

Е.А. Балдина (МГУ им. М.В. Ломоносова)

В 1981 г. окончила географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова по специальности «картограф-географ». В настоящее время — ведущий научный сотрудник географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Кандидат географических наук.

Радиолокационные данные для характеристики состояния залежей в дельте Волги

Дельта Волги — уникальный регион по природным особенностям ландшафта, который благодаря своему интразональному положению и значительным размерам хорошо выделяется на космических снимках даже относительно низкого разрешения, как оазис среди пустынь и полупустынь. Здесь пересекаются интересы разных видов использования территории: сельскохозяйственного, рыболовского, нефтегазодобывающего, кроме того, особое значение приобретает увеличение рекреационной активности [3], развитие экологического и этнотуризма.

С середины 1960-х гг. на этой территории получило широкое развитие орошаемое земледелие — были обвалованы и распаханы большие площади. В условиях орошения возделывались овощные, кормовые, бахчевые культуры, широкое распространение получило рисосеяние. Впоследствии по ряду причин большинство полей было заброшено, в настоящее время обрабатываются лишь небольшие площади. Обвалованные необрабатываемые поля не промываются водами половодья, вследствие этого они представляют собой залежи с засолившимися почвами, в разной степени заросшие травянистой и древесно-кустарниковой растительностью, подверженные процессам опустынивания (рис. 1). При зарастании неиспользуемых земель галофитной растительностью процессы засоления активизируются, что требует значительно больших усилий при возвращении их в обработку. Населенные пункты располагаются также на обвалованных участках, прилегающие к ним пустоши засолены, луговая растительность сильно дегра-

дирует вплоть до полного исчезновения.

Инвентаризация залежных земель, поиск оптимальных путей их рекультивации с учетом географических особенностей необходимы для создания эффективной и динамичной системы управления земельными ресурсами [1].

Хорошо известны достоинства радиолокационной съемки: возможность получения изображений местности в условиях постоянной облачности, независимость от внешнего освещения, предоставление информации о физических свойствах поверхности. Однако современные возможности получения радиолокационных данных опережают их использование в научных и практических целях. Среди причин этого и недостаточная осведомленность природоведов о возможностях радиолокационной съемки в сочетании с высокой стоимостью данных и специализированных программ для их обработки.

Гипотеза о целесообразности применения радиолокационных, и в частности полностью поляризованных, данных для оценки состояния необрабатываемых земель в дельте Волги основывается на том, что известна связь состояния растительного покрова (обилия биомассы) с характеристиками объемного рассеяния. Растительность залежей, расположенных в полупустынной зоне, значительно отличается от лесной растительности, оценка состояния и картографирование которой на основе радиолокационных методов ведутся уже несколько десятилетий [2]. Для залежей характерна значительная неоднородность растительного покрова. Обилие и вид растительности зависят от



Рис. 1. Некоторые характерные виды залежей в дельте Волги

продолжительности периода, в течение которого каждое конкретное поле не подвергалось обработке или орошению, от условий увлажнения территории, которое местами зависит от разных факторов: продолжительности периода, в течение которого поле не подвергалось обработке или орошению, от условий увлажнения территории, в том числе от сохранности валов, защищавших поля от половодья, характера современного использования. Предполагается, что данные радиодиапазона более чутки к присутствию разных видов растительности, степени увлажнения и проявлениям процессов засоления на заброшенных землях, чем данные видимого диапазона.

Для экспериментальных работ компаний «Совзонд» были предоставлены данные, полученные спутниковой системой RADARSAT-2 в результате трехкратной съемки осенью 2011 г. (11 сентября, 5 и 29 октября). Они включали многовременные амплитудные изображения высокого разрешения с географической привязкой (SGF) в двойной поляризации (DualPol, VV, VH) и комплексные полнополяризованные данные (QuadPol, HH, HV, VV, VH) с уровнем

обработки SLC (Single look complex) от 11 сентября; режим съемки WideFine.

