

Анализ изображений SENTINEL 1 для зоны подтопления в Алтайском крае в апреле 2015 года

Н.В. Родионова

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Московская область, г. Фрязино., пл. ак. Введенского, д. 1, e-mail: rnv@ire.rssi.ru

В работе рассматривается вопрос об определении области подтопления в Алтайском крае в апреле 2015 года для района реки Алей между городом Рубцовском и поселком Локоть по радарным изображениям Sentinel 1. Качественная картина подтопления определяется с помощью пороговой обработки калиброванных амплитудных изображений. Дополнительной помощью к пороговой обработке стало совместное использование для классификации по механизмам рассеяния амплитудных данных с согласованной и кросс поляризациями и текстурного признака Харалика 'обратный момент', а также текстурная сегментация.

This paper examines the question of defining the area of flooding in the Altai krai in April 2015 for the district of Aley river between the city of Rubtsovsk and the village of Lokot by Sentinel 1 radar images. A qualitative picture of the flooding is determined using a thresholding of the calibrated amplitude images. Additional assistance to threshold processing was sharing for classification by scattering mechanisms of amplitude co- and cross polarization data with Haralick texture feature 'inverse moment', as well as texture segmentation.

Введение

Использование РСА (радар с синтезом апертуры) данных является предпочтительным средством для картирования 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 пикселям на радарных изображениях, что контрастирует с неводными поверхностями, 3) в сравнении с оптическими сенсорами, РСА дает уникальную возможность обнаруживать стоячую воду под растительностью. Обнаружение частично подтопленной растительности возможно из-за эффектов многократных переотражений: радарный сигнал отражается от горизонтальной водной поверхности и нижних частей растительности (веток и стволов), что приводит к увеличению обратного рассеяния [1, 2]. 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 [3].

В данной работе используются Sentinel 1 данные С-диапазона IW (interferometric wide swath) моды с поляризациями (VV+VH) и 20 м пространственным разрешением за 13 и 18 апреля 2015 года в период подтопления.

Выбор поляризации играет существенную роль в детектировании открытой водной поверхности. В ряде работ сообщается о преимуществе использования кросс-поляризаций HV и VH [4, 5] 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 [5]. В работе [6] предлагается использовать особенности взаимодействия волн с разными

поляризациями с водной и неводной поверхностью для оценки уровня воды на основе механизма рассеяния на базе многовременных изображений. Хорошо известно, что значение коэффициента обратного рассеяния σ^0 на согласованной поляризации описывает механизм двойного переотражения, тогда как кросс-поляризация характеризует объемное рассеяние. Таким образом, временной анализ значений σ^0 на согласованной и кросс- поляризациях даст возможность характеризовать эволюцию уровня воды в областях с подтопленными строениями и растительностью, благодаря временному изменению двойного переотражения и объемного рассеяния на этих объектах. Спокойная (невзволнованная) гладкая вода характеризуется поверхностным рассеянием, которое достаточно хорошо определяется с помощью малых значений σ^0 и увеличенного значения текстурного признака Харалика - второго обратного момента (inverse moment- invm) [7].

Исследуемая область

На рис. 1 показаны Google map (а), топографическая карта (б) исследуемой области в Алтайском крае на участке реки Алей от поселка Локоть до города Рубцовска и исходные данные за 13 апреля - амплитудное изображение VV поляризации (в), где красный прямоугольник выделяет исследуемый фрагмент.

