



УДК 556.044

Капустин Иван Александрович, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН, старший научный сотрудник кафедры ГТК и ЭБС ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Вострякова Дарья Васильевна, старший лаборант-исследователь отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН

Мольков Александр Андреевич, к.ф.-м.н., научный сотрудник отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН, старший научный сотрудник кафедры ГТК и ЭБС ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Даниличева Ольга Аркадьевна, младший научный сотрудник отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН

Лещев Георгий Владимирович, инженер отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН

Ермаков Станислав Александрович, д.ф.-м.н., заведующий отделом радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН, заведующий кафедрой ГТК и ЭБС ФГБОУ ВО «ВГУВТ», профессор

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), 603950, г. Нижний Новгород. БОКС - 120, ул. Ульянова, 46.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

НАТУРНЫЕ ПОДСПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПЕННЫХ ПОЛОСОВЫХ СТРУКТУР, СВЯЗАННЫХ С ОСОБЕННОСТЯМИ ТЕЧЕНИЙ В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ВОДЫ

Ключевые слова: ADCP измерения, спутниковые изображения, слики, конвергенция течений, температурный градиент, расход жидкости

Аннотация. В работе представлены результаты исследования структуры пенных полос на водной поверхности. В ходе натурных экспериментов в акватории Горьковского водохранилища, одновременно с получением оптического спутникового изображения Sentinel 2A были проведены квазисинхронные измерения полей течения и ветра. В месте расположения полосы была обнаружена область конвергенции течений, связанная с температурным градиентом и неравномерном расходом жидкости через ГЭС. Предложено физическое объяснение образования пенной полосы.

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

Секция I Технические и экологические аспекты эксплуатации флота, водных путей и гидросооружений 1

Формирование пенных полос на поверхности водоемов – распространенное явление в условиях умеренного и сильного ветра. Существует несколько возможных механизмов образования таких полос, оно может быть связано с гидродинамической неустойчивостью сильно нелинейных гравитационных волн, химическим составом воды и биологической активностью естественной среды [1]. В процессе обрушения гравитационных волн воздух, попадая в воду, порождает множество пузырьков, на которых адсорбируются растворенные в воде поверхностно-активные вещества (ПАВ), препятствующие выходу газа из полости пузырька и его растворению. Источником образования пузырьков могут также являться растворенные в толще воды газы. Пенные структуры могут наблюдаться на спутниковых оптических изображениях, поскольку обладают цветовым контрастом, а также давать значительные контрасты на радиолокационных изображениях, так как могут быть связаны со сликами ПАВ.

В настоящей работе проведен подспутниковый эксперимент, в котором одновременно с получением оптического спутникового изображения Sentinel 2A были проведены квазисинхронные измерения полей течения и ветра с использованием комплекса оборудования, установленного на маломерном судне «Геофизик». Оборудование включало акустический доплеровский профилограф течений (ADCP WorkHorse Monitor 1200 kHz) для измерения профиля течения по глубине и температуры воды в верхнем слое; ультразвуковой анемометр WindSonic для измерения скорости и направления приводного ветра. Для осуществления навигации и последующего построения двумерных полей течений и ветра, с последующим наложением их на карту, использовались данные GPS-приемников. Для обработки данных ADCP использовались специализированные программы Winriver 1 (анализ, усреднение и вывод данных), GPS MapEdit 2.1.78.8 (обработка навигационной информации). Проводилось усреднение по 100 полученным на разрезе профилям скорости (около 1 минуты измерений), соответствующим измерительным зондирующим импульсам ADCP (пингам). Для удобства представления данных и привязки координат и скоростей в разных проекциях, а также дальнейшей работы с ними использовался программный пакет MS Excel (2010), а для построения карт скоростей течений и поля температур - Surfer 7.0 (13.0.383).

Измерения были проведены в южной части Горьковского водохранилища между р. Белая на левом берегу и р. Троща на правом было сделано несколько гидрологических разрезов водохранилища. В ходе эксперимента наблюдалась незначительная облачность, которая, однако, позволила увидеть на спутниковом изображении пенные структуры на поверхности водохранилища.

