВСКОЙ
АГЛОМЕРАЦИИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ LANDSAT

© 2013 г. И. Ю. Савин

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, Москва
Аграрный факультет Российского университета дружбы народов, Москва*

E-mail: savigory@gmail.com

Поступила в редакцию 10.03.2013 г.

Использование метода последовательной классификации с обучением позволило осуществить дешифрирование экраноземов по спутниковым данным Landsat. Оказалось, что площадь данных почв в некоторых районах Подмосковья достигает 10–20%. Анализ изменений площади экраноземов в районе г. Москва по спутниковым данным Landsat за период с 1986 по 2011 гг. позволил выявить регионы, где почвенный покров претерпел наиболее значительные изменения за счет увеличения площади экраноземов. Полученные результаты могут служить основой для корректировки и обновления почвенных карт, а также для моделирования антропогенного воздействия на почвенный покров и его последствий для окружающей среды.

Ключевые слова: Landsat, городские почвы, экраноземы, Московская агломерация

DOI: 10.7868/S0205961413050084

ВВЕДЕНИЕ

Почвенный покров Земли в значительной мере изменен человеком. Насчитывается 12 видов деградации почв, которая провоцируется антропогенным воздействием (Oldeman et al., 1991). По данным международного проекта изучения антропогенной деградации земель мира GLASOD, около 15% всех почв в настоящее время в той или иной степени деградировано. По данным Государственной почвенно-географической базы данных России деградированные почвы занимают около 14.5% всей территории страны (Столбовой и др., 1999).

Деградация почв ведет к изменению или полному уничтожению многих важных функций почв, среди которых наиболее существенное значение имеют функции почвенного плодородия и поддержания экологического равновесия в биосфере. Значительная нарушенность этих функций ведет к проблемам с производством с.-х. продукции и ухудшением экологической обстановки.

В наибольшей степени нарушены почвы городов. Причем нарушения носят разный характер. Одним из наиболее распространенных типов нарушенности городских почв является их “запечатанность” (Прокофьева, 1998). Под “запечатанностью” почв понимают срезание их верхних горизонтов и покрытие оставшейся части профиля почв асфальтом или строениями. В результате

почвы теряют как свое плодородие, так и экологические функции, поскольку в этом случае нарушаются процессы энерго- и массообмена почвы с атмосферой. Подобные запечатанные почвы называют экраноземами. Площади этих почв в городах могут достигать десятки процентов (Синцов, Бармин, 2011).

Для картографирования и мониторинга подобных почв наиболее оптимальным выглядит использование данных дистанционного зондирования (ДЗ) Земли, так как теоретически застроенные территории обычно достаточно легко выделяются на космических изображениях визуально. Предложено достаточно много спектральных индексов, на основе которых предлагается выделять урбанизированные территории (в большой степени аналог экраноземов) (Stathakis, 2011; Статакис и др., 2012). Но практически все предложенные подходы региональны, или же не дают точности, достаточной для организации многолетнего спутникового мониторинга площадей подобных почв.

Целью данной статьи было картографирование экраноземов самой большой городской агломерации России – Московской, – на основе анализа изображений, полученных со спутника Landsat (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/landsat5.html>).

Таблица 1. Основные характеристики сканера Landsat TM

Номер канала	Спектральный диапазон, мкм	Пространственное разрешение, м	Полоса обзора, км	Повторяемость съемки одной территории, сут
1	0.45–0.515	30	185	16
2	0.525–0.605	30		
3	0.63–0.690	30		
4	0.75–0.90	30		
5	1.55–1.75	30		
6	10.40–12.5	120		
7	2.09–2.35	30		

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

В настоящее время в Московскую агломерацию входит более 70 городов. Некоторые из них имеют население более 100 тыс. человек и имеют свои микроагломерации. Население территории Московской агломерации (в зоне в радиусе 70 км от московской кольцевой автодороги (МКАД)) оценивается в 14.5–17.4 млн чел. (Лаппо и др., 2010), а плотность населения превышает 1000 чел. на км² (Глушкова, 1992).