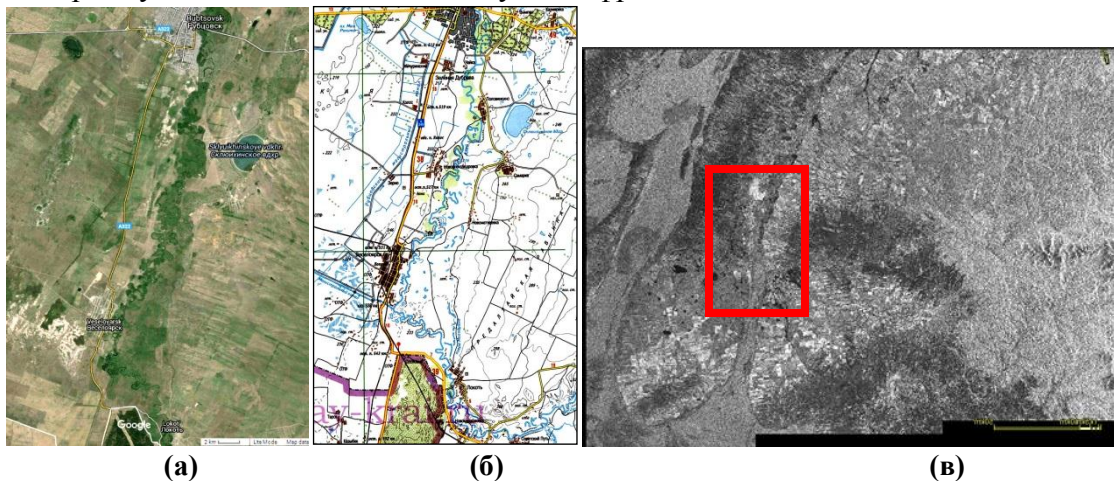


Рис.1. Google map (а), топокарта (б) и исходное изображение VV поляризации за 13 апреля (в)

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. Малые реки ещё не успели вскрыться от ледостава, а на их поверхность «хлынули» потоки талого снега со склонов, образуя стремительный водный сток, движущийся в сторону полей и близлежащих населённых пунктов. 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.

Водохозяйственная обстановка на 13 апреля: высокие дневные ($+9^{\circ}\text{C}$) и ночные температуры ($+2^{\circ}\text{C}$), резкое снеготаяние, повышения 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 ($+1\text{см/сутки}$), но с меньшей интенсивностью.

Исходные данные

В работе использовались разновременные данные (13 и 18 апреля 2015 года) аппарата Sentinel 1 мода IW с поляризациями VV+VH. Каждый из файлов имеет размер порядка 1 Гб. 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.

Работа с изображениями S1 осуществлялась с помощью находящейся в открытом доступе программы S1Toolbox [8]. Предварительная обработка данных включала в себя три этапа: 1) выделение фрагмента subset (с расширением .dim), 2) радиометрическую калибровку и 3) ко-регистрацию разновременных изображений.

На рис. 2 показаны амплитудные ко-регистрированные калиброванные фильтрованные изображения за 13 и 18 апреля с поляризациями VV и VH. Размер изображений $2268*3812$ пикселей. В верхней части изображений ярко выделяется южная часть г. Рубцовска. Недалеко на юго-восток от него – почти круглая чаша Склюихинского водохранилища. На изображении с VH поляризацией четко выделяется река Алей с городом Веселоярском по левому берегу. В нижней части изображения выделяется лес и поворот р. Алей в районе поселка Локоть.

