



УДК 556.044

ПРОЯВЛЕНИЕ ЗОНЫ СМЕШЕНИЯ РЕК ОКА И ВОЛГА В УСЛОВИЯХ ТАЯНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА

Даниличева Ольга Аркадьевна, младший научный сотрудник отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН
Институт прикладной физики РАН
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Капустин Иван Александрович, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН, старший научный сотрудник ВГУВТ
Институт прикладной физики РАН
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46
Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Ермаков Станислав Александрович, д.ф.-м.н., зав. отделом радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН, зав.кафедрой ГТКиЭБС ВГУВТ
Институт прикладной физики РАН
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46
Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 18-45-520004, 20-05-00561) и гранта РГО "Экспедиция Плавающий университет волжского бассейна" № 07/2020-Р

Аннотация. Анализ спутниковых радиолокационных и оптических изображений области слияния рек Ока и Волга в период активного таяния ледового покрова. Показано проявление зоны смешения рек на начальных этапах таяния как образование снежницы, которая в дальнейшем способствует образованию проталин в области слияния двух потоков. Объяснен механизм увеличения обратного радиолокационного рассеяния на снежнице.

Ключевые слова: зона смешения, таяние льда, дистанционное зондирования, спутниковый мониторинг, обратное рассеяние

Слияние рек – один из самых сложных процессов в речной морфологии, который влияет на русловые деформации, перемешивание вод и распространение загрязнений. Часто область слияния рек визуально проявляется в виде тонкой переходной области или

зоны смешения (ЗС), разделяющей два речных потока. Зона смешения разделяет два речных квазипараллельных потока, которые практически не перемешиваются между собой, и в длину может достигать значения порядка 10^2 ширин реки или больше [1, 2]. Характеристики зоны смешения, в частности её ширина, являются важными индикаторами интенсивности процессов турбулентного перемешивания и обмена импульсом и веществом между двумя потоками, поэтому исследование физических механизмов, влияющих на формирование и проявление зоны смешения рек, является важной задачей, в частности в области дистанционного экологического мониторинга речных потоков.

Типичным примером слияния рек с проявлением зоны смешения являются реки Ока и Волга. Ранее нами были проведены систематические исследования области слияния этих рек [3] в летне-осенний период, в ходе которых измерялись скорости речных потоков, солёности, температуры воды, мутности, параметры органических поверхностных пленок и т.д. По результатам проведённых измерений и анализу спутниковых изображений было показано проявление ЗС рек Ока и Волга.

В настоящей работе проведён анализ последовательных спутниковых оптических и радиолокационных изображений области слияния Оки и Волги в период активного таяния ледового покрова. В ходе работы анализировались снимки, полученные спутниками Sentinel-1/2 в марте 2019 года с помощью радиолокатора с синтезированной апертурой (SAR) и мультиспектрального сенсора (MSI), соответственно (рис.1).

Зачастую, таяние рек начинается у берегов (образуются закраины) под влиянием начавшегося нагревания грунта и стекания со склонов талых вод, что и можно заметить на спутниковых изображениях до точки слияния двух потоков. Закраины видны на изображениях как тёмные области с правого берега Волги и с левого берега Оки. Однако образование этих закраин также может быть связано и с выбросами тепловых электростанций и заводов, находящихся по правому берегу Волги и по левому берегу Оки.

После точки слияния двух рек хорошо видно, что таяние льда в русле начинается с области зоны смешения. На начальных этапах таяния в области слияния рек образуется снежница, которая на оптических изображениях проявляется как серая область (рис.1а), а на радиолокационных как светлая (более яркая, относительно прилегающего ледового покрова) (рис.1б). При дальнейшем увеличении среднего тренда температуры воздуха снежница продолжает таять, и возникают проталины (рис. 1б), что впоследствии приводит к полному исчезновению снежницы (рис.1в). Такое проявление может быть связано как с выбросами заводов и тепловых электростанций, упомянутых выше, так и с турбулентным перемешиванием речных потоков, при которых вихри минимального размера диссипируют в тепло, способствуя ускорению таяния льда в области ЗС.

