

**СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ТЕЧЕНИЙ В ОЗЕРЕ ШИРА
ПО НАТУРНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ 2014-2015 гг**

Лидия Алексеевна Компаниец, канд. физ.-мат. наук, доцент, с.н.с.

Тел.: 8(391)2498811, E-mail: kla@icm.krasn.ru

ФГБУН ИВМ СО РАН

http://icm.krasn.ru

Николай Николаевич Голенко, канд. физ.-мат. наук, в.н.с.

Тел.: 8(4012)956911, E-mail: nikolay_golenko@mail.ru

АО ФГБУН ИО РАН им. П.П. Ширшова

http://atlantic.ocean.ru

Ольга Станиславовна Володько

Тел.: 8(4012)595595, E-mail: OPitalskaya@kantiana.ru

ФГАОУ ВО "Балтийский федеральный университет им. И. Канта"

http://kantiana.ru

Ольга Андреевна Липина

Тел.: 8(923)3489518, E-mail: oa.lipina@gmail.com

ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет"

http://sfu-krasn.ru

В статье на основе данных натуральных наблюдений проанализирована изменчивость ветровых течений на озере Шира в период 2014-2015 гг. Проведен спектральный анализ внутренних волн, вызванных переменным ветром.

Ключевые слова: динамика ветровых течений, спектральный анализ.

Введение



Л.А. Компаниец

Динамика течения в озере Шира интенсивно изучается прежде всего в связи с тем, что эта информация является основой для анализа перемещения примесей и живых организмов, на основе наличия которых оценивается экологическая обстановка в озере.

Озеро Шира является бессточным озером, приток реки Сон мал, основным фактором возникновения внутренних волн является ветровое воздействие. Ветер на озере имеет нестационарный характер, так что появление внутренних волн – вполне ожидаемый эффект.

Развитие приборной базы открывает широкие возможности для исследования ветровых течений в водоемах. Однако есть еще вопросы, на которые хотелось бы найти ответы.

Один из них – определение величины и интенсивности внутренних волн.

По своей классификации озеро Шира относится к категории меромиктических озер, т.е. озер, в которых перемешивание воды происходит до определенной глубины.

В 2015 г. произошло полное перемешивание озера Шира, что не происходило с начала прошлого века. Это



Н.Н. Голенко



О.С. Володько



О.А. Липина

перемешивание привело, как минимум, к изменению химического и, как следствие, биологического состава воды. Появилась уникальная возможность оценить влияние этого природного явления на характер течения в озере с использованием спектральных характеристик течения, которые широко применяются для анализа внутренних волн [1; 2].

В статье на основе данных натуральных наблюдений проведена оценка сезонной изменчивости течений на озере Шира в летний период 2014-2015 гг. Методом спектрального анализа выделены частоты распространения внутренних волн и их интенсивность.

1. Приборы и методы измерений

При измерении скоростей течения в 2014-2015 гг. использовались ADCP фирмы R.D. Instruments (в дальнейшем RDI) 600 и 1200 кГц.

Постановка натуральных экспериментов является достаточно сложной задачей, в которой необходимо осуществлять координатную привязку станций, на которых проводились наблюдения, учитывать пространственное положение приборов на поверхности и дне озера. При этом необходимо принимать во внимание характер грунта на дне озера, текущие ветровые условия, которые могут оказать существенное влияние на проведения экспериментов. Акустический доплеровский профилограф течения (Acoustic Doppler Current Profiler, далее — ADCP) дает возможность применить новую технологию гидрометрических наблюдений и в настоящее время широко используется для измерения поля скоростей в поперечном сечении потока и расхода воды в реках, а также в озерных и морских водах. Он используется при проведении гидрометрических съемок, ведении мониторинга поверхностных вод и в научных исследованиях.

При этом столб жидкости разбивается на слои, по каждому из которых измеряется средняя скорость. В зависимости от выбранного размера слоя определяется глубина, на которой прибор начинает измерения и расстояние от дна или поверхности, на котором результаты измерений еще приемлемы.

При измерениях 2014-2015 гг. использовалась постановка приборов на дне. Измерение скоростей течений в озере Шира проводились в июне-июле 2014 - 2015 гг. в двух точках Т1 (глубина 11 м) и Т6 (глубина 16 м).