Московская агломерация сформировалась достаточно давно. В советское время процесс ее развития был сильно зарегулирован административными барьерами. Но после распада СССР многие барьеры для развития были устранены и за последние 20–30 лет в развитии Московской агломерации произошли достаточно большие изменения. В настоящее время зонами сплошной застройки или строительства по некоторым направлениям от Москвы почти непрерывно покрыты десятки километров. Реализуется ряд проектов, связанных с формированием городов-спутников Москвы (Домодедово, Константиново). Планируется, что количество вновь построенных городов в Московской агломерации может достигнуть 12. Знаковым стало решение правительства Московской области (МО) о строительстве в Подмоскovie линий метрополитена, вписанное в генеральный план развития области. Наиболее сильный толчок развитию агломерации должны дать присоединение к Москве новых территорий и их развитие в ближайшие десятилетия. Москва является мировым городом второго порядка в качестве центра культуры, науки, банковской деятельности (Саломаткин, 1995). Благодаря этому Московская агломерация имеет дальнейшие большие перспективы для своего развития в отличие от многих агломераций страны, возникновение которых было в

основном связано с развитием исключительно промышленного производства.

Картографирование экраноземов Московской агломерации было осуществлено на основе анализа изображений, полученных со спутника Landsat TM 5. Основные характеристики съемочной аппаратуры данного спутника представлены в табл. 1.

Анализ архива спутниковых данных на сайте <http://glovis.usgs.gov/> показал, что на территорию Московской агломерации за все время съемок данным спутником доступно лишь шесть–семь полностью безоблачных сцен. Для анализа были выбраны сцены, полученные 28.08.2011 г. и 07.08.1986 г. Таким образом, территория исследований была ограничена одной сценой Landsat (рис. 1).

Для решения задач дешифрирования экраноземов в данной географической зоне более оптимальными могли бы быть сцены, полученные в октябре, но практически все сцены этого периода съемки оказались с облаками.

Атмосферная коррекция отобранных изображений для исключения влияния дымки и запыленности атмосферы была проведена по методу SMAC (Rahman, Didieu, 1994).

Точность географической привязки сцен Landsat оценивается на основе набора реперных точек (около 2000 точек на сцену). Для сцены 28.08.2011 г. стандартное отклонение составило 0.162 пиксела при RMSE = 0.234, для сцены 07.08.1986 г. соответственно стандартное отклонение 0.171 и RMSE = 0.239.

Для выделения экраноземов использовался метод пошаговой классификации с обучением. Обучающие выборки формировались с использованием трех каналов съемки (1, 3 и 7), использование которых оказалось наиболее информативным. В