Данные, прошедшие только стадию начальной обработки малопригодны для дешифрирования из-за высокого уровня спекл-шума. Улучшение изобразительных качеств радарных снимков — важный этап их подготовки для дешифрирования, в связи с чем большое внимание уделялось выбору методов фильтрации. Обработка проводилась средствами модуля SARscape программного комплекса ENVI отдельно для полностью поляризованных и разновременных данных.

Разновременные данные. Для совместной обработки данные разных сроков съемки были взаимно согласованы как геометрически, так и по уровню шума (многовременная фильтрация). Синтез цветного изображения (RGB-композит) из трех разновременных снимков разной поляризации выявляет различия в цвете исследуемых объектов, обусловленные их особенностями и характером изменения их состояния между сроками съемки (рис. 2).

Цветовой синтез, выполненный из разновременных снимков отдельно для согласованной вертикаль-



Рис. 2. Радиолокационное RGB-синтезированное изображение, компоненты: R — снимок 11 сентября, VV поляризация; G — 5 октября, VH-поляризация; B — 29 октября, VH-поляризация

ной и кросс-поляризацій, позволяет продемонстрировать влияние поляризации радиолокационного сигнала на особенности изображения местности.

Сравнение увеличенных фрагментов многовременных композитов (рис. 3) показывает, что при согласованной вертикальной поляризации интенсивность обратного сигнала выше, чем при кросс-поляризации. Радиолокационные изображения, полученные при кросс-поляризации, передают более тонкие различия в свойствах объектов, однако ослабление принимаемого сигнала может сделать неразличимыми объекты с ровной гладкой поверхностью. Общий зеленый цвет изображений объясняется повышенным уровнем яркости снимка 5 октября, который при синтезе окрашивается зеленым. Съемка проводилась после продолжительного дождя, и повышенная увлажненность территории в целом повлияла на интенсивность обратного рассеяния.

При сопоставлении многовременных изображений с данными наземных обследований и снимками видимого диапазона было установлено, что наиболее однозначно определяются обрабатываемые в текущем году земли (яркие, почти белые участки с прямолинейными границами). Необрабатываемые поля — многолетние залежи — различаются по яркости основного цвета на многовременном радиолокационном изображении в зависимости от степени

увлажнения и зарастания. На участках, относительно недавно перешедших в категорию залежей, еще читаются границы полей в виде ярких линий — растительности вдоль оросительных каналов.

По особенностям радиолокационного изображения можно разделить многолетние залежи на две группы:

1. залежи сухие, почти лишённые в осенний период растительности. Характер отражения радиосигнала от поверхностей такого типа близок к характеру отражения от бугров Бэра или водной поверхности (на изображении они наиболее темные);
2. залежи более влажные, неравномерно заросшие травянистой растительностью с разным проективным покрытием и кустарниками (тамарикс, лох). Растительность выделяется на общем темном фоне более светлыми пятнами.

После дополнительно проведенной фильтрации оказалось возможным провести обработку многовременного снимка методами, принятыми для обработки многозональных снимков, в частности кластеризацию с применением алгоритма ISODATA. Результат существенно зависит от количества задаваемых кластеров. При задании восьми и больше кластеров результат получается трудноинтерпретируемым без дополнительных сведений о реальном состоянии местности в момент каждой из съемок. Задание меньшего числа кластеров, например 6 (рис. 4), позволяет получить результат, который может быть проинтерпретирован с выделением сведений о состоянии местности. На фрагменте к первому кластеру отнесены все участки, характеризующиеся практически неизменно высоким уровнем обратного рассеяния во все три срока съемки и при обеих поляризациях: им соответствуют обрабатываемые между съемками сельскохозяйственные поля, населенные пункты, а также небольшие участки галерейных лесов вдоль проток. 2-й и 3-й кластеры соответствуют участкам с высоким уровнем интенсивности обратного рассеяния и его отчетливо выраженным изменениям между съемками, что говорит о присутствии растительности в разном состоянии и с разным объемом биомассы; 4-й кластер также соответствует растительным сообществам, но в отличие от 2-го и 3-го кластеров, растительность, вероятно, разрежена. Для участков, отнесенных к 5-му и 6-му кластерам, характерен стабильно низкий уровень обратного рассеяния, свидетельствующий о практи-



