# Анализ изображений Sentinel 1 для весеннего паводка в Алтайском крае в апреле 2015 года и Рязанской области в апреле 2016 года

# Н.В. Родионова

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, 141190, Московская область, Россия E-mail: rnv@ire.rssi.ru

В данной работе рассматривается возможность дистанционного определения области паводкового подтопления в Алтайском крае для района реки Алей в апреле 2015 года и в Рязанской области для района реки Мокша и ее притоков в апреле 2016 года по радарным изображениям Sentinel 1. Для обнаружения паводкового подтопления на текущую дату необходимо иметь как минимум два радиолокационных изображения (РЛИ): одно на дату паводка, второе на дату межени. Далее, методом поиска изменений – разности или отношения двух изображений получаем изображение, к которому применяется двухпороговая обработка по методу (Long et al., 2014): первый порог выделяет области открытой воды без подтопленной растительности (темные пикселы), второй – области с частично подтопленной растительностью (яркие пикселы). Альтернативой для определения областей открытой паводковой воды при наличии известной водной поверхности является предложенная двухшаговая обработка, когда на первом шаге проводится пороговая обработка РЛИ, где порог определяется по области с известной открытой водой, а на втором шаге вычисляется разность двух изображений. Водная поверхность, которой нет в меженный период, выявляется ярким тоном на разностном изображении, обнаруживая области паводковой воды. Для нахождения частично подтопленной растительности на РЛИ используются два подхода: 1) по методу (Long et al., 2014) с выделением ярких пикселов на разностном изображении; 2) используя эффекты двойного переотражения, характерные для частично подтопленной растительности. Второй подход из-за отсутствия данных с полной поляриметрией осуществлен на основе использования текстурных признаков Харалика «контраст» и «энтропия». Оба подхода дают схожие результаты.

**Ключевые слова**: дистанционное зондирование, радиолокационное изображение, паводковое подтопление, подтопленная растительность, разновременные изображения, разностное изображение, текстурные признаки

> Одобрена к печати: 31.01.2017 DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-136-146

## Введение

Использование PCA (радар с синтезом апертуры) данных является предпочтительным средством для картирования паводковых подтоплений. Это связано со следующими обстоятельствами: 1) всепогодность и независимость съемки от времени суток и атмосферных условий; 2) области с гладкой поверхностью открытой воды легко детектируются на радарных изображениях; плоская спокойная водная поверхность действует как зеркальный отражатель, который рассеивает энергию радара в сторону от сенсора. Это приводит к относительно темным пикселам на радарных изображениях, что контрастирует с неводными поверхностями (Di Baldassarre et al., 2001); 3) в сравнении с оптическими сенсорами PCA дает уникальную возможность обнаруживать стоячую воду под растительностью. Обнаружение частично подтопленной растительности возможно из-за эффектов двойного переотражения, когда радарный сигнал отражается от горизонтальной водной поверхности и нижних частей растительности (веток и стволов), что приводит к увеличению обратного рассеяния (Richards, Woodgate, Skidmore, 1987; Townsend, 2001). Рассеяние с двойным переотражением (ДП) обычно происходит, когда вертикальная надводная растительность находится посреди гладкой водной поверхности (Hess et al., 2003). Подтопленная растительность может также иметь комбинацию ДП и объемного рассеяния (Brisco et al., 2013).

Однако есть некоторые объекты, которые дают такие же значения коэффициента обратного рассеяния, как и двойное переотражение растительностью, что может привести к завышению оценки областей подтопления. К таким объектам относятся городские застройки с эффектами двойного переотражения, взволнованная поверхность воды, почвы с высокой влажностью (Martinis, Rieke, 2015).