Исходя из анализа результатов предыдущих исследований [3], в частности полученных значений температуры и солёности воды сливающихся потоков за летне-осенний период, можно было бы ожидать, что первым должен был растаять лёд на Оке. Действительно, солёность и температура воды в Оке обычно выше, чем в Волге, в частности, в осенний период разность температур имеет порядок 5 градусов, а разность солёностей порядок 120 мг/л. Однако анализ спутниковых изображений показывает, что первым тает лёд над Волгой (рис. 1г), что может быть связано с существованием большого количества водохранилищ на реке и их эксплуатационными режимами, в частности, с нестационарными режимами сброса вод, которые могут способствовать механическому разрушению ледового покрова.

Можно обратить внимание, что на радиолокационных изображениях обратное рассеяние для снежницы значительно сильнее, чем для областей прилегающего льда, покрытого не растаявшим снегом. Согласно [4] основными компонентами сигнала обратного рассеяния SAR на снегу являются объёмное обратное рассеяние и обратное рассеяние на поверхности от границы раздела воздух-снег. При низкой влажности, в случае сухого снега, диэлектрический контраст между воздухом и снегом невелик и преобладает компонента объёмного рассеяния, поэтому обратное рассеяние не

чувствительно к шероховатости поверхности. При увеличении влажности составляющая объемного рассеяния уменьшается, а составляющая поверхностного рассеяния увеличивается, и обратное рассеяние становится чувствительным к шероховатости поверхности. Таким образом, когда поверхность негладкая, увеличение влажности снега приводит к увеличению обратного рассеяния, что и можно наблюдать на радиолокационных изображениях (рис. 1б), сравнивая области снежицы (влажный снег) и прилегающего льда, покрытого не растаявшим снегом (сухой снег).