Для оценки воздействия ветра анализировались данные метеостанции, находящейся в поселке Шира, расстояние от которого до озера 12 км, и данные локальной метеостанции Vantage PRO 2, расположенной на берегу озера.

2. Анализ изменения силы и направления ветра и скорости течения

Измерения величины и силы ветра в поселке проводятся один раз в три часа, в то время как соответствующие величины на озере мерились каждые 15 минут.

На рис. 1-3 изображены сила и направление ветра по данным в поселке и на озере и величина и направление скорости течения по измерениям приборами ADCP-600 в период длительного периода измерений лета 2015 г. на нескольких ближайших к поверхности горизонтах.

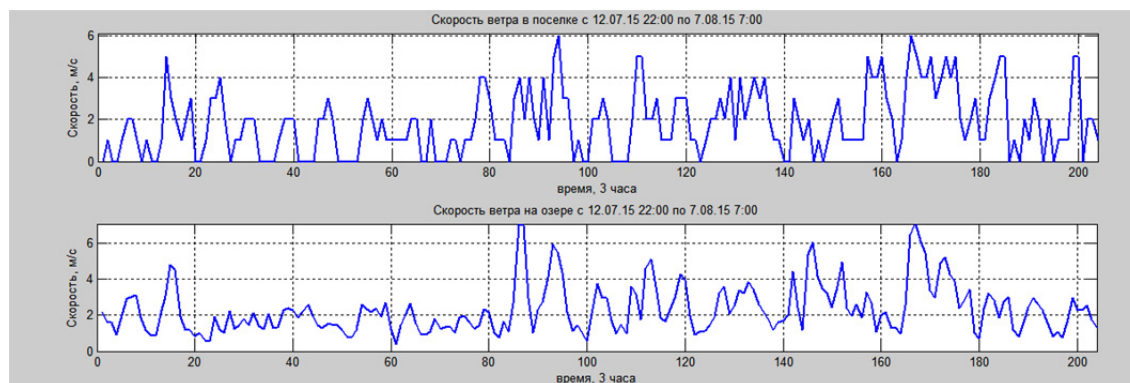


