

RADAR REMOTE SENSING METHODS OF FOREST COVER

M. G. Razakova

JSC „National center of space researches and technologies“
050010, Almaty, Kazakhstan

By way of analysis of a group of the radar-imagery statistical information, we determine an optimal level of filtration for automatic allocation of main objects of the observed surface. This analysis has been made based on the satellite data TerraSAR-X in both parallel and cross-polarization modes (VV, VH). Some pre-radiometric calibration values for the magnitudes are required since the radar imagery is performed under an angle. For this, we need to extract the value of sigma naught (radiometric calibration). To eliminate the high-frequency noise could be used many different filters; a simplest one is the average filter. To determine the degree of averaging, it is possible to calculate the analytical form of relationship between the size of the signature smoothing and residual values of magnitudes of radar data. The radar ability to detect texture is a major advantage over other types of imagery where the texture is not a quantitative characteristic. Filtration methods can distinguish an object component of the signal.

There are three main groups of image processing algorithms on computers: (a) initial (pre-) image processing algorithms for restoration, cleaning from random noise, improve the quality, correction of geometric distortion of radar systems; (b) thematic image processing and pattern recognition algorithms; they are performed to determine the parameters of image detail and include: finding the homogeneity of the image in terms of light and color areas, extract the feature forms, identify the coordinates of the singular points of objects and so on; (c) algorithms of the target isolation of specific objects by binarization methods of the image; in accordance with the predetermined threshold, the values of separate elements will be identified, which are suitable under the conditions of the task we discuss.

In the work, we show that by regular applying filtration methods to radar data, the area covered by vegetation has the maximum difference in the cross polarization image in comparison with that of classified forest area.

Key words: radar satellite data, forest classification.

References

1. Luong Viet Nguyen, Ryutaro Tateishi, Akihiko Kondoh, Ram C. Sharma, Hoan Thanh Nguyen, Tu Trong To and Dinh Ho Tong Minh. Mapping Tropical Forest Biomass by Combining ALOS-2, Landsat 8, and Field Plots Data. // *Land* 2016, 5, 31; doi:10.3390/land5040031. [Electron. Res.]: <http://www.mdpi.com/journal/land>
2. Rodionova N. V. Sezonnye variatsii obratnogo rasseyaniya ot estestvennykh pokrovov Podmoskov'ya v sezon 2015–2016 godov po radarnym dannym SENTINEL 1A // 14-ya Vserossijskaya otkrytaya konferentsiya „Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa“: tez. dokl. 2016. S. 367. [Electron. Res.]: http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5482
3. Chimitdorzhiev T. N. Polyarimetricheskaya ocenka prostranstvennykh fluktuacij radarnykh izobrazhij dlya vosstanovleniya struktury lesnogo pologa // *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2007. N 5. S. 80–82.
4. Small D., Zuberbühler L., Schubert A., Meier E. Terrain-flattened gamma nought Radarsat-2 backscatter // *Canadian Journal of Remote Sensing*, Oct. 2011. Vol. 37 (5). P. 493–499.

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ

М. Г. Разакова

АО „Национальный центр космических исследований и технологий“,
050010, г. Алма-Ата, Казахстан

УДК 550.388.2

На основе анализа набора статистической информации по данным радиолокационной съемки определен оптимальный уровень фильтрации для автоматического выделения основных объектов наблюдаемой поверхности. Анализ производился по данным с космического аппарата TerraSAR-X в согласованной и кросс-поляризациях (VV, VH). Показано, что территория, покрытая растительностью, имеет максимальные различия в кросс-поляризационных изображениях, выделены контуры лесного массива.

Ключевые слова: радиолокационные спутниковые данные, лесной массив, классификация.

