

ВЕТРОВАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В РАССЧИТАННОЙ ПО СПУТНИКОВЫМ (ИК) ИЗОБРАЖЕНИЯМ СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ

О. О. Коростылёва¹, М. Г. Алексанина^{1,2}

¹ДВФУ, korostyleva.olya@gmail.com

²ИАПУ ДВО РАН, margeo@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

В работе на примере Японского моря представлены эксперименты по обнаружению экмановского дрейфа в скоростях перемещений на поверхности моря, рассчитанных по спутниковым ИК изображениям. В северном полушарии по теории Экмана средний ветровой коэффициент составляет 0,02 и направление ветрового течения на поверхности отклоняется от направления ветра на 45° вправо. С увеличением глубины скорость течения уменьшается, а его направление в северном полушарии всё больше отклоняется вправо от направления ветра и течения на поверхности, в результате суммарный полный поток воды, создаваемый ветром, следует в направлении, перпендикулярном действию ветра [3].

ГИПОТЕЗА

Эксперимент базировался на представлении об океане как плотной упаковке вихрей. В результате векторного усреднения скоростей перемещений на поверхности моря по акватории с линейным размером в несколько сотен километров, на которой отсутствуют стационарные течения, должна доминировать компонента экмановского дрейфа (Рис. 1).

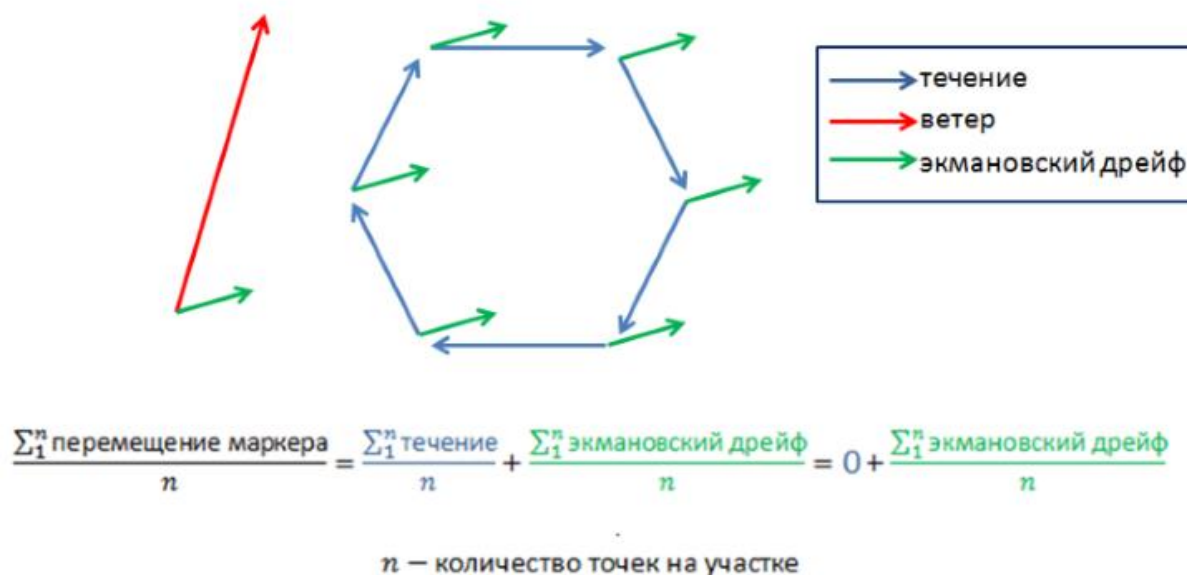


Рисунок 1 - Схема формирования экмановского дрейфа на круговом вихре

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

Для акватории Японского моря были отобраны пары изображений, где есть одни и те же свободные от облачности участки с интервалом по времени 10-14 часов. Такое требование необходимо, чтобы построить скорости течений по паре ИК изображений. Скорости течений на поверхности моря рассчитываются автоматически по морским маркерам температуры поверхности океана (ТПО) [1]. Для визуализации спутниковых изображений используется

специальное программное обеспечение GLANCE [2]. Для получения скорости приводного ветра был создан специальный программный сервис WindSearch для поиска и извлечения данных по ветру над заданной акваторией в заданный интервал времени из базы данных NCEI (National Centers for Environmental Information) [4], который формирует результаты поиска в текстовые файлы. NCEI [4] предоставляет данные по ветру на FTP-сервер в виде файлов формата NetCDF, которые поступают каждые 6 часов и имеют разрешение сетки 0,25 на 0,25 градусов. Период записи: 09.07.1987 – по настоящее время, высота над уровнем моря: 10 метров. Данные о ветре получаются в результате объединения данных с нескольких спутников (до шести спутников с июня 2002 года). Для сопоставления данных по ветру с другими данными в программе WindSearch предусмотрена функция совмещения данных с разных пространственных сеток. Также в программе WindSearch предусмотрены фильтрация и анализ стабильности данных поля ветра.