Рис. 1. Сила ветра для длительного измерения 2015 г

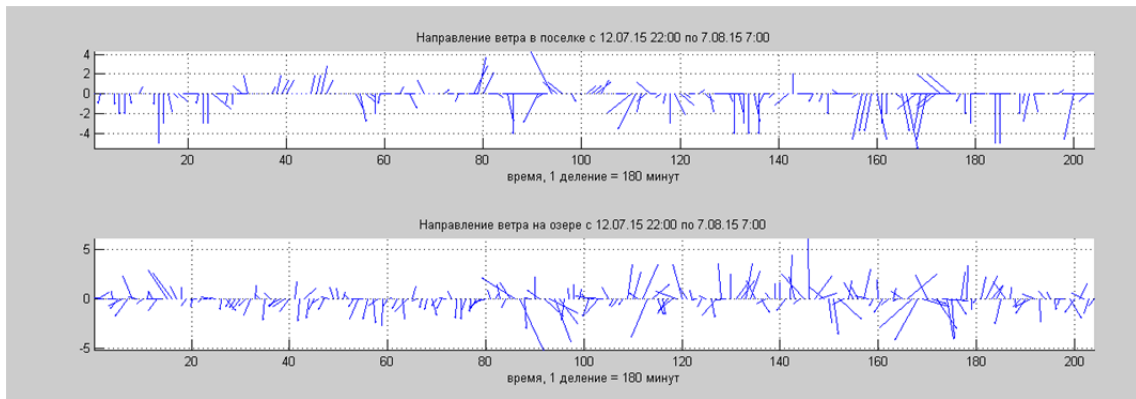


Рис. 2. Игольчатые диаграммы ветра для длительного измерения 2015 г

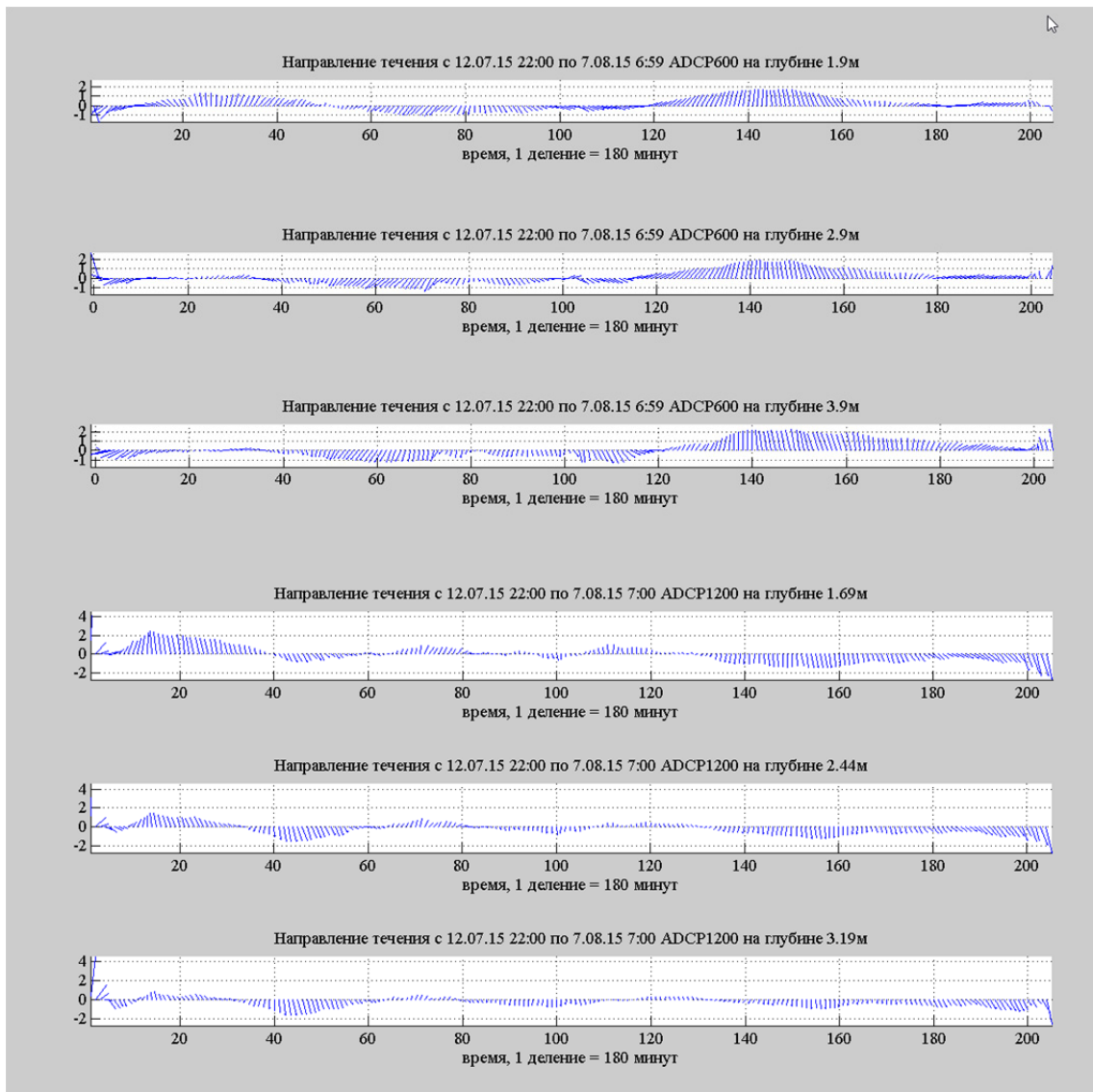


Рис. 3. Игольчатые диаграммы скорости течения для длительного измерения 2015 г

Периоды максимального увеличения скорости ветра по данным в поселке и на озере хорошо согласованы, но что касается направления, то картину течения легче интерпретировать, если использовать частые измерения на озере. В начале периода измерений преимущественное направление ветра - северное, потом южное, потом вновь северное. В соответствии с этим перестраивается и течение в приповерхностном слое.

В табл. 1-2 занесены средние значения модуля скорости по наблюдениям 2014-2015 гг.