Микроволновая съемка перспективна для картирования и мониторинга лесных территорий, обнаружения зон природных и антропогенных воздействий на лесной покров, а также при определении биомассы и сомкнутости древостоев. Спутниковые данные оптического датчика широко использовались для оценки структурных характеристик леса. Однако применение оптических данных для оценки лесной биомассы сложно частыми присутствующими облачными покровами. Радиолокационные импульсы в виде длинноволновых микроволн способны работать днем и ночью, в любых атмосферных условиях, могут проникать через структуру деревьев. Тем не менее, обратное рассеяние радаров, полученное из лесов, является сложным из-за того, что различные типы рассеивания, которые удваиваются, вызывают рассеяние от поверхности, рассеяние от структуры ствола дерева, рассеяние от купола и т. д. Предыдущие исследования показали, что на рассеяние влияют различные факторы, такие как рельеф, температура, диэлектрическая постоянная и содержание влаги, а также характеристики структуры, покрытия и видов растительности [1]. В данной работе радиолокационные данные предварительно нормализуются относительно влияния рельефа. Территорией исследования является лесной массив вблизи города Семей. Радиолокационная съемка чувствительна к диэлектрическим, структурным и текстурным свойствам исследуемого объекта. На основе данных радиолокационной съемки TerraSAR-X были исследованы следующие характеристики наблюдаемой поверхности:

- отражающие свойства поверхности (удельная эффективная площадь рассеяния) в диапазонах волн РСА с учетом поляризаций на излучение и прием;
- информация, характеризующая изменение фазы сигнала при отражении;
- пространственно-статистические характеристики (гистограммы распределения, корреляционные функции).

Таблица 1

Пространственное разрешение спутниковых радиолокационных изображений

Космический аппарат	Спектральный диапазон	Пространственное разрешение
ALOS PALSAR	L	10 m
Sentinel1A	C	5 m
TerraSAR-X	X	1 m

Исследования территорий лесных массивов по данным радиолокационной съемки проводились в основном с использованием С и L длин волн [2, 3]. Применение же радиолокационного зондирования X-диапазона для растительного покрова имеет свои недостатки, особенно в случае использования такого параметра как когерентность. Это связано с зашумленностью радиолокационных данных X-диапазона, полученных при съемке земных поверхностей с растительностью.

Активное зондирование при длине волны около 3 см, отражательная способность листьев деревьев, луговых растений, а также временная изменчивость их в вегетативный сезон являются причиной зашумленности полученных данных. Однако преимущественных свойств данных с космического аппарата в этом диапазоне (TerraSAR-X) больше, это:

- высокое пространственное разрешение (1 м), сравнимое с оптическими данными;
- возможность вычисления миллиметровых смещений земной поверхности;
- хорошая геопривязка снимков (в данном случае с точностью до 1 м);
- возможность построения высокодетальных цифровых моделей рельефа.

В данной работе предлагается метод выделения лесных массивов по данным радиолокационного спутникового изображения TerraSAR-X на основе комплексирования двух параметров: исключения влияния рельефа и меры шумоподавления.

Данные TerraSAR-X были получены за июль 2014 г. в двух поляризациях (VV, VH). Предварительно была произведена радиометрическая калибровка значений амплитуд и вычислены значения σ^0 . Величину отраженного радарного сигнала характеризуют коэффициентом обратного рассеяния σ^0 (sigma-naught). Величину σ^0 можно определить как количественную оценку, характеризующую способность объекта рассеивать падающее на него микроволновое излучение [4]. В различных публикациях можно встретить другие определения σ^0 . Понятия „эффективная площадь отражения“ (ЭПО, radar cross-section) и „яркость радарного изображения“ (radar brightness) являются практически одинаковыми. Таким образом, устранены помехи, обусловленные влиянием рельефа местности и погрешности измерений. Точность оценки этих характеристик во многом зависит от возможностей усреднения данных по площади.

Предположительно, основная масса шума радиолокационных данных может быть объяснена отражательными свойствами X-диапазона длин волн от растительного покрова. Для устранения высокочастотного шума применяются различные фильтры, из которых самый простой — фильтр усреднения. Сглаживающий фильтр основывается на следующем принципе: находится среднее арифметическое значение всех элементов рабочего окна изображения (отдельно по каждому из каналов), после чего это среднее значение становится значением среднего элемента. Одним из применений фильтров является шумоподавление. Шум меняется независимо от пикселя к пикселю, и, при условии, что математическое ожидание значения шума равно нулю, шумы соседних пикселей при суммировании будут компенсировать друг друга. Чем больше окно фильтрации, тем меньше будет усреднен-