Для 12-ти выбранных участков было проведено совмещение пространственных сеток и посчитаны средняя векторная скорость течений на поверхности моря и средняя векторная скорость ветра (Рис. 2).

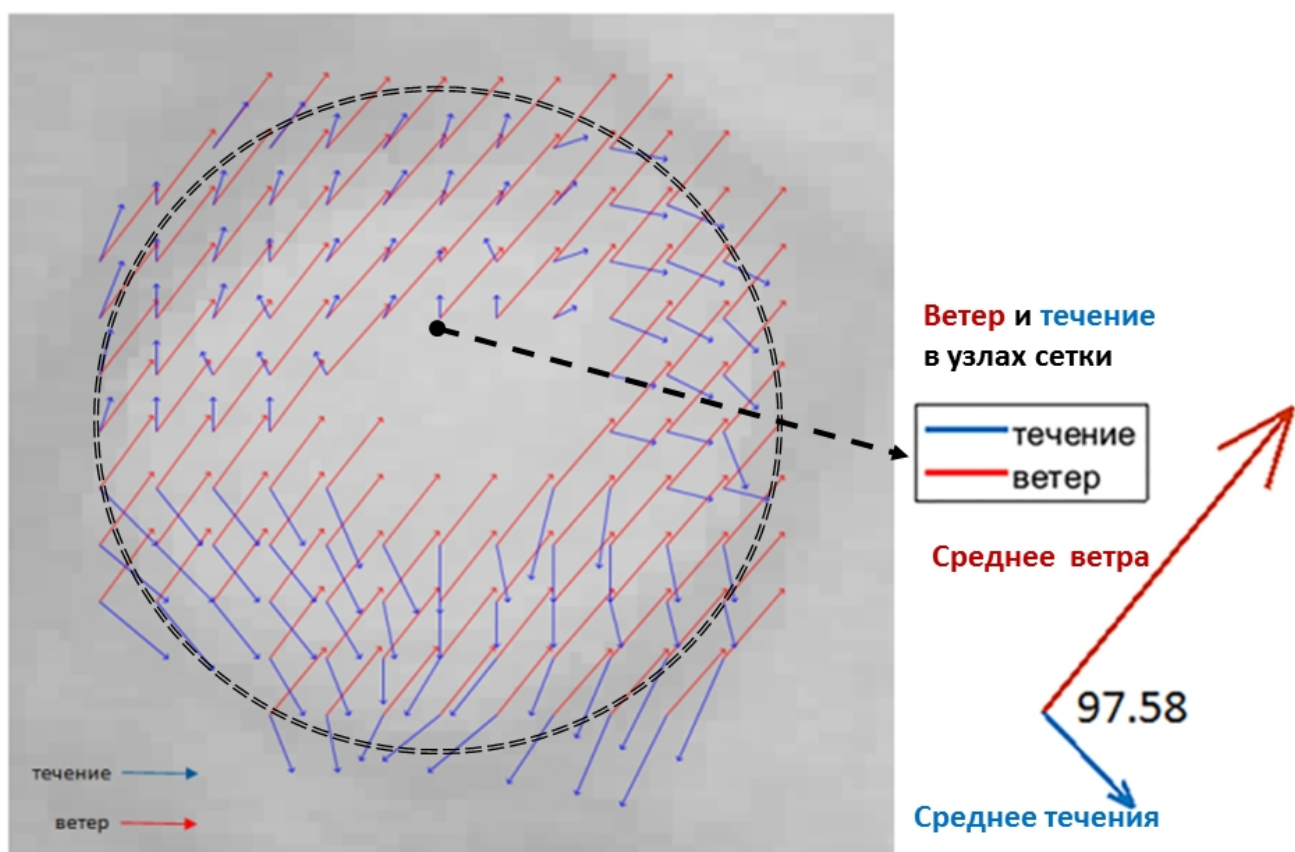


Рисунок 2 - Слева – фрагмент спутникового изображения в тепловом (ИК) канале с вихревой структурой за 13.04.2017 с нанесенными рассчитанными скоростями течений на поверхности моря (синий цвет) и скоростями ветра в этих же узлах сетки (красный цвет). Справа – средняя векторная скорость течений на поверхности моря (синий цвет) и средняя векторная скорость ветра (красный цвет).