Выбор поляризации играет существенную роль в детектировании открытой водной поверхности. НН поляризация дает наилучшие результаты для картирования подтоплений. В случае спокойной воды разница в обратном рассеянии между землей и водой наибольшая на НН поляризации (Hess et al.,1995). В случае наличия сильного ветра или волн HV поляризация может лучше картировать открытую воду, поскольку обратное рассеяние на этой поляризации более независимо от поверхностной шероховатости (Scheuchl et al., 2004) и в сильной степени не зависит от угла падения и направления ветра. Однако VH и VV поляризации также полезны, поскольку данные VV поляризации подчеркивают такие особенности, как растительность, и VH поляризация отражает горизонтальную природу сглаженной паводковой воды (Schumann, Matgen et al., 2007).

В ряде работ сообщается о преимуществе использования кросс - поляризаций HV и VH (Schumann, Hostache et al., 2007; Henry et al., 2006) в сравнении с VV поляризацией для детектирования шероховатой водной поверхности из-за того, что VV поляризованный сигнал более чувствителен к ряби и волнам. Точность картирования подтоплений возрастает при совместном использовании согласованных и кросс – поляризаций (Henry et al., 2006).

## Исследуемая область в Алтайском крае на реке Алей

Алей является самым крупным притоком Оби на равнинной части Алтайского края (длина реки 866 км). Замерзает с ноября по апрель. Это река со смешанным типом питания (снеговое и дождевое), весеннее половодье достигает максимума в апреле. Для реки Алей характерны петлеобразные крупные излучины. Ширина реки – 20÷45 м. Для естественного гидрологического режима р. Алей характерно высокое (до 5–7 м) продолжительное весеннее половодье (апрель–июнь). На реке отмечается полное или частичное затопление поймы за счет высокого стока и подъема уровня воды от заторов льда. Резкое повышение среднесуточной температуры воздуха в сочетании с большими запасами снега 2015 года привели к увеличению количества склоновых вод в Алтайском крае. Свободное движение талой воды и воды в реках тормозят ледовые заторы, образующиеся в русле реки во время ледохода и вызывающие стеснение водного сечения и связанный с этим подъём уровня воды. Заторы обычно происходят в сужениях и излучинах рек, на отмелях и в других местах, где проход льдин затруднён.

# Исходные данные

В данной работе используются Sentinel 1 (S1) данные С-диапазона IW (interferometric wide swath) моды с поляризациями (VV+VH) и пространственным разрешением 20 м за 13 и 18 апреля 2015 года (период подтопления) и данные за 10 октября 2015 года (меженный период). Съемка в сеансах осуществлялась на нисходящих витках. Данные за 13 и 18 апреля соответствуют периоду резкого потепления, снеготаяния, повышения уровня воды в реках, затопления поймы.

Водохозяйственная обстановка на 13 апреля: высокие дневные (+9°С) и ночные температуры (+2°С), резкое снеготаяние, повышение уровня воды в малых реках, дожди. С 13 апреля 2015 года уровень воды в реке Алей превысил критические отметки. Водохозяйственная обстановка на 20 апреля – уровень воды растет (+1 см/сутки), но с меньшей интенсивностью.

Работа с изображениями S1 осуществлялась с помощью находящейся в открытом доступе программы S1Toolbox и позднее SNAP (https://sentinel.esa.int/web/sentinel/toolboxes/ sentinel-1).

Предварительная обработка данных включала в себя три этапа:

- 1) выделение фрагмента с исследуемой областью;
- 2) радиометрическую калибровку;
- 3) пространственное совмещение разновременных изображений.

На *рис. 1* показана топографическая карта исследуемой области в Алтайском крае на участке реки Алей от поселка Локоть до города Рубцовска и исходные радарные амплитудные пространственно совмещенные фильтрованные изображения за 13, 18 апреля и 10 октября 2015 года для поляризации VV. Размер изображений 2268×3812 пикселов. В верхней части радарных изображений ярко выделяется южная часть г. Рубцовска. На юго-восток от него – почти круглая чаша Склюихинского водохранилища. В нижней части изображения – лес и поворот вправо р. Алей в районе поселка Локоть.