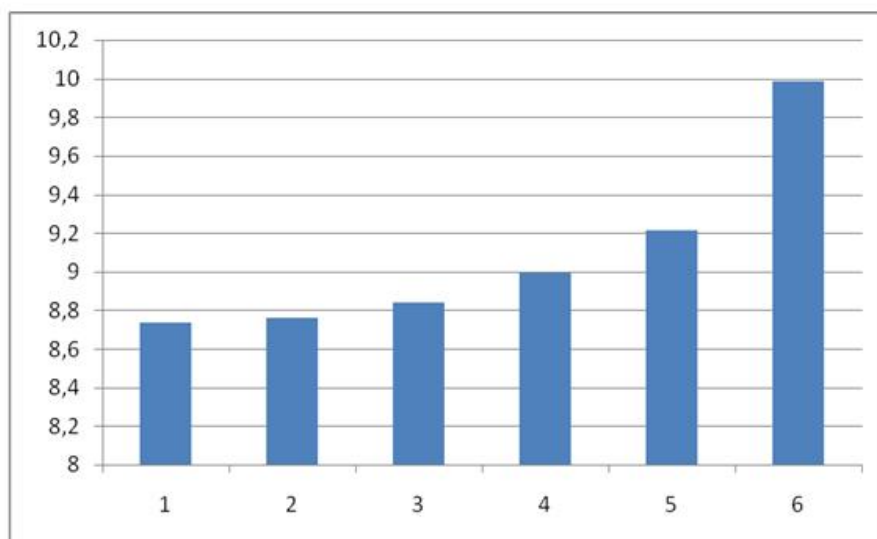


Рис. 1. Гистограмма стандартных отклонений значений амплитуд радиолокационных данных TerraSAR-X

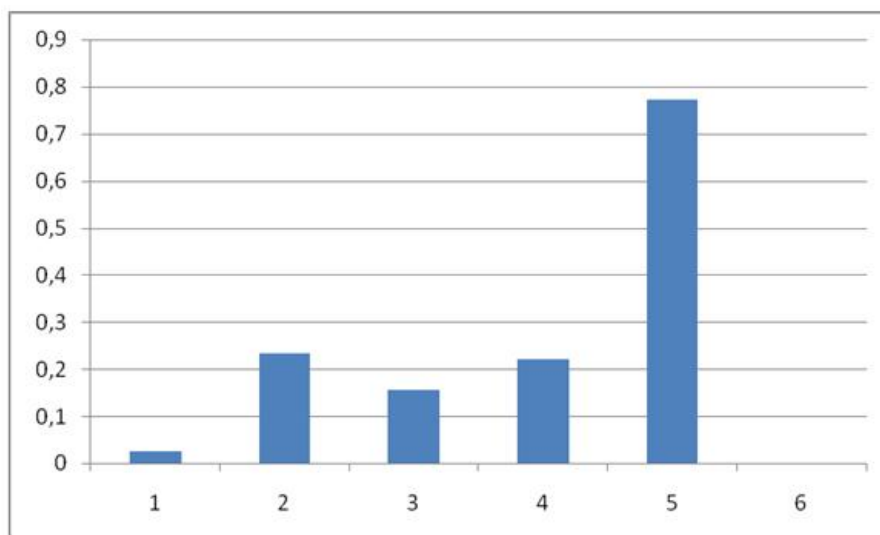


Рис. 2. Гистограмма разности стандартных отклонений значений амплитуд радиолокационных данных TerraSAR-X

ная интенсивность шума, однако при этом будет происходить и соответствующее размытие значащих деталей изображения. Существуют три основные группы алгоритмов обработки изображений на компьютерах:

1. Первичная (предварительная) обработка изображений с целью реставрации, очистки от случайных шумов, улучшения качества, коррекции геометрических искажений оптических систем.

2. Тематическая обработка изображений, распознавание образов. Выполняется для определения параметров деталей изображения и включает нахождение однородных по уровню освещенности и цвету областей изображения, выделение признаков формы изображений, определение координат особых точек объектов и пр.

Таблица 2

Статистическая информация

№	Min	Max	Median	Mode	Mean	Размер сигнатуры	Разность знач. сигн	SD	Разность SD
1	1	89	29	31	29,291	225	24	8,734	0,025
2	1	96	29	31	29,425	201	44	8,759	0,234
3	1	112	29	31	29,674	157	46	8,838	0,155
4	1	139	29	31	29,939	111	36	8,993	0,221
5	1	187	29	31	30,149	75	50	9,214	0,771
6	1	354	29	24	30,453	25		9,985	

3. Выделение определенных целевых объектов методами бинаризации изображения. По заданным пороговым значениям вычлняются отдельные элементы, соответствующие условиям поставленных задач.