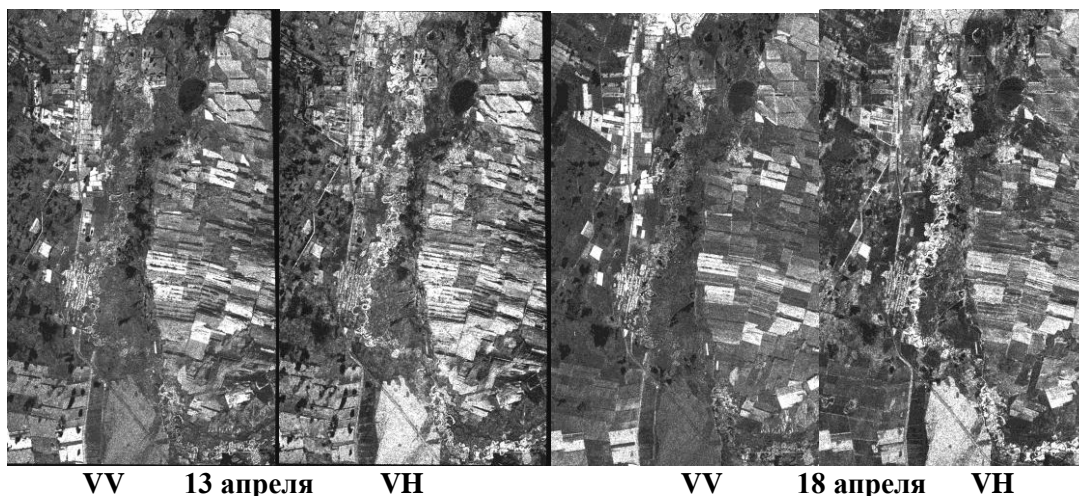


Рис. 2. Калиброванные амплитудные фильтрованные изображения с поляризациями VV (слева) и VH (справа) за 13 и 18 апреля 2015 г.

Используемые методы для картирования подтопленных участков

Используемые в работе методы нахождения областей подтопления включают в себя пороговую обработку, неконтролируемую классификацию, текстурную сегментацию и классификацию по механизмам рассеяния с использованием двойной поляризации и текстуры.

Пороговая обработка

Плоская спокойная водная поверхность действует как зеркальный отражатель, который рассеивает энергию радара в сторону от сенсора. Это приводит к относительно темным пикселям на радарных изображениях, что контрастирует с неводными поверхностями. Выбор порога в данной работе сделан по калиброванным средним

значениям σ^0 на водной поверхности Склюихинского водохранилища. Выбор порога по среднему значению σ^0 приводит к недооценке областей затопления. Значения порогов разные для каждой поляризации и даты. Так, пороговые значения σ^0 для 13 апреля составляют для VV поляризации 0.014 и VH поляризации 0.0039, для 18 апреля - для VV поляризации 0.044 и VH поляризации 0.0074. На рис. 3 показаны изображения для обеих дат и поляризаций после пороговой обработки.

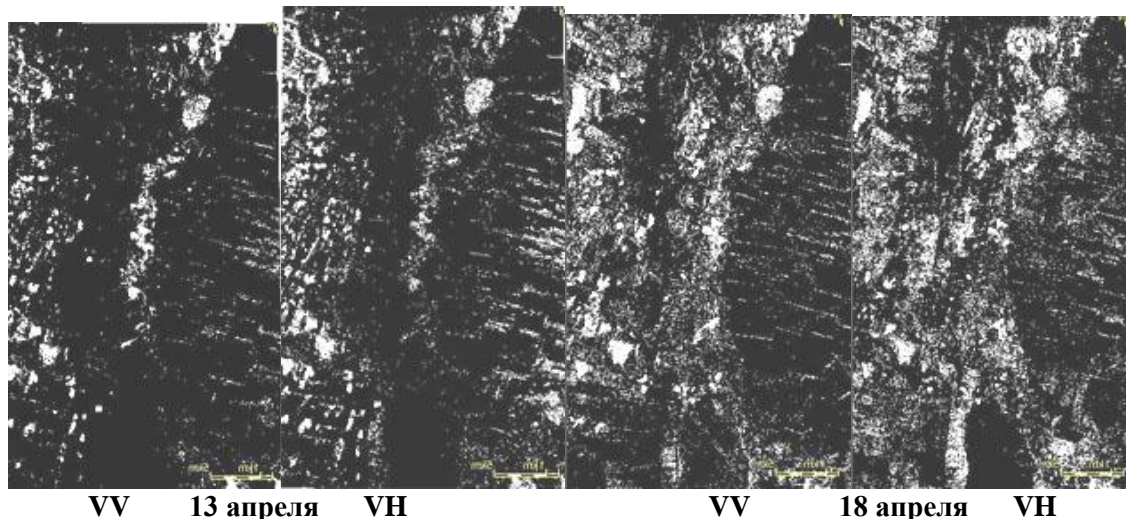


Рис. 3. Выделение подтопленных территорий (светлые области) по пороговой обработке

Следует отметить значительное увеличение светлых областей 18 апреля в сравнении с 13 апреля, т.е. подтопление увеличивалось после 13 апреля. Данный вывод подтверждается информацией с сайта [9], где отмечается, что 17 апреля подтоплены 15 населенных пунктов в 9 районах Алтайского края, и уровень воды на гидропосту в Рубцовске превышает отметку подтопления на 10 см. Тогда как 23 апреля отмечено подтопление 20 населенных пунктов в 10 муниципальных образованиях Алтайского края, и в Рубцовске уровень воды на гидропосту превышает контрольную отметку уже на 27 см.