Рис. 1. Топокарта и исходные амплитудные изображения с поляризацией VV за 13, 18 апреля и 10 октября 2015 г., соответственно

## Используемые методы для определения зон паводковых подтоплений

В работах (White et al., 2015; Musa, Popescu, Mynett, 2015; Long et al., 2014) дан обзор методов по применению PCA для картирования паводковых подтоплений. Среди них – методы для очерчивания границ подтоплений с помощью нескольких поляризаций, применение моделей статистического активного контроля (statistical active control model), многовременные данные и их разность, гистограммная пороговая обработка и кластеризация, радиометрическая пороговая обработка, попиксельная сегментация, нейронные сети, интерферометрическая разность фаз, альтиметрия. Использование многовременных данных включает в себя обработку изображений в период подтопления и в меженный период.

На сегодняшний день пороговая обработка является наиболее часто используемым подходом для картирования поверхности воды и частично подтопленной растительности по радарным данным. В этом методе все пикселы с коэффициентом обратного рассеяния, меньшим, чем значение первого порога на разностном изображении, идентифицируются как вода, и большим, чем значение второго порога, идентифицируются как частично подтопленная растительность (Henry et al., 2006).

В данной работе используется двухпороговая обработка в совокупности с методом поиска изменений (CD – change detection) на базе разновременных изображений (период паводка и меженный период), а также текстурная информация.

# Поиск изменений по разновременным изображениям с пороговой обработкой

# 1. Выделение водной поверхности без растительности

Для определения водной поверхности без растительности предлагается двухшаговый метод: На первом шаге проводится пороговая обработка для выделения водной поверхности на изображениях в период паводка и в меженный период. Пороги определяются по среднему значению  $\sigma^0$  по области с известной открытой водой на исследуемых изображениях. В данном случае – это водная поверхность Склюихинского водохранилища. На значение порога влияют как погодные условия, так и параметры съемки – дата, поляризация, угол обзора. В *табл. 1* приведены значения порогов для 13, 18 апреля (период паводкового подтопления) и 10 октября (меженный период).

Дата съемки/поляризация	VV	VH
13/04/2015	-18,5	-24
18/04/2015	-13,6	-21
10/10/2015	-19	-25

Таблица 1. Обратное рассеяние в дБ от водной поверхности Склюихинского водохранилища

Вторым шагом является операция метода поиска изменений – нахождение разности значений  $\sigma^0$  двух изображений, а именно ( $\sigma^0_{13anpens} - \sigma^0_{10okmsdps}$ ) и ( $\sigma^0_{18anpens} - \sigma^0_{10okmsdps}$ ). Водная поверхность, которой нет в меженный период, выявляется ярким тоном на разностном изображении, обнаруживая области паводкового подтопления. Результат показан на *puc. 2*.



Рис. 2. Пороговая обработка разностных изображений ( $\sigma^0_{13апреля} - \sigma^0_{10октября}$ ) и ( $\sigma^0_{18апреля} - \sigma^0_{10октября}$ ) по среднему значению  $\sigma^0$  на водной поверхности Склюихинского водохранилища для поляризаций VV и VH

# 2. Выделение поверхности воды по Long et al.

В работе (Long et al., 2014) предложен метод картирования подтоплений CDAT (change detection and thresholding), суть которого в том, что сначала выбираются два изображения для оценки подтопления: одно опорное в меженный период и второе «с подтоплением». Далее находится разность абсолютных значений изображений, и осуществляется двух пороговая обработка: первый порог предназначен для выделения темных областей как вода без растительности, второй порог – для определения очень ярких областей как частично подтопленная растительность.

Для первого порога предлагается следующая формула:

$$p_1 < (mean(diff) - k_1 \times SD(diff)), \tag{1}$$

где diff – разностное изображение, *mean* – его среднее значение, SD – стандартное отклонение,  $k_1$  – эмпирический коэффициент, значение которого определяется на базе нескольких итераций по критериям, включающих величину присутствующих спеклов, визуальную корреляцию с изображениями Landsat и самолетными фотографиями и т.д. В работе (Long et al., 2014) значение  $k_1$  равнялось 1,5. Диапазон изменения  $k_1$  можно определить из (1). Исходя из того, что  $p_1 \ge 0$ , и предполагая, что  $SD \le mean$ , получаем, что  $k_1$  меняется в пределах:  $1 \le k_1 \le mean / SD$ . Для рассматриваемых изображений в данной работе получаем диапазон изменения  $k_1$ :  $1 \le k_1 \le 1,31$ . На *рис.* 3 показаны области паводковой воды без растительности (синий цвет), где порог  $p_1$ определялся со значением  $k_1=1,2$ . Сравнение данных областей с *рис.* 2 демонстрирует схожие результаты.