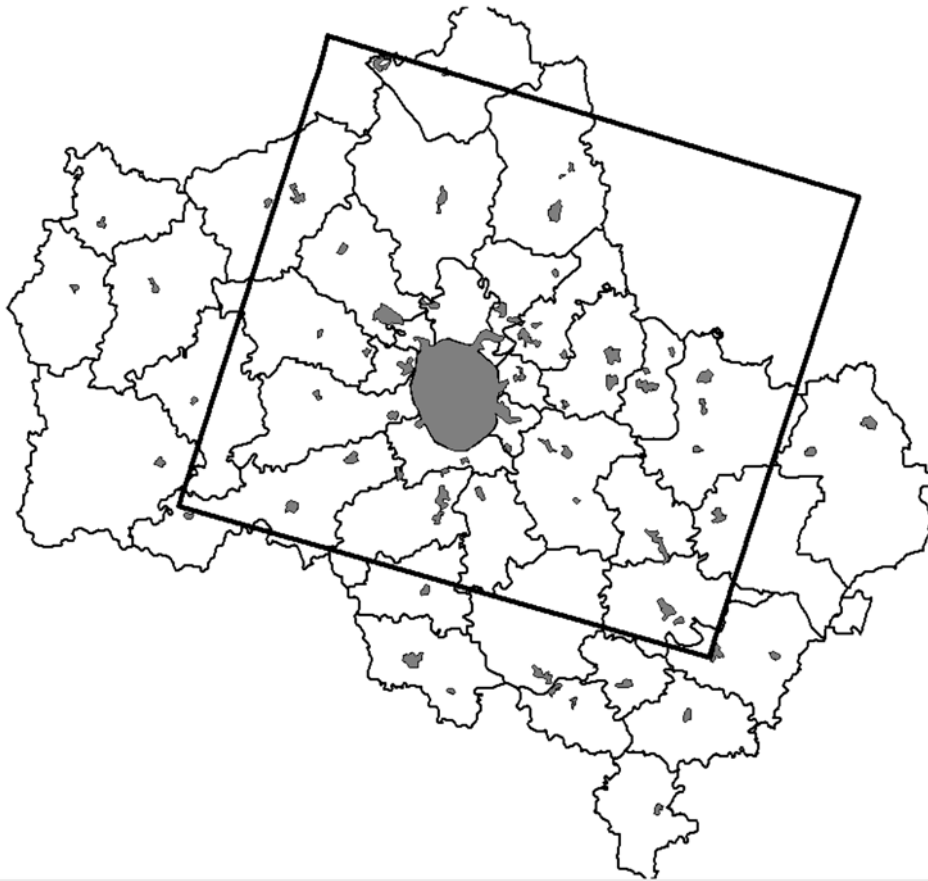


Рис. 1. Регион исследований (серым цветом обозначены основные населенные пункты, тонкие черные линии – границы административных районов (до расширения Москвы), толстая черная линия – регион исследований).

качестве решающего правила использовался метод максимального сходства. Обучающая выборка для класса экраноземов на первом этапе анализа создавалась с большим припуском, – таким образом, чтобы в этот класс попали все экраноземы, а также другие объекты, схожие с ними по спектральным характеристикам (в основном открытая поверхность почв). После этого все другие выделяемые классы наземного покрова (вода, леса, кустарники, луга, болота, с.-х. культуры) маскировались, и на втором этапе строилась новая обучающая выборка для классификации внутри “грязного” класса экраноземов, полученного на первом этапе классификации. Затем данная процедура повторялась несколько раз с целью пошаговой ректификации дешифрируемого класса экраноземов. В результате подобного подхода была получена бинарная карта экраноземов для изображения 2011 г.

Для проверки точности классификации случайным образом была создана выборка точек на территорию исследований, для которых по данным космической съемки высокого разрешения определялся объект, на который они попадают (экрanoземы или другие классы наземного покрова). Для этого были использованы фрагменты

изображений Quickbird за 2009–2010 гг. на отдельные участки территории исследований, после чего эти точки были наложены на результат классификации экраноземов 2011 г. и была оценена точность проведенной классификации.

Далее подобная же процедура была осуществлена для спутниковой сцены 1986 г. После наложения результатов дешифрирования для этих двух сроков была получена карта изменений, произошедших в распространении экраноземов за период с 1986 по 2011 г.

Результаты анализа изменений были интегрированы на уровень административных районов МО с использованием ГИС “Почвы Московской области” (Савин и др., 2002).

Весь анализ был осуществлен с использованием пакета прикладных программ ILWIS v.3.3 (<http://www.ilwis.org/>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты классификации экраноземов по изображению 2011 г. представлены на рис. 2. Матрица ошибок классификации приведена в табл. 2.