Использование текстурной информации для определения областей подтопления

Текстура, описываемая статистиками второго и более высоких порядков, является источником пространственной информации на РЛИ и помогает интерпретировать без априорной информации амплитудные изображения. Недостатком является сильная зависимость текстуры от фильтрации спеклов. В данной работе текстурная сегментация изображений проводилась на базе статистик второго порядка Харалика [7]: контраста - меры распространения уровней яркости, обратного момента - меры локального сходства и энтропии - мера беспорядка на изображении. Текстурные признаки (ТП) вычислялись на РЛИ в движущемся окне [5x5] пикселей при $N=32$, где N - число градаций уровней яркости, определяющее размер матрицы смежности. Значение 'контраста' растет с ростом перепада яркости между соседними точками на изображении. Для 'обратного момента' повышенное значение дают области с малым перепадом яркости, к которым относятся гладкие водные поверхности. Энтропия имеет тем большее значение, чем больше хаоса.

На рис. 4 показаны фильтрованные текстурные изображения для каждой даты и поляризации с RGB кодировкой: red-контраст, green –энтропия, blue- обратный момент.

Сравнение текстурных изображений за 13 и 18 апреля обнаруживает увеличение областей с синим цветом 18 апреля, что опять же свидетельствует об увеличении гладких областей (подтопленных) и, соответственно, областей с повышенным значением обратного момента (синий цвет). То есть текстурная информация подтверждает результат, полученный при пороговой обработке.

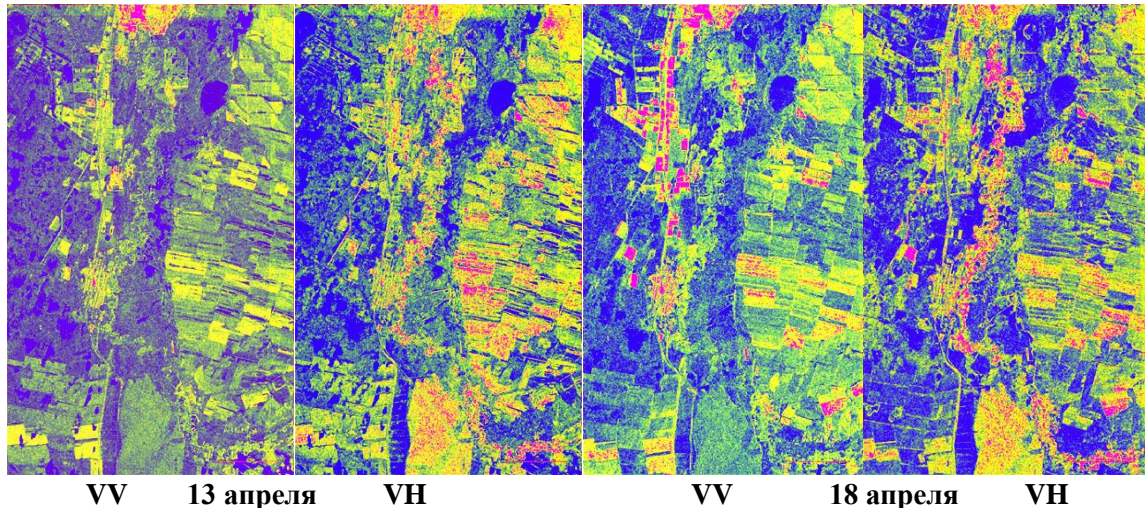


Рис. 4. Текстура сегментация с RGB кодировкой red-контраст, green –энтропия, blue- обратный момент

Неконтролируемая классификация

К фрагментам РЛИ за 13 и 18 апреля после радиометрической калибровки изображений был применен алгоритм неконтролируемой классификации k-means с числом кластеров 10 и числом итераций 14 на базе программы S1Toolbox. Результат для VV- и VH- поляризаций показан на рис. 5. Каждое из изображений одноканальное, т.е. используется только одна поляризация. Легенда для всех изображений одинаковая. Интерпретировать данные изображения сложно по сравнению с текстурными, поскольку в последних текстурные признаки имеют физический смысл.