В случае частичного подтопления растительности для определения ярких областей на разностном изображении авторы (Long et al., 2014) предлагают следующий критерий определения второго порога:

$$p_{2} < (mean(diff) + k_{2} \times SD(diff)).$$

$$(2)$$

В работе (Long et al., 2014) значение *k*, равнялось 2,5.

Определим диапазон изменения  $k_2$  при тех же предположениях, что и  $k_1$ . Имеем из (2) следующее неравенство для  $k_2$ :  $(255 - mean) / mean \le k_2 \le (255 - mean) / SD$ . Для рассматриваемых изображений  $k_2$  удовлетворяет неравенству  $2,02 \le k_2 \le 2,65$ . Значение  $k_2$  было выбрано равным 2,3.

На *рис. 3* показаны изображения в псевдоцвете для VV и VH поляризаций, где синий цвет относится к областям подтопления без растительности, зеленый цвет – к частично подтопленной растительности. Данные изображения получены применением к изображениям отношений ( $\sigma_{13anpeля}^0 - \sigma_{10oкmября}^0$ ) и ( $\sigma_{18anpeля}^0 - \sigma_{10oкmября}^0$ ) двух порогов  $p_1$  и  $p_2$  ( $p_1=7$ ,  $p_2=219$  для первого отношения и  $p_2=232$  для второго отношения) при значениях эмпирических коэффициентов  $k_1=1,2$  и  $k_2=2,3$  в соответствии с работой (Long et al., 2014).



Рис. 3. Изображения в псевдоцвете отношений коэффициента обратного рассеяния на "паводковом" РЛИ к РЛИ "меженного" периода после пороговой обработки: синий цвет - области подтопления без растительности, ярко зеленый – области с частично подтопленной растительностью

# Обнаружение частично подтопленной растительности с использованием разложения по механизмам рассеяния

Еще одной возможностью обнаружить частично подтопленную растительность является использование эффектов двойного переотражения, когда радарный сигнал отражается от горизонтальной водной поверхности и нижних частей растительности (веток и стволов), что приводит к увеличению обратного рассеяния (Richards, Woodgate, Skidmore, 1987; Townsend, 2001; Hess et al., 2003). Подтопленная растительность может также иметь комбинацию двойного переотражения и объемного рассеяния (Brisco et al., 2013).

Для получения разложения данных по механизмам рассеяния, например, (Freeman, Durden, 1998), необходима съемка с полной поляриметрией. В наличии же S1 данные только с двумя поляризациями VV и VH. Объекты с объемным рассеянием можно выделить, используя VH поляризацию, но области с четным и поверхностным рассеянием выделить, используя амплитудную информацию с поляризациями VV и VH, нельзя. В данном случае может помочь использование текстурной информации.

В работе (Родионова, 2007) показано, что вычисление текстуры на одноканальном изображении (к примеру, одна поляризация) позволяет выделить разные типы поверхности (с поверхностным рассеянием, с объемным рассеянием, с четным рассеянием) с физичес-кой интерпретацией результатов. Анализ значений текстурных признаков (ТП) Харалика «контраст», «второй обратный момент» и «энтропия» (Haralick, 1973) показал, что «контраст», как и «энтропия», принимает наибольшие значения для объектов, для которых характерно рассеяние с двойным переотражением (например, городские застройки), и наименьшие значения – для объектов с поверхностным рассеянием (вода, луга, пустыри) (Родионова, 1994, 2007, 2012). Выделяя на текстурном изображении области с повышенными значениями «контраста» и «энтропии», можно обозначить области, где преобладает механизм четного рассеяния. На *рис. 4* показаны разностные текстурные изображения после пороговой обработки в псевдоцвете для двух поляризаций.