Для оценки стабильности ветра на каждом участке рассчитывались размах скорости и направления ветра за сутки. Для оценки стабильности средней скорости перемещения на поверхности моря считался размах скорости течений по 4-м секторам, на которые разбивался исследуемый участок. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Соотношение средних величин ветра V_w и рассчитанных скоростей течений V_s на поверхности Японского моря

	Дата и участок	Скорость ветра, V_w м/с	Размах угла ветра за сутки	Скорость течения V_s м/с	Размах скорости течения по 4 секторам акватории, м/с	% V_s/V_w	Угол между V_w и V_s
1.	13.06.2017 41-42.3 132-133.4	4,671±0,145	20,077°	0,128±0,007	0,194	2,73	101,21°
2.	12.07.2017 39.5-41.5 130-133	3,881±0,19	30,171°	0,201±0,011	0,131	5,17	51,89°
3.	8.09.2017 39.8-41.4 130.5-132.5	4,608±0,204	117,077°	0,223±0,018	0,688	4,84	95,69°
4.	18.09.2017 40-41.5 130-132.4	7,825±0,192	25,596°	0,274±0,007	0,145	3,5	105,98°
5.	21.09.2017 40-41.6 130.4-132.3	5,266±0,494	124,968°	0,194±0,011	0,057	3,69	89,99°
6.	30.09.2017 41.3-43 136-138	11,807±0,175	22,881°	0,081±0,01	0,134	0,69	172,96°
7.	7.10.2017 40.7-42.1 133.3-135.5	2,025±0,498	239,347°	0,323±0,008	0,182	15,96	87,35°
8.	13.04.2017 41-42 135-138	10,845±0,186	63,6°	0,073±0,003	0,085	0,67	76,91°
9.	13.04.2017 40-41 130-133	5,993±0,098	97,776°	0,098±0,006	0,13	1,64	108,36°
10.	23.09.2006 40-42 132-135	2,328±0,146	150,73°	0,121±0,011	0,112	5,21	66,66°
11.	1.10.2012 41-43 130-132	6,82±1,174	78,996°	0,067±0,008	0,12	0,98	31,58°
12.	1.05.2017 38-40 130-132	1,984±0,161	161,094°	0,039±0,008	0,058	1,94	41,65°

Также для скоростей ветра и течений строились розы в математическом представлении (Рис.3). Совместный анализ результатов проведенных экспериментов со скоростями течений, рассчитанными по маркерам ТПО на последовательности спутниковых изображений, и соответствующим значениям скорости ветра, выявил 7 случаев (серый цвет ячеек), когда

наблюдались скорости ветра около или более 5 м/сек. Из этих 7-и случаев 5 случаев (жирным шрифтом) показали наличие экмановского дрейфа.