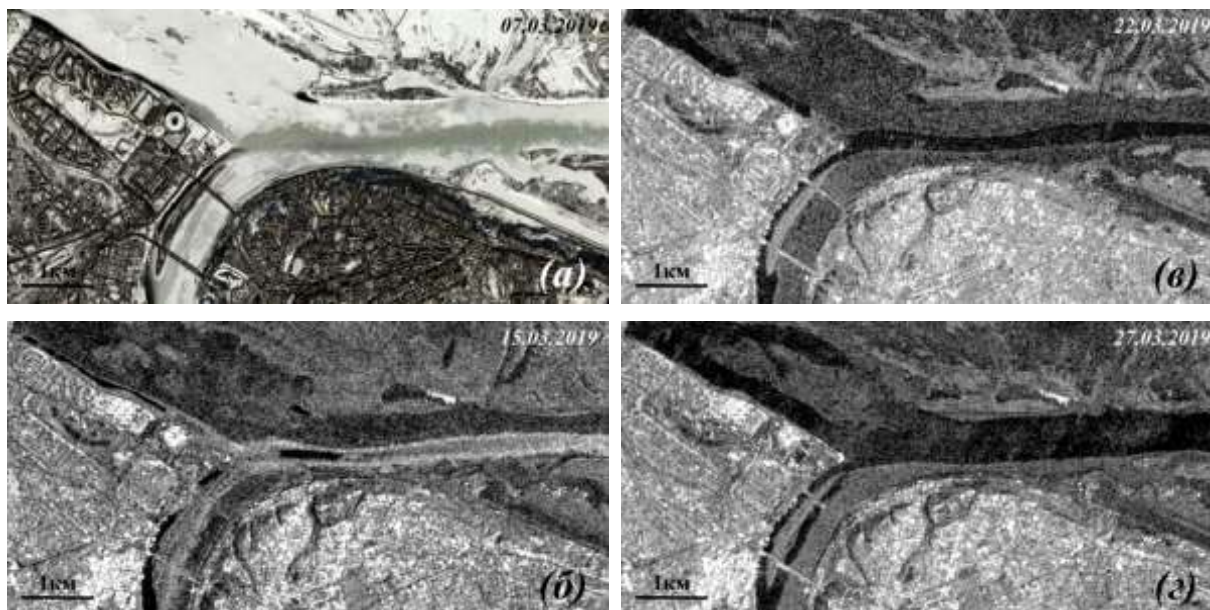


Рис.1. Последовательность спутниковых оптических (а) и радиолокационных (б,в,г) изображений области слияния Оки и Волги за март 2019 года, полученные с помощью Sentinel-1 SAR и Sentinel-2 MSI.

В ходе работы проанализированы спутниковые радиолокационные изображения зоны слияния рек Ока и Волга в период вскрытия льда. Показано проявление зоны смешения в виде снежицы, которая приводит к образованию проталин. Её образование предположительно связано с выбросами с заводов и тепловых электростанций и турбулентным перемешиванием речных потоков. Увеличение обратного рассеяния радиолокационного сигнала на снежице предположительно происходит за счёт преобладания поверхностного рассеяния (увеличения влияния шероховатости) при возрастании влажности снежно-ледового покрова. В условиях положительных среднесуточных температур во второй половине марта происходило интенсивное таяние льда, что приводило к появлению областей открытой воды, в том числе частично покрытых фрагментированным льдом. Такая полынья хорошо видна на рис.1б в области ЗС, протяженность этой области росла со временем. При этом, несмотря на то, что скорость ветра составляла значения порядка 3-5 м/с [5], что заметно превосходит порог возбуждения ветровых волн, последние, очевидно, были достаточно слабыми, в том числе за счет эффектов затухания ветровых волн в присутствии льдин [6]. Это привело к проявлению ЗС в виде протяженной темной полосы на рис.1в, а также предположительно обусловило слабое рассеяние микроволн и после вскрытия “волжского рукава” ЗС (см. рис. 1г).

Список литературы:

1. River mixing. / Rutherford, J. C. - John Wiley & Son Ltd, Chichester, 1994. – 347 p.
2. Smith, R., Daish, N. C. Dispersion far downstream of a river junction // Physics of Fluids A: Fluid Dynamics. – 1991. – V. 3. – №. 5. – P. 1102-1109.

3. Ermakov, S.A., Molkov, A.A., Kapustin, I.A., Lazareva, T.N., Danilicheva, O.A., Shomina, O.V., Smirnova, M.V., and Lavrova, O.Y. Satellite and in-situ observations of a river confluence zone. // Proc. SPIE 11150, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions. – 2019. - 111501S.
4. Shi, J.; Dozier, J. Inferring snow wetness using C-band data from SIR-C's polarimetric synthetic aperture radar // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – 1995. – V. 33. – P. 905–914.
5. Архив погоды в Нижнем Новгороде за март 2019 года
<http://weatherarchive.ru/Temperature/Nizhny%20Novgorod/March-2019>
6. Ermakov S.A., Lazareva T.N., Leshev G.V., and Vostryakova D.V. Experimental study of wave damping due to ice floes in application to radar remote sensing of the marginal ice zone // Proc. SPIE 11529, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions. – 2020. – 1152909.

THE VOLGA-OKA MIXING ZONE IN ICE COVER MELTING CONDITIONS

Olga A. Danilicheva, Ivan A. Kapustin, Stanislav A. Ermakov

Abstract. Analysis of satellite radar and optical images of the Oka-Volga confluence zone during the active ice cover melting. The mixing zone of rivers as the formation of wet snow at the initial stages of melting, which further contributes to the formation of open water patches in the area of rivers confluence zone is shown. The mechanism of increasing radar backscattering of the wet snow is explained.

Keywords: mixing zone, remote sensing, satellite monitoring, radar backscattering.