Сравнение областей с повышенными значениями контраста и энтропии (яркий красный, оранжевый, желтый и ярко-зеленые цвета на разностных текстурных изображениях на *рис. 4*) с выделенными по (Long et al., 2014) областями с частично подтопленной растительностью (*рис. 3*, ярко-зеленый цвет), показывает визуальное сходство расположения данных областей. Таким образом, увеличение значений ТП «контраст» и «энтропия» на разностных текстурных изображениях может служить индикатором для обнаружения подтопленной растительности.

Наземная валидация данных была не доступна для проверки результатов картирования поверхности воды и подтопленной растительности. Лишь найденные в Интернете показания гидропостов с замерами уровня воды на исследуемом участке свидетельствовали об усилении подтопления от 13 апреля к 18 апреля. Эту же тенденцию обнаруживают и вычисленные значения вдоль профилей на РЛИ «с подтоплением» (13 и 18 апреля) в области подтопленной растительности, и сравнение их с данными для «меженного» РЛИ 10 октября (см. *табл. 2*).



Рис 4. Разностные текстурные изображения в псевдоцвете с пороговой обработкой для выделения ярких областей. Red: cntr<sub>apr</sub>-cntr<sub>10oct</sub>, green: entr<sub>apr</sub>-entr<sub>10oct</sub>

Дата съемки	VV поляризация		VH поляризация	
	Среднее значение $\sigma^0$	СКО	Среднее значение $\sigma^0$	СКО
13.04.2015	0,104	0,083	0,021	0,015
18.04.2015	0,221	0,143	0,029	0,015
10.10.2015	0,047	0,022	0,011	0,005

Таблица 2

# Исследуемая область в Рязанской области на реке Мокша

Для проверки используемых методов для обнаружения областей подтопления был выбран участок в Рязанской области на реке Мокша. На данный участок и дату 11 апреля 2016 года были найдены радарные изображения S1 и оптические данные ИСЗ «Метеор М» № 2 (НИЦ «Планета»), что позволило оценить правильность определения зоны паводкового подтопления с помощью рассмотренных в данной статье методов.

Исходные радарные изображения S1 за 11 апреля 2016 года (паводок) и 2 октября 2015 года (межень) для VV поляризации показаны на *puc. 5*. Размер изображений 5495×5029 пикселов. На *puc. 6а* показаны изображения в псевдоцвете выделения поверхности воды и частично подтопленной растительности по (Long et al., 2014). Изображения получены методом двухпороговой обработки изображения отношения ( $\sigma_{11anpeля}^0 / \sigma_{2oктября}^0$ ) для выделения паводковой воды без растительности (синий цвет) и частично подтопленной растительностью, полученные по текстурным признакам Харалика (Haralick, 1973) «контраст» (ярко-красный цвет на изображениях с VV поляризацией) и «энтропия» (ярко-зеленый цвет на изо

бражениях с VH поляризацией). Выделение областей с подтопленной растительностью по текстурным признакам (*puc. 66*) не противоречит выделенным областям по методу (Long Bet al., 2014) (*puc. 6a*).



Рис. 5. Изображения Sentinel 1 после пространственного совмещения за 11 апреля 2016 года (паводок) (слева) и 2 октября 2015 года (межень) (справа) для VV поляризации



Рис. 6. (a) – изображения в псевдоцвете отношения ( $\sigma_{11anpens}^0 / \sigma_{2oктября}^0$ ) (синий цвет – вода без растительности, зеленый – частично подтопленная растительность; (б) – разностные текстурные изображения для определения областей с частично подтопленной растительностью

### Заключение

Поиск областей паводкового подтопления без априорной и дополнительной информации (оптика, наземная служба) показал, что качественная картина подтопления вполне определима с помощью пороговой обработки и методов поиска изменений на радарных изображениях сезона паводка и межени. При этом очень важно наличие оптических данных, в том числе и для улучшения точности определения областей подтопления по радарным данным.