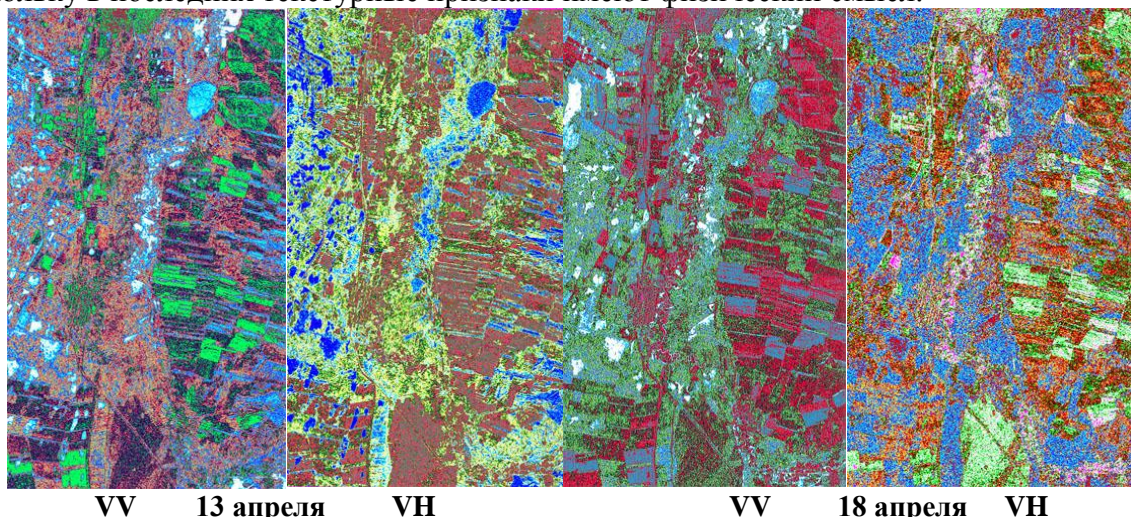


Рис. 5. Неконтролируемая классификация k-means разновременных изображений

Использование двух поляризаций и текстуры

Поляриметрическая информация тесно связана с механизмами обратного рассеяния. Для каждого сеанса (13 и 18 апреля) построены RGB изображения с использованием двух поляризаций VV и VH в RGB кодировке: red –VV, green- VH, blue

– VV/VH, результат показан на рис. 6 (а). Значение коэффициента обратного рассеяния σ^0 на согласованной поляризации VV описывает механизм двойного переотражения, тогда как кросс-поляризация VH характеризует объемное рассеяние. Тогда при используемой кодировке области с зеленым цветом соответствуют местности с растительностью (деревья, кусты), а области с оттенками красного - строениям. Интерпретация VV/VH в данном случае затруднена. Последний момент можно в некоторой степени преодолеть, используя классификацию по механизмам рассеяния, когда в RGB кодировке использовать опять же для red-VV поляризацию, для green- VH поляризацию, но для blue использовать текстурный признак Харалика ‘обратный момент’, характеризующий поверхностное рассеяние. На рис. 6 (б) показаны изображения в данной кодировке при совместном использовании амплитудных данных разной поляризации, ответственных за двойное переотражение и объемное рассеяние и текстурных данных, описывающих поверхностное рассеяние.