Способность радара обнаруживать текстуры является основным преимуществом над другими видами съемки, где текстура не является количественной характеристикой. Методами фильтрации можно выделить объектную составляющую сигнала. Объектная составляющая отраженного сигнала позволит нам выделить основные классы объектов, размеры которых соизмеримы или превышают размеры площади объектов исследования. Видовая составляющая обусловлена источниками, размеры которых невелики. Эта составляющая представляет наибольший интерес, т. к. несет информацию о неоднородностях или принадлежности разным классам объектов, размеры которых значительно меньше размеров площади исследования.

Для определения степени усреднения был вычислен аналитический вид зависимости размера сигнатуры сглаживания и остаточной величины значений амплитуд радиолокационных данных. Параметром оценки остаточной величины значений амплитуд радиолокационных данных рассматривалось стандартное отклонение амплитуд результата сглаживания. На каждом этапе фильтрации радиолокационного изображения автоматически вычислялся массив статистической информации (табл. 2).

Статистическая информация:

Min: минимальное (низкое) значение файла.

Max: максимальное (высокое) значение файла.

Mean: среднее (среднее) значение файла.

Median: медиана значений файлов (точка, в которой есть как много пикселей больших значений, так и меньших).

Mode: показывает (наиболее часто встречающиеся) среди значений файлов.

SD: стандартное отклонение.

Эта группа базируется на статистических данных, которые вычисляются по цифровой матрице значений радиолокационного изображения. Статистика была сгенерирована при фильтрации радиолокационных данных для размеров сигнатуры: 25, 75, 111, 157, 201, 225 (табл. 2).

Определены параметры уравнения регрессии и вычислены значения объектной составляющей значений амплитуд радиолокационных данных, оценена статистическая значимость уравнения.

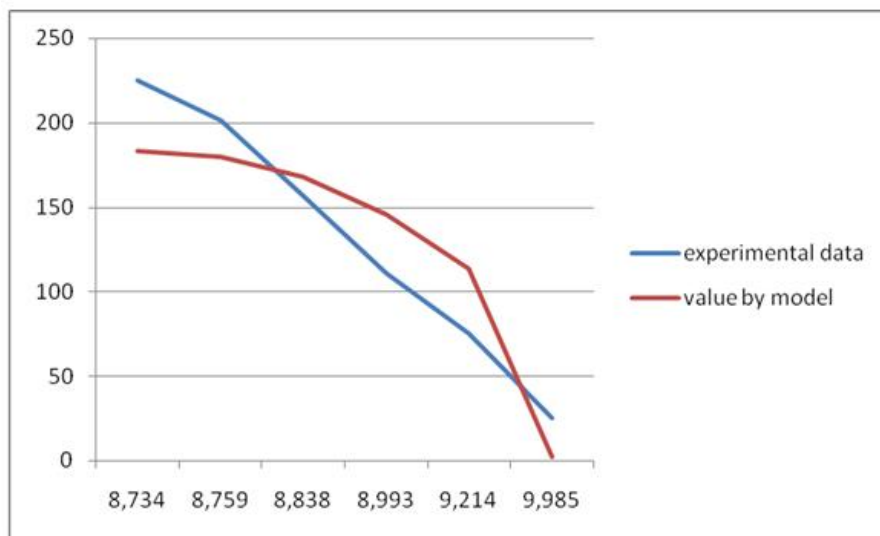


Рис. 3. График зависимости стандартных отклонений значений амплитуд и размеров сигнатуры усреднения радиолокационных данных TerraSAR-X

Таблица 3

Регрессионная статистика

Множественный R	0,9
R-квадрат	0,8
Нормированный R-квадрат	0,8
Стандартная ошибка	37,3
Наблюдения	6

Таблица 4

Коэффициенты

Y-пересечение	1448,6
Переменная X 1	-144,8

Коэффициент детерминации — $R^2 = 0,8$ показывает, что на 81 % расчетные параметры модели, то есть сама модель, объясняют зависимость и изменения изучаемого параметра — **размера сигнатуры (Y)** от исследуемого фактора — **стандартного отклонения (X)**.

-144,85 — a_1 — коэффициент, который показывает весомость влияния фактора X_1 на Y.

Уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$Y = 1448,6 - 144,85x$$

Подстановкой в правую часть уравнения значения x_i получены теоретические значения аппроксимирующей функции Y_i (рис. 3).

С увеличением размера сигнатуры усреднения значений амплитуд радиолокационных данных уменьшается соответственно величина стандартного отклонения амплитуды. Цифровая фильтрация реализуется методом скользящего окна. Процедура усреднения значений амплитуд радиолокационных данных завершается при достижении минимального зна-

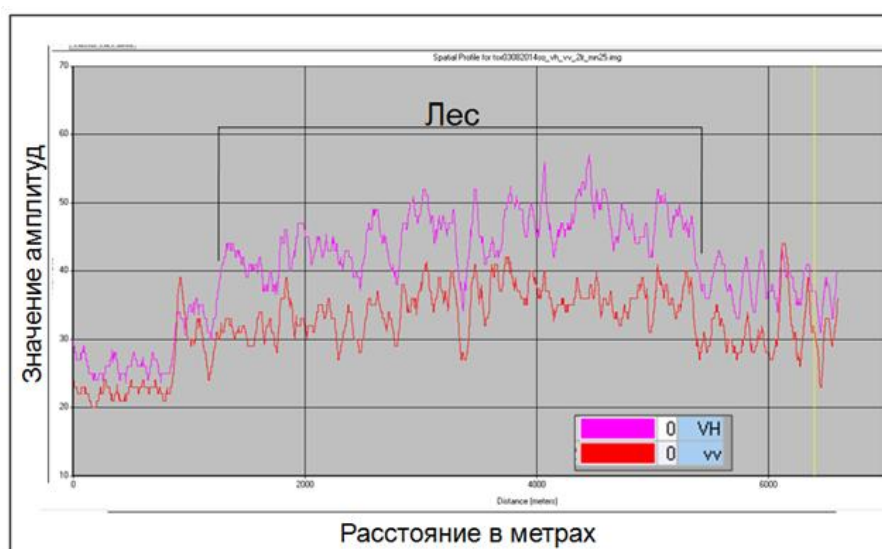


Рис. 4. Значения амплитуд данных TerraSAR-X (vh; vv), по линии профиля пересекающих лесную полосу