Рис. 3. Фрагмент RGB-синтезированного многовременного снимка (R — 11 сентября, G — 5 октября, B — 29 октября): левый — VV-поляризация, правый — VH-поляризация

чески полном отсутствии растительного покрова, такие же характеристики имеют и относительно спокойные водные поверхности. В целом этот результат подтверждает, что обработка радиолокационных изображений позволяет получить сведения, недоступные при обработке снимков в других диапазонах спектра.

Поляриметрические данные. Наиболее информативный с точки зрения получения информации о состоянии залежей метод обработки комплексных данных — поляриметрическая декомпозиция, в частности запрограммированный в SARscape метод Паули. Он позволяет разделить поверхности по преобладающему механизму рассеяния сигнала, зафиксированного при разных поляризациях. Три получаемых при этом преобразовании изображения представляют преобладающие механизмы рассеяния: однократное (плоскость), двойное (здания, вертикальные объекты, не меняющие поляризации) и объемное (растительный покров, меняющий поляризацию на противоположную). На каждом из результирующих изображений наиболее яркими оказываются участки с преобладанием соответствующего механизма рассеяния (рис. 5). Полностью возможности этого метода исследованы не были, поскольку для

охваченной поляриметрической съемкой территории отсутствуют материалы наземных обследований, а сами залежи имеют здесь небольшие размеры и распространены в меньшей степени, чем на основной части дельты Волги. Однако и по небольшому фрагменту можно судить о том, что наиболее крупные залежи в южной части территории хорошо разделяются по наличию и обилию растительности.

По результатам проведенных работ можно выделить два перспективных для географических исследований направления обработки оригинальных радиолокационных изображений. Первое из них — выполнение преобразований, нацеленных на улучшение изобразительных свойств радиолокационных снимков (различные методы фильтрации и синтеза) с целью получения производных изображений, пригодных для дешифрирования или обработки совместно со снимками видимого диапазона. Второй путь — преобразования, возможные только для радиолокационных данных, например поляриметрические декомпозиции. Исползованный в нашей работе метод Паули в сочетании с кластеризацией позволил разделить залежи по степени развития на них растительности. Далеко не все известные возможности обработки



Рис. 4. Фрагмент результата кластеризации.
Объяснения обозначений в тексте

радиолокационных данных [4] и комбинирования их с данными оптического диапазона были использованы, работа будет продолжена.

Следует отметить, что поставленная задача — выявление и оценка состояния залежей — не может быть решена применением какого-то одного типа данных и, более того, для выявления состояния зале-

жей необходимо значительное участие специалиста-природоведа. Последнее обстоятельство обусловлено тем, что само понятие «заброшенности земель» является относительным, поскольку в сухостепных районах выведение земель из сельскохозяйственного оборота иногда используется как агротехнический прием, способствующий восстановлению плодородия почв. Важным моментом является и то, что для правильной интерпретации радиолокационных изображений и результатов их обработки необходимо хорошее знание особенностей территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота.* — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008.
2. Бондур В.Г., Чимитдоржиев Т.Н. Дистанционное зондирование растительности с использованием космических радиолокационных и многоспектральных оптических изображений // *Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка.* — 2008. — № 6. — С. 112 — 121.
3. Иванов А.Н., Лабутина И.А. Эколого-рекреационное зонирование дельты Волги // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География.* — 2006. — №4. — С. 61 — 67.
4. Кантемиров Ю.И. Обзор современных радиолокационных данных и методик их обработки с использованием ПК SARscape // *Геоматика.* — 2010. — №3. — С. 44 — 55.