Для обнаружения паводкового подтопления на текущую дату необходимо иметь два РЛИ: одно на дату паводка, второе на дату межени. Далее, методом поиска изменений – разности или отношения двух изображений получаем изображение, к которому применяется двухпороговая обработка по методу (Long et al., 2014): первый порог выделяет области открытой воды без подтопленной растительности (темные пикселы), второй – области с частично подтопленной растительностью (яркие пикселы).

Альтернативой для определения областей открытой паводковой воды при наличии известной водной поверхности является предложенная двухшаговая обработка, когда на

первом шаге проводится пороговая обработка РЛИ, где порог определяется по области с известной открытой водой, а на втором шаге вычисляется разность двух изображений. Водная поверхность, которой нет в меженный период, выявляется ярким тоном на разностном изображении, обнаруживая области паводковой воды. Оба подхода показывают схожие результаты.

Для нахождения частично подтопленной растительности на РЛИ используются два подхода: 1) по методу (Long et al., 2014) с выделением ярких пикселов на разностном изображении; 2) эффекты двойного переотражения, характерные для частично подтопленной растительности. Второй подход из-за отсутствия данных с полной поляриметрией осуществлен на основе использования текстурных признаков Харалика «контраст» и «энтропия». Увеличение значений ТП «контраст» и «энтропия» на разностных текстурных изображениях может служить индикатором для обнаружения подтопленной растительности. Оба подхода дают схожие результаты.

# Литература

- 1. Родионова Н.В. Статистический текстурный анализ радиолокационных изображений, полученных с ИСЗ АЛМАЗ // Исследование Земли из космоса. 1994. № 2. С. 59-64.
- 2. Родионова Н.В. Классификация поверхности на поляриметрических РЛИ с использованием текстуры и разложения по механизмам рассеяния // Исследование Земли из космоса. 2007. № 4. С. 8-14.
- 3. Родионова Н.В. Текстурная сегментация одноканальных изображений // Современные проблемы дистан-
- ционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 3. С. 65–69. Brisco B., Li K., Tedford B., Charbonneau F., Yun S., Murnaghan K. Compact polarimetry assessment for rice and wetland mapping // Int. J. Remote Sens. 2013. Vol. 34. Р. 1949–1964. 4.
- Di Baldassarre G., Schumann G., Brandimarte L., Bates P. Timely Low Resolution SAR Imagery to Support Floodplain Modeling: A Case Study Review // Survey in Geophysics. 2001. Vol. 32 (3). P. 255–69.
   Freeman A., Durden S.L. A three-component scattering model for polarimetric SAR data // IEEE Trans. GRS.
- 1998. Vol. 36 (3). P. 963–973.
   Haralick R.M. Textural Features for Image Classification // IEEE. Trans. Syst. Man and Cybernetics. 1973.
- Vol. 3 (6).P. 610-621.
- Henry J.B., Chastanet P., Fellah K., Desnos Y.L. ENVISAT multi-polarised ASAR data for flood mapping // International Journal of Remote Sensing. 2006. Vol. 27 (10). P. 1921–1929. Hess L.L., Melack J.M., Filoso S., Wang Y. Delineation of inundated area and vegetation along the Amazon flood-8.
- 9.
- Press E.E., Metack J.M., Phoso S., Wang P. Demetation of mandated area and vegetation along the Amazon nood-plain with the SIR-C synthetic aperture radar // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 1995. Vol. 33. P. 896–904.
   Hess L., Melack J., Novo E., Barbosa C., Gastil M. Dual season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon Basin // Remote Sens. Environ. 2003. Vol. 87. P. 404–428.
- 11. Long S., Fatoyinbo T., Policelli F. Flood extent mapping for Namibia using change detection and thresholding with SAR // Environ. Res. Lett. 2014. Vol. 9. 035002. DOI: 10.1088/1748-9326/9/3/035002.
- 12. Martinis S., Rieke C. Backscatter Analysis Using Multi-Temporal and Multi-Frequency SAR Data in the Context of Flood Mapping at River Saale, Germany // Remote Sens. 2015. Vol. 7. P. 7732-7752.
- 13. *Musa Z.N., Popescu I., Mynett A.* A review of applications of satellite SAR, optical, altimetry and DEM data for surface water modelling, mapping and parameter estimation // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2015. Vol. 19. P. 3755– 3769. URL: www.hydrol-earth-syst-sci.net/19/3755/2015/. DOI: 10.5194/hess-19-3755-2015.
- 14. *Richards J.A., Woodgate P.W., Skidmore A.K.* An explanation of enhanced radar backscattering from flooded forests // Int. J. Remote Sens. 1987. Vol. 8. P. 1093–1100.
- 15. *Scheuchl B., Flett D., Caves R., Cumming I.* Potential of RADARSAT-2 data for operational sea ice monitoring // Can. J. Remote Sens. 2004. Vol. 30. P. 448–461.
- 16. Schumann G., Matgen P., Hoffmann L., Hostache R., Pappenberger F., Pfister L. Deriving distributed roughness values from satellite radar data for flood inundation modeling // J. Hydrol. 2007. Vol. 344. P. 96–111. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.06.024.
- 17. Schumann G., Hostache R., Puech C., Hoffmann L., Matgen P., Pappenberger F., Pfister L. High-resolution 3-D flood information from radar imagery for flood hazard management // IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens. 2007. Vol. 45 (6). P. 1715-1725.
- Townsend P.A. Mapping seasonal flooding in forested wetlands using multi-temporal SAR // Photogramm. Eng. Remote Sens. 2001. Vol. 67. P. 857–864.
   White L., Brisco B., Dabboor M., Schmitt A., Pratt A. A Collection of SAR Methodologies for Monitoring
- Wetlands // Remote Sens. 2015. Vol. 7. P. 7615-7645. DOI: 10.3390/rs70607615.