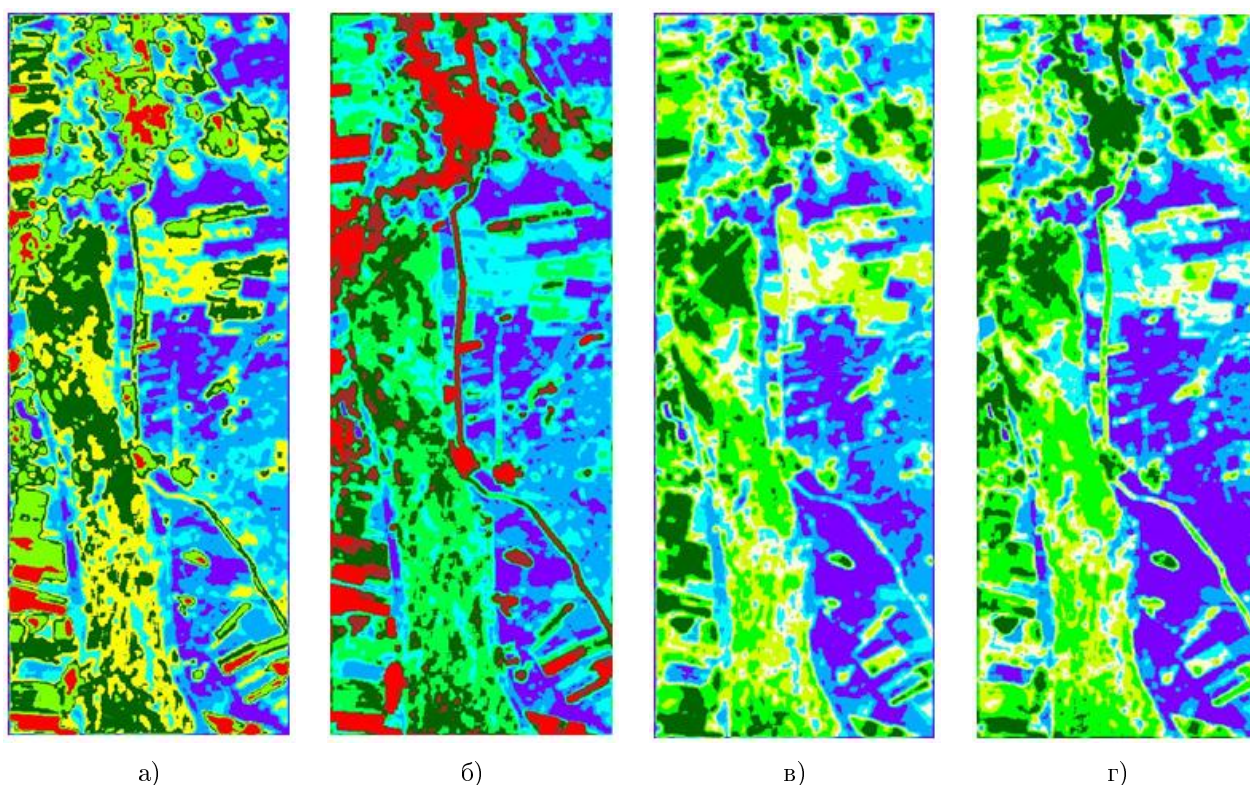


Рис. 5. Классификация результата фильтрации радиолокационного изображения поляризации VH и VV. а, в) методом среднего; б, г) методом стандартного отклонения

чения стандартного отклонения амплитуды. Для этого сравниваются разности стандартных отклонений амплитуд на каждом шаге сглаживания. В нашем случае наблюдается скачок значений от 0,234 до 0,025 (табл. 2, гистограмма 2), что соответствует размеру сигнатуры усреднения 201 (гистограмма 2, 1-й столбик). Данный результат усреднения зна-

чений амплитуд радиолокационных данных принимаем как оптимальный и будем отождествлять с объектной составляющей значений амплитуд. Действительно, лесные участки имеют более выраженную текстуру, чем луга (рис. 4). Свойства ландшафтных объектов характеризуют вычисляемые текстурные признаки.

Произведена классификация без обучения методом К-средних по данным, полученным в результате вычислений объектных составляющих в поляризациях VH и VV радиолокационных данных.

При рассмотрении классификации, приведенной на рис. 5 хорошо выделяются контуры лесного массива, дешифрируются поля, строения: синий цвет — соответствует классу „поле“, затем два оттенка зеленого — области, покрытые богатой растительностью, красный соответствует классам строений. На лес приходится два класса: светло- и темно-зеленый цвета. Классификация при поляризации VV данных не дает четкого разграничения классов „лес“ и „строения“, как при поляризации VH. Совместное использование таких характеристик как поляризация и методы фильтрации позволяют сделать систему признаков, чувствительную как к размерам, так и к ориентации элементов, образующих текстуру. Синтезированное изображение из различных поляризаций и отфильтрованных данных дает более четкую классификацию растительности.

Список литературы

1. Luong Viet Nguyen, Ryutaro Tateishi, Akihiko Kondoh, Ram C. Sharma, Hoan Thanh Nguyen, Tu Trong To and Dinh Ho Tong Minh . Mapping Tropical Forest Biomass by Combining ALOS-2, Landsat 8, and Field Plots Data. // Land 2016, 5, 31; doi:10.3390/land5040031, [Electron. Res.]: <http://www.mdpi.com/journal/land>
2. Родионова Н. В. Сезонные вариации обратного рассеяния от естественных покровов Подмосквья в сезон 2015–2016 годов по радарным данным SENTINEL 1A // 14-я Всероссийская открытая конференция „Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса“: тез. докл. 2016. С. 367. [Электрон. рес.]: http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5482
3. Чимитдоржиев Т. Н. Поляриметрическая оценка пространственных флуктуаций радарных изображений для восстановления структуры лесного полога // Исследование Земли из космоса. 2007. № 5. С. 80–82.
4. Small D., Zuberbühler L., Schubert A., Meier E. Terrain-flattened gamma nought Radarsat-2 backscatter // Canadian Journal of Remote Sensing, Oct. 2011. Vol. 37 (5). P. 493–499.



Разакова Майра Габбаровна — зав. лабораторией геоинформатики, геомоделирования и ГИС-технологий, АО „Национальный центр космических исследований и технологий; e-mail: mairarazakova@gmail.com.