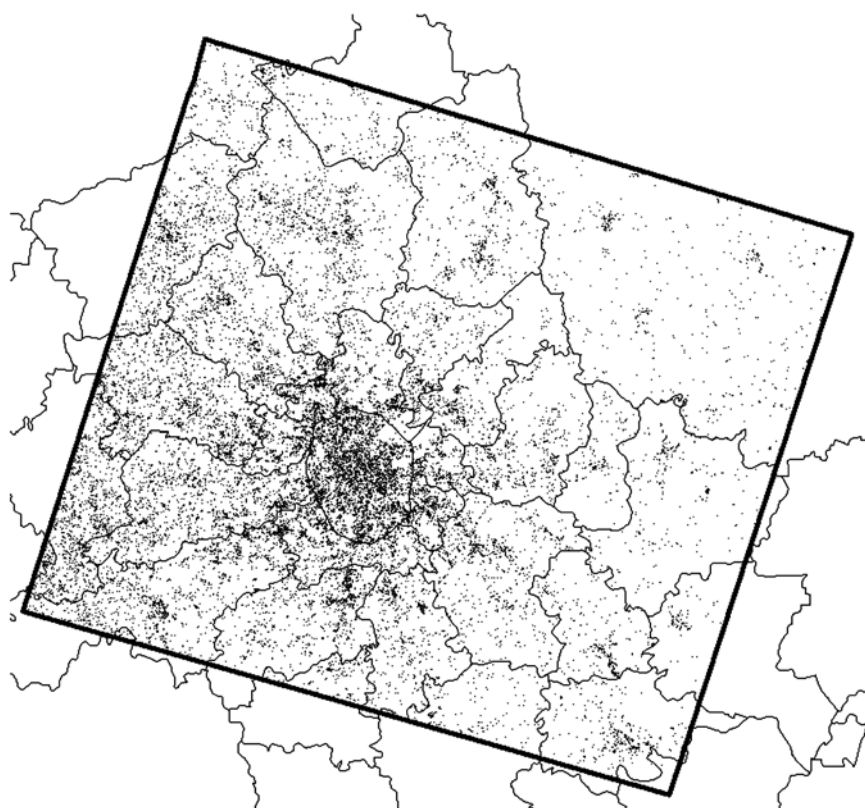


Рис. 2. Результат дешифрирования экраноземов (черные пиксели) по спутниковому изображению 28.08.2011 г.

В соответствии с данными табл. 2 общая точность классификации составляет около 97%. В этой оценке, конечно же, решающая роль принадлежит большому объему точек других классов. Однако точность пользователя также близка к этой величине (97%), а точность продюсера составляет 90%, т.е. величина ошибки пропуска данных для класса экраноземов составляют около 10%, а ошибки переклассификации – около 3%. Таким образом, результаты классификации можно признать вполне удовлетворительными.

Распределение площадей экраноземов в разрезе некоторых административных районов МО и Москвы (в пределах МКАД), которые целиком или частично находятся в пределах региона исследований, показано в табл. 3.

Из табл. 3 следует, что доля площади экраноземов в некоторых районах области от общей площади района превышает 10%, а в Москве, в пределах МКАД, она в 2011 г. превышала 30%.

Достаточно большие площади экраноземов в Московской агломерации требуют их отражения на почвенных картах. Традиционно на почвенных картах среднего масштаба отражаются преобладающие почвы, а сопутствующие показываются (условными знаками или индексом) в случае, когда их площадь в почвенно-картографическом выделе превышает 10% (Составление..., 1990). Иными словами, в случае с экраноземами, если они не образуют ареалов, которые могут быть показаны на карте в виде отдельного контура, их присутствие должно быть отражено на карте, если их площадь в почвенно-кар-

Таблица 2. Матрица ошибок классификации экраноземов

Выборка точек по данным высокого разрешения	Landsat			
	—	экрanoземы	другой класс	сумма
экрanoземы		144	16	160
другой класс		5	561	566
сумма		149	577	726

Таблица 3. Доля площади экраноземов от площади административного района МО (в границах до расширения Москвы) по изображениям 1986 и 2011 гг.

Район	1986 г.	2011.	Прирост
Балашихинский	8.70	12.68	3.98
Воскресенский	2.30	2.98	0.68
Дмитровский	3.08	5.00	1.92
Домодедовский	3.82	6.06	2.24
Егорьевский	0.39	0.47	0.07
Истринский	5.66	9.69	4.03
Клинский	2.11	3.60	1.49
Коломенский	1.79	2.43	0.64
Красногорский	9.34	15.37	6.03
Ленинский	8.68	14.96	6.28
Люберецкий	12.91	18.69	5.78
Можайский	0.83	1.47	0.65
Москва (в пределах МКАД)	20.53	31.04	10.51
Мытищинский	6.35	9.66	3.32
Наро-Фоминский	3.45	5.97	2.53
Ногинский	2.99	4.24	1.25
Одинцовский	6.42	10.47	4.05
Орехово-Зуевский	0.91	1.21	0.30
Павлово-Посадский	1.41	1.84	0.43
Подольский	4.09	6.65	2.55
Пушкинский	3.61	5.47	1.86
Раменский	3.17	4.73	1.57
Рузский	3.71	6.57	2.87
Сергиев-Посадский	1.59	2.40	0.81
Солнечногорский	4.93	7.88	2.95
Ступинский	0.61	0.96	0.35
Талдомский	1.02	1.59	0.56
Химкинский	15.32	23.59	8.27
Чеховский	0.71	1.19	0.48
Щелковский	2.95	4.02	1.07