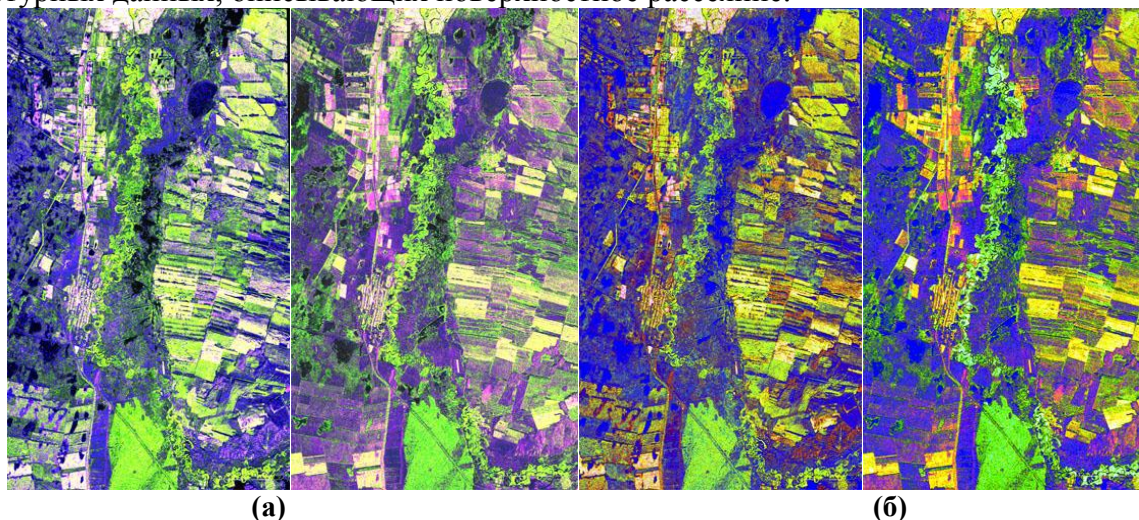


Рис. 6. (а) - двухканальная сегментация с использованием двух поляризаций: 13 апреля (слева) и 18 апреля (справа) в RGB кодировке: red – VV, green –VH, blue – VV/VH; (б) -классификация по механизмам рассеяния: 13 апреля (слева) и 18 апреля (справа) в RGB кодировке: red – VV (double bounce), green –VH (volume), blue – обратный момент на VV поляризации (surface)

Сравнение двухканальных изображений (рис. 6 (б)) (две поляризации) с одноканальными текстурными (особенно, для VH поляризации) (рис. 4) показывает их визуальное сходство. То есть текстурная информация, полученная по одноканальному изображению, способна помочь основному методу (пороговой обработке) определить области подтопления.

Заключение

Поиск областей подтопления без априорной и дополнительной информации (оптика, наземная служба) показал, что качественная картина подтопления вполне определима с помощью пороговой обработки калиброванных амплитудных изображений. Остальные рассмотренные методы возможного определения областей подтопления могут быть дополнительной помощью к основному методу (пороговой обработке), причем из этих методов наибольшую информацию с возможностью ее физической интерпретации дает совместное использование для классификации по механизмам рассеяния амплитудных данных с согласованной и кросс поляризациями и текстурного признака ‘обратный момент’, а также текстурная сегментация. При наличии нескольких одновременных изображений на период паводка можно определить тренд развития паводковой ситуации по нескольким из них.

Литература

1. Richards, J.A., Woodgate, P.W., Skidmore, A.K. An explanation of enhanced radar backscattering from flooded forests// *Int. J. Remote Sens.* 1987. V.8. P.1093–1100.
2. Townsend, P.A. Mapping seasonal flooding in forested wetlands using multi-temporal SAR// *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2001. V.67. P. 857–864
3. Martinis S., and 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. V.7. P.7732-7752.
4. 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. V. 45. № 6. P. 1715–1725.
5. Henry, J. B., Chastanet, P., Fellah, K. & Desnos, Y. L. ENVISAT multi-polarised ASAR data for flood mapping// *International Journal of Remote Sensing.* 2006. V. 27. № 10. P. 1921–1929.
6. Niculescu S., Lardeu C., Mercie G., David L. Change Detection in Floodable Areas of the Danube Delta using Radar Images// *SAGEO 2013, Sep 2013, Brest, France.* P.499-519, 2013.
7. Haralick R.M. Textural Features for Image Classification// *IEEE. Trans. Syst. Man and Cybernetics.* 1973. V. 3. № 6. P. 610-621.
8. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/toolboxes/sentinel-1>
9. <http://www.katun24.ru/news/35375/>