Разакова М. Г., специальность „Математика“, является ведущим специалистом в области применения геоинформационных технологий и геоинформационного моделирования для тематической обработки и интерпретации дан-

ных дистанционного зондирования, подтвержденные сертификатами:

— **Работа в программном комплексе Geomatica 10**, ООО „Гео-Альянс“, 27.06.2011 — 02.07.2011;

— **Интерферометрическая обработка данных ДЗЗ в программном обеспечении Gamma Software**, ООО „Гео-Альянс“, 22.08.2011 — 03.09.2011;

— **CASI Normalization and Data Fusion Itres** — Гиперспектральные системы и решения, 2007;

— **CASI Hyperspectral Analysis and GIS Integration (CASI гиперспектральный анализ и интеграция ГИС)**, Itres — Гиперспектральные системы и решения, 2007;

— **„Definiens Professional 5.0 Basic and Advanced Training“**, organized by **Definiens** — The Image Intelligence Company, June 26–30, 2006;

— **Radar Mapping Suite**, The Earth to Business Company erdas, 25 июня — 5 июля 2012.

Сфера занятости: определение смещений земной поверхности в результате антропогенной деятельности методами радиолокационной интерферометрии, обработка данных дистанционного зондирования (ДДЗ) по обнаружению нефтяных загрязнений водной поверхности, почвенного покрова, дешифрирование тепловых аномалий, построение цифровых моделей рельефа, тематическая классификация объектов земной поверхности (ЗП), определение временных изменений ЗП по серии снимков радиолокационных и оптических данных, вычисление объемов объектов земной поверхности по ДДЗ, выявление изменений лесного покрова и т. д. По результатам работ опубликовано более 30 публикаций, получены грамоты и благодарности на международных конференциях и семинарах. Стаж работы более 30 лет:

2011 г. — настоящее время АО „Национальный центр космических исследований и технологий“, должность: заведующая лабораторией геоинформатики и ГИС-технологий. 2003–2011 гг. АО „КазГеоКосмос“, департамент геологии и геофизики, должность: главный менеджер. 1991–2003 гг. Институт космических исследований (НИИ) Министерства образования и науки Республики Казахстан, должность: старший научный сотрудник лаборатории ГИС. 1984–1991 гг. Институт Сейсмологии Академии наук Республики Казахстан, должность: инженер.

Maira G. Razakova, specialty „Mathematics“ (Kazakh State University (1979–1984)), is a leading specialist in the application of GIS and geoinformation modeling for thematic processing and interpretation of remote sensing data. Had got certified:

CASI Normalization and Data Fusion Itres — Hyperspectral systems and solutions, 2007 CASI Hyperspectral Analysis and GIS Integration (CASI hyperspectral analysis and GIS integration), Itres — Hyperspectral systems and solutions, 2007 „Definiteness Professional 5.0 Basic and Advanced Training“, organized by Definiteness — The Image Intelligence Company, June 26-30, 2006.

Work in the Geomatics 10 software package, Geo-Alliance LLC, 27/06/2011 — 02/07/2011 Interferometric processing of remote sensing data in software Gamma Software, Geo-Alliance LLC, 22/08/2011 — 03/09/2011 Radar Mapping Suite, The Earth to Business Company, June 25 — July 5, 2012.

Scope of employment: determination of earth surface displacements using methods of radar interferometry, processing remote sensing data to detect contamination of soil, water surface, the identification of solid domestic waste, control of the state of infrastructure, determination of temporal changes on the Earth's surface using a series of images of radar and optical data, calculation of the volumes of objects of the Earth's surface by the remote sensing data, identifying the changes in forest cover and etc. By results of works were published more than 30 articles, have been got diplomas and gratitude at international conferences and seminars. Experience over 30 years:

2011 — to the present. JSC „National Centre of Space Research and Technology“, position: Head of the Laboratory of Geoinformatics and GIS technologies.

2003–2011. JSC „KazGeoCosmos“, geology and geophysics department, position: general manager.

1991–2003. Space Research Institute (SRI) of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, position: senior scientist in GIS laboratory.

1984–1991. Seismic Institute of the Academy of Sciences Republic of Kazakhstan, position: engineer.

Дата поступления — 23.02.2018