тографическом выделе более 10%. Наложение на результаты дешифрирования выделов почвенной карты Московской области (Савин и др., 2002) (рис. 3) показывает, что для 22% всех выделов почвенной карты экраноземы, как минимум, должны быть указаны в качестве сопутствующих почв.

Дешифрирование экраноземов по изображению 1986 г. дает возможность проследить изменения, которые произошли в распространении экраноземов за последние 25 лет. Дешифрирование было осуществлено по данным одного сенсора и с использованием аналогичного подхода. Ре-

зультаты показаны на рис. 4 и в табл. 2. Согласно полученным данным, доля экраноземов с 1986 г. увеличилась практически во всех районах МО. В наибольшей степени произошло увеличение в районах, непосредственно прилегающих к МКАД. В пределах МКАД доля экраноземов за период с 1986 по 2011 г. возросла на треть и превысила 31%. Конечно же, при подобном анализе изменений необходимо учитывать точность дешифрирования экраноземов. Поэтому указанная разница в площадях последних, полученная для большинства районов области, остается статистически не

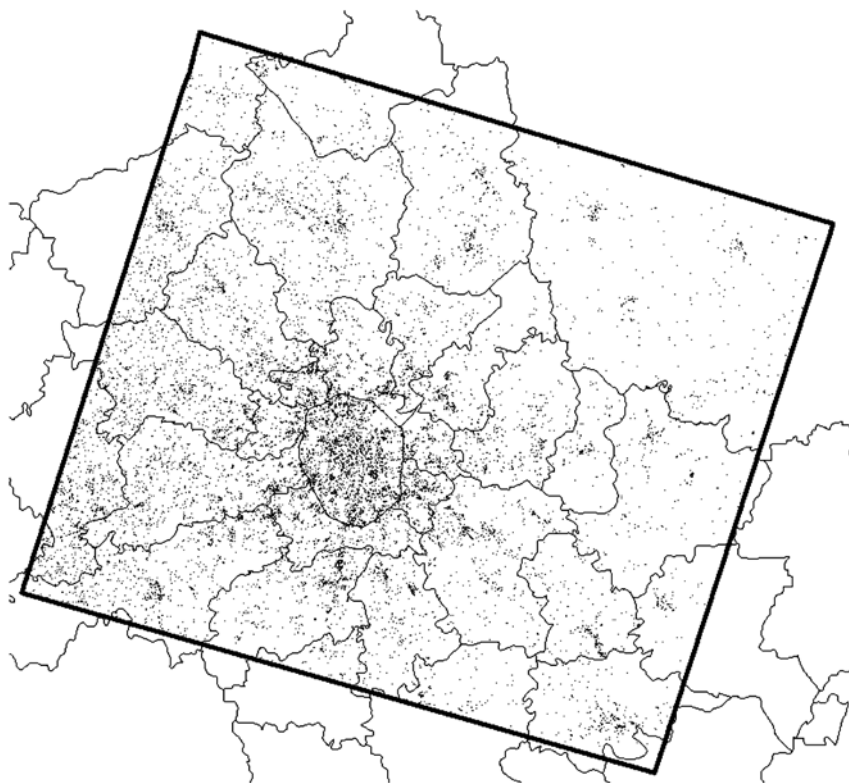


Рис. 3. Результат дешифрирования экраноземов (черные пиксели) по спутниковому изображению 07.08.1986 г.



Рис. 4. Пиксели экраноземов (черные) и выделы традиционно составленной почвенной карты (черные линии) (пример для одного из участков территории исследований).