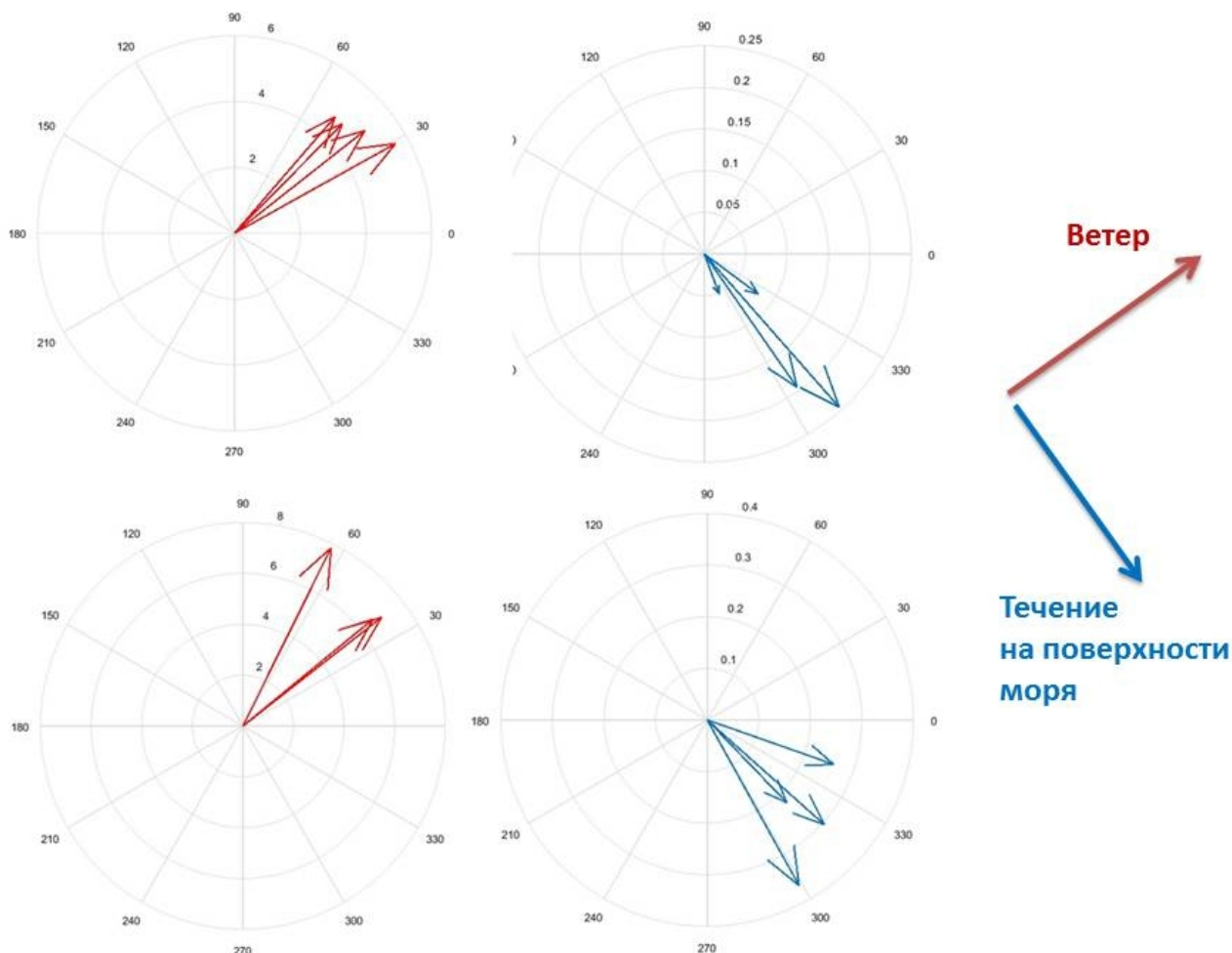


Рисунок 3 – Два примера построенных в математическом представлении роз скорости ветра (красный цвет) и течений на поверхности моря по секторам исследуемых акваторий

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные эксперименты показали, что в спутниковых оценках скорости перемещений на воде экмановский дрейф проявляется: направление экмановского дрейфа уверенно отклоняется вправо от направления ветра примерно на 90° в 70% случаев. Это говорит о том, что спутниковые оценки скорости течений на поверхности моря соответствуют полному переносу потока, а не поверхностному течению. При хорошем перемешивании это вполне ожидаемый результат, что соответствует теории. Тем не менее, сама величина дрейфовой компоненты скорости не оценивается с достаточной точностью. Наблюдается нестабильность этих величин, обусловленная, возможно, наличием фоновых стационарных течений. На спутниковых изображениях в поле температуры экмановский дрейф явно не проявляется, возможно, из-за того, что в результате перемешивания температурный маркер перестает быть маркером перемещения. То есть качественное соответствие экмановскому дрейфу наблюдается, но для уверенного вывода необходимо провести дополнительные исследования и

эксперименты. Для количественного соответствия и расширения доказательной базы нужно провести более тонкий анализ.

Работа поддержана Программой фундаментальных исследований Президиума РАН "Фундаментальные основы прорывных технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности" проект "Диагностика морской среды дистанционными методами и обнаружение подводных объектов".

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексанин А. И., Алексанина М. Г., Карнацкий А. Ю. Автоматический расчет скоростей поверхностных течений океана по последовательности спутниковых изображений //Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2013. Т.10. № 2. С.131-142.
2. Программа GLANCE [Электронный ресурс] –URL: <http://www.satellite.dvo.ru/contentid-18.html>
3. Шлыгин И.А. Популярная гидрометеорология и судовождение: М.: Транспорт, 1987. 80 с.
4. National Centers for Environmental Information [Электронный ресурс] –URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/blended-global/blended-sea-winds>