# Image analysis of Sentinel 1 for flood detection in Altai Region in April 2015 and Ryazan Region in April 2016

## N.V. Rodionova

## V.A. Kotel'nikov FIRE RAS, Fryazino 141190, Russia *E-mail: rnv@ire.rssi.ru*

The present study is dedicated to flooded area detection using radar images of Sentinel 1 for two Russian rivers -Aley river (Altai Krai) in April 2015, and Moksha river (Ryazan Region) in April 2016. Multi-temporal image flood mapping involves acquiring flood and non-flood images of the same area and combining them to get an image which indicates change by colors appearing in the image. The thresholds for flooded areas and flooding under vegetated areas are determined in accordance with the method of (Long et al., 2014): the first threshold allocates a region of open water without waterlogged vegetation (dark pixels), and the second one - a region with partially waterlogged vegetation (bright pixels). Another way to determine flooded area is to use a known water surface with known backscattering coefficient, and to determine difference of two images: the water surface, which is not in non-flood image, appears in bright tone in the difference image. Another possibility to map partially waterlogged vegetation is to use the effect of double bounce scattering. This approach due to the lack of the full polarimetry data is performed by means of Haralick's texture features 'contrast' and 'entropy'.

Keywords: remote sensing, SAR imagery, flooding, flooded in vegetation, polarization, change detection, multitemporal images, difference image, textural features