доказанной. Тем не менее, для выявления территорий, где площади экраноземов увеличиваются более чем на 10%, разработанный подход вполне может быть применим.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получаемая информация может и должна быть использована для обновления почвенных карт региона. Новая классификация почв (Классификация ..., 2004) предполагает отражение на почвенных картах антропогенно-преобразованных почв, но до настоящего времени отсутствуют надежные подходы к картографированию этих почв. Предложенный подход позволяет дешифрировать ареалы одной из разновидностей этих почв — экраноземов.

Использование спутниковых данных Landsat позволяет дешифрировать экраноземы в условиях Московской агломерации с ошибкой, не превышающей 10%.

Результаты дешифрирования показали, что в отдельных районах МО доля экраноземов достигает 10% и более, а около 22 выделов почвенной карты области нуждается в обновлении в плане отражения экраноземов и их локализации.

Существующий архив спутниковых данных Landsat с 1984 г. открывает возможности не только для картографирования экраноземов, но и для слежения за изменением их площадей во времени.

Предложенные подходы могут быть использованы для картографирования экраноземов и для других городских агломераций, расположенных в схожих природно-географических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Глушкова В.Г. Московская агломерация. М.: Большая российская энциклопедия. 1992.

Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.

Лаппо Г., Полян П., Селиванова Т. Городские агломерации России // Бюл. Население и общество. 25 января–7 февраля 2010. № 407–408.

Почвы в городе: мифы и реальность / Под ред. Т.В. Прокофьева, М.Н. Строганова // Биология в школе. 2002. № 6. С. 4–9.

Прокофьева Т.В. Городские почвы, запечатанные дорожными покрытиями (на примере г. Москвы). МГУ, 1998. 218 с.

Савин И.Ю., Овечкин С.В., Федорова Е.Г. ГИС “Земельные ресурсы Московской области” и ее использование для анализа ресурсного потенциала земель для сельскохозяйственных целей // Почвы Московской области и их использование. М.: Изд-во Почв. ин-та им. В.В. Докучаева, 2002. Т. 1. С. 416–439.

Саломаткин А.С. Административно-территориальное устройство Российской Федерации (вопросы теории и практики). М.: Манускрипт, 1995. 204 с.

Синцов А.В., Бармин А.Н. Современная классификация почвенного покрова городских территорий // Геология, география и глобальная энергия. 2011. Т. 3. № 42. С. 149–155.

Составление областных среднemasштабных почвенных карт Нечерноземья с показом структуры почвенного покрова (рекомендации). М.: Агропромиздат, 1990. 80 с.

Статакис Д., Перакис К., Савин И.Ю. Дешифрирование урбанизированных территории по спутниковым данным Landsat // Исслед. Земли из космоса. 2012. № 5. С. 22–28.

Столбовой В.С., Савин И.Ю., Шеремет Б.В., Сизов В.В., Овечкин С.В. Геоинформационная система деградации почв России // Почвоведение. № 5. 1999. С. 646–651.

Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A., Sombroek W.G. World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note. Wageningen: ISRIC: UNEP, 1991. 35 p.

Rahman H., Dedieu G. SMAC: a simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum // Int. J. Rem. Sens. 1994. V. 15. № 1. P. 123–143.

Stathakis D., Perakis K., Savin I. Efficient segmentation of urban areas by the VIBI // Int. J. Rem. Sens. 2011. V. 33. № 20. P. 6361–6377.

Sealed Soils (Ecranozems) Mapping in Moscow Agglomeration Based on Landsat Images

I. Yu. Savin

V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow
Agrarian Faculty, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

Ecranozems were recognized based on Landsat images using step-by-step controlled classification. It was found that ecranozems acreage in some regions near Moscow is near 10–20%. Based on analysis of Landsat data acquired in 1986 and 2011 regions with maximal increase of ecranozems acreage were delineated. The results of the study can be used for soil maps correction and updating, as well as for the modeling of the anthropogenic impact on soil patterns and related consequences for the environment.

Keywords: Landsat images, urban soils, ecranozems, Moscow agglomeration