С целью исследования корреляции наблюдаемых пенных полос со структурой приповерхностных течений векторные поля течений были наложены на спутниковое изображение (Sentinel-2, 16.05.19, 9:13). Для анализа корреляции может быть использована методика построения течения в тонком приповерхностном слое, описанная в [2], когда к полям течений, считаемым невозмущенными (на глубине 4 метра), прибавляется ветро-волновой дрейф, в среднем составляющий 3 % от скорости приводного ветра. В ходе эксперимента фиксировался преимущественно западный ветер со скоростью около 2-2.5 м/с. Анализ полей показал, что пенные полосы вытянуты по направлению течения в тонком поверхностном слое, но построенное по такому принципу векторное поле скоростей в тонком приповерхностном слое не коррелировало с полем течений на глубине 1,05 м, что указывало на неприменимость методики [2]; в данном случае – ограниченный водоем с неравномерным попуском воды через ГЭС [3,4].

На векторном поле течения на глубине 1,05 м было обнаружено, что имеется система двух сталкивающихся потоков (течения на север и течение на юг), что указывает на наличие области конвергенции течений. При увеличении глубины меняется направление течения (с северного направление на южное). Зона конвергенции образуется соседними циркуляционными ячейками, состоящими из разнонаправленных потоков. Анализ поля вертикальной скорости на разрезах показал, что в верхнем слое в области конвергенции

горизонтальной компоненты скорости вертикальная составляющая скорости направлена вниз. В среднем жидкость опускается в области конвергенции со скоростью около 3 см/с.

Пенная полоса, наблюдаемая в этой области, объясняется концентрированием поверхностно-активных веществ и пены в зоне конвергенции течений. Форма пенной полосы объясняется, с одной стороны, вытягиванием по направлению ветра и, с другой стороны, поджатием соседними циркуляционными ячейками по бокам.

Выводы.

В ходе подспутникового эксперимента обнаружена система двух встречных потоков в акватории Горьковского водохранилища; в зоне конвергенции наблюдалась пенная полоса, вытянутая вдоль направления ветра. Форма полосы на изображении приблизительно соответствует изолиниям конвергенции горизонтальной скорости. В области конвергенции происходит локализация поверхностно-активных веществ (ПАВ) и пены, маркирующей эту область. Наблюдаемые на спутниковых изображениях пенные структуры могут использоваться для получения информации о структуре течения в верхнем слое водоемов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 18-77-10066).

Список литературы:

1. Шарков, Е.А. Обрушающиеся морские волны: структура, геометрия, электродинамика. М.: Научный мир, 2009. 304 с.
2. Капустин, И.А. Об оценке вклада приводного ветра в кинематику сликов на морской поверхности в условиях ограниченных разгонов волнения / И.А. Капустин, А.В. Ермошкин, Н.А. Богатов, А.А. Мольков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, № 2. С. 163–172.
3. Капустин И.А., Мольков Структура течений и глубины в озерной части Горьковского водохранилища// Метеорология и Гидрология 2019 №7
4. <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer/>

FIELD SUB-SATELLITE OBSERVATIONS OF FOAM STRIP STRUCTURES DUE TO THE FEATURES OF CURRENT IN SURFACE LAYERS OF WATER

Kapustin Ivan Alexandrovich, Vostryakova Daria Vasilevna, Molkov Alexander Andreevich, Danilicheva Olga Arkadyevna, Leshchev Georgy Vladimirovich, Ermakov Stanislav Alexandrovich

The paper presents the research results of the structure of foam strips on the water surface. Quasi-synchronous measurements of flow and wind fields and optical satellite image Sentinel 2A were simultaneously obtained during experiments in the Gorky reservoir. Area of flows convergence was found at the location of the foam strip. Area of convergence associated with the temperature gradient and uneven flow of fluid through the hydroelectric station.

Keywords: ADCP measurements, satellite images, slicks, convergence of currents, temperature gradient, water flow.