Таблица 1

Средние значения модуля скорости на разных горизонтах (см/с) 2014 г

ADCP 1200		ADCP 600	
Глубина, м	Среднее значение модуля скорости	Глубина, м	Среднее значение модуля скорости
9,7	4.1291	12,9	3.03434
8,95	3.76456	11,9	2.86511
8,2	3.50519	10,9	2.79824
7,45	3.34472	9,9	2.71652
6,7	3.18509	8,9	2.71268
5,95	3.23297	7,9	2.71329
5,2	3.31561	6,9	2.71737
4,45	3.73625	5,9	2.80538
3,7	3.77629	4,9	2.9285
2,95	3.62584	3,9	3.22362
2,2	3.6123	2,9	3.41053

Таблица 2

Средние значения модуля скорости на разных горизонтах (см/с) 2015 г

ADCP 1200		ADCP 600	
Глубина, м	Среднее значение модуля скорости	Глубина, м	Среднее значение модуля скорости
10.69	4.2402	13.9	3.06704
9.94	3.90748	12.9	2.96342
9.19	3.77757	11.9	3.20099
8.44	3.86449	10.9	3.71576
7.69	3.91557	9.9	3.98401
6.94	4.09626	8.9	3.63797
6.19	3.97926	7.9	3.00625
5.44	3.64512	6.9	2.72105
4.69	3.41397	5.9	2.51051
3.94	3.31413	4.9	2.24005
3.19	3.3097	3.9	2.14815
2.44	3.46476	2.9	2.29533

Средние значения за период наблюдений в 2014 году и 2015 году хорошо согласованы для одинаковых глубин.

3. Спектральный анализ скорости по наблюдениям 2014-2015 гг

Для нахождения спектральных оценок были выбраны ряды зональной U и меридиональной V составляющих трехмерной скорости течения на глубине 2,6 м и 7,6 м, усредненные по времени измерения раз в полчаса. При построении графиков спектральной плотности мощности использовался метод модифицированных периодограмм Уэлча [3] с различными весовыми функциями (Хэмминга, Ханна, Блэкмена-Харриса, Кайзера). Длина окна выбиралась так, чтобы с учетом заданного перекрытия сигнал был разделен на 8 фрагментов. Перекрытие задавалось равным половине длине окна. Для определения показателей качества оценки спектральной плотности мощности были вычислены среднее квадратичное отклонение и добротность данной оценки [4-7]. С учетом данных показателей и необходимого разрешения спектра для построения спектральной плотности мощности составляющих скоростей течения U и V (S_u и S_v) было выбрано окно Блэкмена-Харриса. Графики данных спектральных оценок, отрисованные в логарифмической шкале, представлены на рис. 4-7.

Как видно из рис.4-7, по данным прибора RDI 600 в 2014 г. на глубине 2,6 м энергонесущие максимумы зональной составляющей выделяются на периодах 16, 10,6, и 7,1 час, на глубине 7,6 м – 21,3, 9,1 и 5,8 часов. В спектрах меридиональной составляющей на глубине 2,6 м - 21,3, 9,1, 7,1 и 5,8 часов, на глубине 7,6 м – 21,3, 9,1 и 7,1 часов. В спектрах 2015 г. на глубине 2,6 м энергетические максимумы для обеих составляющих расположены на 10,6 и 5,8 часах, на глубине 7,6 м для зональной составляющей – 16, 9,1, 5,3 часа, для меридиональной – 16 и 5,3 часов.

По данным прибора RDI 1200 в 2014 г. на глубине 2,6 м энергонесущие максимумы зональной составляющей выделяются на периодах 10,6, и 5,3 часа, на глубине 7,6 м – 21,3, 10,6 и 5,3 часа. В спектрах меридиональной составляющей на глубинах 2,6 м и 7,6 м - 21,3, 10,6 и 5,3 часа. В спектрах 2015 г. на глубине 2,6 м энергетические максимумы для обеих составляющих расположены на 10,6 и 5,3 часа, на глубине 7,6 м для зональной составляющей – 10,6 и 5,3 часа, для меридиональной – 16 и 5,3 часа. Оценки спектров для обоих приборов представлены в табл.3.

Таблица 3

Результаты спектрального анализа составляющих скоростей течений озера Шира.