#### Accepted: 31.01.2017 DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-136-146

## References

- Rodionova N.V., Statisticheskii teksturnyi analiz radiolokatsionnykh izobrazhenii, poluchennykh s ISZ ALMAZ (Statistical texture analysis of "ALMAZ" SAR images), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 1994, No. 2, pp. 59–64. Rodionova N.V., Klassifikatsiya poverkhnosti na polyarimetricheskikh RLI s ispol'zovaniem tekstury i razlo-1.
- 2. zheniya po mekhanizmam rasseyaniya (Unsupervised terrain classification on fully polarimetric SAR images using decomposition and texture), Issledovanie Zemli iz kosmosa, 2007, No. 4, pp. 8-14.
- Rodionova N.V., Teksturnaya segmentatsiya odnokanal'nykh izobrazhenii (One channel image textural segmentation), Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa, 2012, Vol. 9, No. 3, pp. 65–69. 3.
- Brisco B., Li K., Tedford B., Charbonneau F., Yun S., Murnaghan K., Compact polarimetry assessment for rice and wetland mapping, *Int. J. Remote Sens.*, 2013, Vol. 34, pp. 1949–1964. Di Baldassarre G., Schumann G., Brandimarte L., Bates P., Timely Low Resolution SAR Imagery to Support Floodplain Modeling: A Case Study Review, *Survey in Geophysics*, 2001, Vol. 32, No.3, pp. 255–69. 4
- 5.
- Freeman A., Durden S.L., A three-component scattering model for polarimetric SAR data, *IEEE Trans. GRS*, 1998, Vol. 36, No. 3, pp. 963–973. 6.
- Haralick R.M., Textural Features for Image Classification, IEEE. Trans. Syst. Man and Cybernetics, 1973, Vol. 3, 7. No. 6, pp. 610–621.
- Henry J.B., Chastanet P., Fellah K., Desnos Y.L., ENVISAT multi-polarised ASAR data for flood mapping, *International Journal of Remote Sensing*, 2006, Vol. 27, No. 10, pp. 1921–1929. 8
- 9. Hess L.L., Melack J.M., Filoso S., Wang Y., Delineation of inundated area and vegetation along the Amazon
- floodplain with the SIR-C synthetic aperture radar, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1995, Vol. 33, pp. 896–904. Hess L., Melack J., Novo E., Barbosa C., Gastil M., Dual season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon Basin, *Remote Sens. Environ.*, 2003, Vol. 87, pp. 404–428. 10
- 11. Long S., Fatoyinbo T., Policelli F., Flood extent mapping for Namibia using change detection and thresholding with SAR, *Environ. Res. Lett.*, 2014, Vol. 9, 035002. DOI: 10.1088/1748-9326/9/3/035002.
- 12. Martinis S., Rieke C., Backscatter Analysis Using Multi-Temporal and Multi-Frequency SAR Data in the Context of Flood Mapping at River Saale, Germany, *Remote Sens.*, 2015, Vol. 7, pp. 7732–7752. 13. Musa Z.N., Popescu I., Mynett A., A review of applications of satellite SAR, optical, altimetry and DEM
- data for surface water modelling, mapping and parameter estimation, Hydrol. Earth Syst. Sci., 2015, Vol. 19,
- pp. 3755–3769. URL: www.hydrol-earth-syst-sci.net/19/3755/2015/ doi:10.5194/hess-19-3755-2015.
  14. Richards J.A., Woodgate P.W., Skidmore A.K., An explanation of enhanced radar backscattering from flooded forests, *Int. J. Remote Sens.*, 1987, Vol. 8, pp. 1093–1100.
- Scheuchl B., Flett D., Caves R., Cumming I., Potential of RADARSAT-2 data for operational sea ice monitoring, *Can. J. Remote Sens.*, 2004, Vol. 30, pp. 448–461.
- 16. Schumann G., Matgen P., Hoffmann L., Hostache R., Pappenberger F., Pfister L., Deriving distributed roughness values from satellite radar data for flood inundation modeling, J. Hydrol., 2007, Vol. 344, pp. 96–111. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.06.024.
- 17. Schumann G., Hostache R., Puech C., Hoffmann L., Matgen P., Pappenberger F., Pfister L., High-resolution 3-D flood information from radar imagery for flood hazard management, IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens., 2007, Vol. 45, No. 6, pp. 1715-1725
- Townsend P.A., Mapping seasonal flooding in forested wetlands using multi-temporal SAR, Photogramm. Eng. 18. *Remote Sens.*, 2001, Vol. 67, pp. 857–864.
  19. White L., Brisco B., Dabboor M., Schmitt A., Pratt A., A Collection of SAR Methodologies for Monitoring
- Wetlands, Remote Sens., 2015, Vol. 7, pp. 7615–7645. DOI: 10.3390/rs70607615.