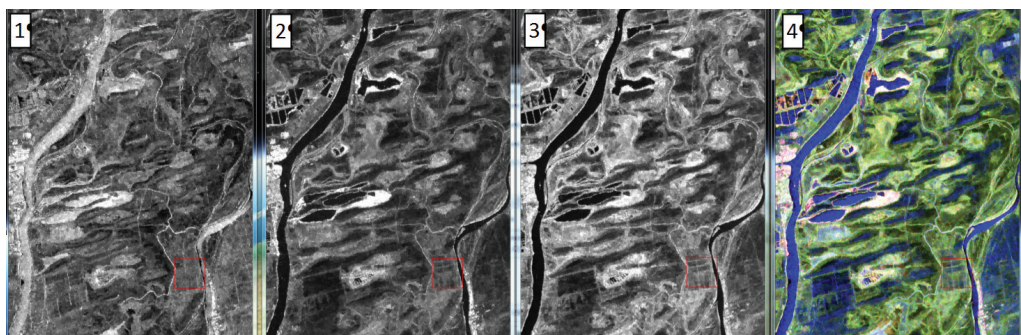


Рис. 5. Результат применения декомпозиции Паули к полнополяризметрическим данным: 1 — однократное рассеяние; 2 — двойное рассеяние; 3 — объемное рассеяние; 4 — синтез трех изображений

И.В. Оньков (ЗАО «Мобиле», Пермь)

В 1970 г. окончил МИИГАиК по специальности «астрономо-геодезия». В настоящее время — научный консультант ЗАО «Мобиле» (Пермь). Кандидат технических наук, доцент.

Т.А. Онянова (Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

В настоящее время — студентка 5-го курса Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ), специальность — «прикладная геодезия».

О.Ю. Шилиева (Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

В настоящее время — студентка 5-го курса Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ), специальность — «прикладная геодезия».

Исследование точности радарных ЦМР, построенных по снимкам ALOS/PALSAR и модели SRTM, в зависимости от вида отражающей поверхности

Метод радарной интерферометрии по данным радиолокаторов космического базирования в настоящее время является одним из наиболее эффективных методов построения цифровых моделей рельефа на больших площадях [1]. Но в силу своей физической природы радарные методы, основанные на отражении радиоволн, позволяют получать информацию о высотах условной отражающей поверхности, которая в общем случае не совпадает с топографической поверхностью Земли.

Расхождения между высотами этих поверхностей наиболее существенны на залесенной и застроенной территории и зависят от многих факторов, таких, как высота и густота лесного покрова, высота и плотность застройки, параметров радиолокационного сигнала (длина волны сигнала, разрешающая способность, поляризация), методов и алгоритмов обработки данных и т.п.

В свою очередь, точность определения высоты поверхности, построенной по радарным данным, также зависит от вида отражающей поверхности, параметров съемки, методов обработки и т.п.

В данной работе принята наиболее простая адди-

тивная модель ошибок высот отражающей поверхности в виде суммы систематической и случайной составляющих и выполнена оценка параметров этих составляющих по результатам обработки радарных данных для трех типов территории:

- многоэтажная городская застройка (3 – 9 этажей);
- сельхозугодья без древесной растительности (пашни, луга);
- лесные массивы (высота деревьев 10–25 м).

Для исследования была выбрана цепочка из 12 снимков ALOS/PALSAR г. Перми и пригородной зоны, выполненных в 2008–2010 гг., подробные характеристики которых приведены в работе [2].

Обработка снимков и построение цифровых моделей отражающих поверхностей проводились в программном продукте ENVI 4.8 SARscape 4.4 методом радарной интерферометрии по стандартной методике без использования входной цифровой модели рельефа (ЦМР) [3]. На основе пяти, наиболее точных моделей была сформирована осредненная матрица высот с шагом сетки 50×50 м. В качестве оценки среднего принималась медиана из значе-