глубина 2,6 м		RDI 600				RDI 1200			
		2014 г.		2015 г.		2014 г.		2015 г.	
частота	период (часы)	S_u	S_v	S_u	S_v	S_u	S_v	S_u	S_v
0,0469	21,3		0,0035				0,0045		
0,0625	16	0,0055							
0,0938	10,6	0,0022		0,0025	0,0016	0,0034	0,0052	0,0018	0,0019
0,1094	9,1		0,0033						
0,1406	7,1	0,0017	0,0021						
0,1719	5,8		0,0018	0,0028	0,0047				
0,1875	5,3					0,0039	0,0045	0,0025	0,0023
глубина 7,6 м									
частота	период (часы)	S_u	S_v	S_u	S_v	S_u	S_v	S_u	S_v
0,0469	21,3	0,0106	0,0036			0,0028	0,0090		
0,0625	16			0,0031	0,0009				0,0041
0,0938	10,6					0,0034	0,0137	0,0007	
0,1094	9,1	0,0049	0,0048	0,0021					
0,1406	7,1								
0,1719	5,8	0,0005							
0,1875	5,3			0,0045	0,0032	0,0058	0,0025	0,0089	0,0074

Вывод

Средние скорости течения и спектральные характеристики течения в летний период до и после осуществления полного перемешивания воды в озере Шира существенных изменений не претерпели.

Литература

1. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т.1,2. – М.: Мир, 1986.
2. Старицын Д.К., Лобанова П.В. Межгодовая изменчивость течений в Японском и Охотском морях по данным спутниковых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014, – Т. 11. – № 1. – стр. 163-181.
3. Welch P.D. The use of fast Fourier transform to the estimation of power spectra. IEEE Trans. Audio and Electronics, 15, p. 70-73.
4. Марпл С.Л. (мл.). Цифровой спектральный анализ и его приложения / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.
5. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. – М., СПб., Киев: Вильямс, 2004.
6. Голд Б., Рэйдер Ч. Цифровая обработка сигналов / Пер. с англ.; Под ред. А.М. Трахт-

мана – М.: Сов. радио, 1973.

7. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Пер. с англ.; Под ред. Ю.И. Александрова – М.: Мир, 1978.

Seasonal dynamics of Shira lake currents by field observations in 2014-2015 years

Lidiya Kompaniets, PhD, Associate Professor, Senior Researcher, ICM SB RAS

Nikolay Golenko, PhD, leading research worker, AB F IO RAS. P. Shirshov Institute

Olga Volodko, "Immanuel Kant Baltic Federal University"

Olga Lipina, "Siberian Federal University"

In the article the variability of wind currents on the lake Shira was analyzed in period 2014-2015 years based on the data of field observations. The spectral analysis of internal waves, caused by variable wind, was carried out.

Keywords: dynamics of wind current, spectral analysis.

УДК 519.642.2, 519.683

**ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛУЛАГРАНЖЕВОГО
МЕТОДА ДЛЯ УРАВНЕНИЯ НЕРАЗРЫВНОСТИ**

Александр Владимирович Вяткин, к.ф.-м.н., научный сотрудник

Тел.: 8 391 249 5370, e-mail: vyatkin@icm.krasn.ru

Институт вычислительного моделирования СО РАН

http://icm.krasn.ru

Елена Владимировна Кучунова, к.ф.-м.н., доцент

E-mail: HKuchunova@sfu-kras.ru

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

http://www.sfu-kras.ru

В работе представлен параллельный алгоритм численного решения двумерного уравнения неразрывности. Метод основан на точном тождестве двух пространственных интегралов на соседних слоях по времени и имеет первый порядок сходимости. Проведено исследование эффективности параллельного алгоритма, реализованного с помощью технологии OpenMP.

Ключевые слова: уравнение неразрывности, полулагранжевый метод, численное решение, параллельное программирование, OpenMP.

Исследование выполнено федеральным государственным бюджетным учреждением науки "Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук" (ИВМ СО РАН) при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-01-00296).

Введение

В настоящее время существует большое число методов численного решения уравнения неразрывности. Первыми методами, имеющими строгое теоретическое обоснование аппроксимации и устойчивости, были конечно-разностные схемы [1; 2]. До сих пор они используются для поиска численного решения широкого класса дифференциальных и интегральных уравнений. Однако их применение накладывает жесткие ограничения на шаг по времени для обеспечения устойчивости [3; 4].