

УДК 525.623

А.Т. Кондрин¹

ШТОРМОВЫЕ НАГОНЫ В РАЙОНЕ БЕЛОМОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ МГУ

Рассмотрены остаточные колебания уровня моря в районе Беломорской биологической станции МГУ, расположенной на берегу пролива, соединяющего два небольших водоема Кандалакшского залива – Великую Салму и Ругозерскую губу. Используются наблюдения над уровнем моря, атмосферным давлением и скоростью ветра в летние и осенние месяцы 2008–2014 гг. Осенью перестройка атмосферной циркуляции с летней на зимнюю сопровождается интенсификацией циклонической деятельности и, следовательно, увеличением интенсивности непривливаемых колебаний уровня по сравнению с летними месяцами.

Основное внимание уделено описанию штормовых нагонов – определены их количественные характеристики, а также рассмотрены причины их возникновения, такие, как изменения атмосферного давления, ветер и барическая ситуация в районе исследований. В ряде случаев для анализа нагонных колебаний привлечены данные наблюдений и на других водомерных постах Белого моря. Высота нагонов изменялась от 0,20 до 0,47 м, а продолжительность – от 1 до 10 сут.

Выделено три основных типа нагонов: барические, главной причиной которых было достаточно продолжительное понижение ПДА; ветровые, возникающие в результате действия нагонного ветра; волновые, обусловленные прохождением уединенной волны.

Ключевые слова: остаточные колебания уровня, сезонная изменчивость, штормовые нагоны, ветер, атмосферное давление, Белое море.

Введение. Рассмотрены непривливаемые колебания уровня моря (УМ) в районе Беломорской биологической станции (ББС) МГУ на основании данных наблюдений в июне–октябре 2008–2014 гг. Исследования характеристик колебаний УМ в прибрежной зоне относятся к наиболее актуальным направлениям современной океанологии, так как их знание необходимо при решении многих прикладных задач, а также при планировании и проведении научных исследований. Наблюдения над УМ на причале ББС проводятся с июня 2008 г. Ранее наблюдения над колебаниями уровня здесь, как и во многих других мелководных акваториях Белого моря, не проводились. Основное внимание уделялось анализу нагонных колебаний остаточного уровня моря (ОУМ) в синоптическом диапазоне временного масштаба, которые определяются в основном метеорологическими причинами, такими, как приземное давление атмосферы (ПДА) и скорость ветра. В ряде случаев при изучении характера нагона использованы данные наблюдений и на других постах – Сосновец, Соловки и Северодвинск.

Материалы и методы исследований. ББС МГУ расположена на южном берегу узкого пролива шириной 700–800 м, соединяющего два небольших водоема Кандалакшского залива – Великую Салму и Ругозерскую губу, общая протяженность которых составляет ~35 км. Более подробное описание района исследований приведено в работе [Кондрин, Пантюлин, 2010].

Наблюдения на причале ББС проводятся с июня 2008 г. с помощью автоматической метеостанции

«AWS-2700». Эта метеостанция в автоматическом режиме измеряет давление атмосферы, направление и скорость ветра, температуру и влажность воздуха, температуру воды, а также УМ с точностью 1 см. Хотя наблюдения над метеорологическими элементами проводятся круглый год, измерения УМ выполнены только в теплую половину года. Сроки проведения наблюдений над уровнем (за исключением 2011 и 2014 г.) приведены в табл. 1. В 2011 г. наблюдения, включая УМ, на причале ББС велись непрерывно только с 2 июня по 15 августа, а также с 10 по 30 сентября (с 16 августа по 9 сентября этого года по техническим причинам наблюдения были прерваны). Данные за 2014 г. использованные в работе, включают наблюдения с 1 июня по 31 июля. Для интерпретации полученных результатов использованы карты приземного давления атмосферы (ПДА), построенные на основании данных реанализа NCEP и опубликованные на сайте <http://www.wetterzentrale.de>. Сравнение данных измерений ПДА и скорости ветра на ББС с данными реанализа показало, что для рассматриваемого района они хорошо согласуются.

Для расчета приливных колебаний уровня использованы результаты гармонического анализа временных рядов высоты уровня, полученные при измерениях на причале ББС в течение рассматриваемых промежутков времени. Гармонический анализ колебаний УМ выполнен с помощью пакета программ T_TIDE [Pawlowicz et al., 2002] методом наименьших квадратов. Методика вычисления приливных колебаний подробно описана в работе [Кондрин, Пантюлин, 2010].

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: altkondr@gmail.com

Таблица 1

Статистические характеристики колебаний остаточного уровня моря (ОУМ)

Период наблюдений	Месяц	УМ _{ср} , м	ПДА _{ср} , ГПа	ОУМ _{max} , м	ОУМ _{min} , м	ΔОУМ, м	Std
19.06–31.10.2008	Июнь	1,16	1006	1,27	1,05	0,22	0,057
	Июль	1,18	1011	1,31	1,06	0,25	0,051
	Август	1,15	1008	1,33	1,04	0,29	0,060
	Сентябрь	1,13	1017	1,49	0,96	0,53	0,137
	Октябрь	1,23	1001	1,43	0,92	0,51	0,102
01.06–31.10.2009	Июнь	1,14	1014	1,32	1,01	0,31	0,062
	Июль	1,12	1010	1,26	0,99	0,27	0,055
	Август	1,14	1012	1,38	0,90	0,48	0,085
	Сентябрь	1,22	1003	1,69	0,91	0,78	0,147
	Октябрь	1,20	1012	1,53	0,94	0,59	0,141
01.06–04.10.2010	Июнь	1,20	1009	1,42	1,02	0,40	0,094
	Июль	1,15	1013	1,53	0,96	0,57	0,087
	Август	1,22	1012	1,49	1,03	0,46	0,114
	Сентябрь	1,22	1012	1,68	1,01	0,67	0,121
03.06–22.10.2012	Июнь	1,21	1007	1,34	1,05	0,29	0,063
	Июль	1,20	1008	1,50	1,00	0,50	0,106
	Август	1,27	1013	1,64	1,11	0,53	0,095
	Сентябрь	1,34	1005	1,61	1,08	0,53	0,116
	Октябрь	1,27	1007	1,53	0,94	0,59	0,114
01.06–29.09.2013	Июнь	1,16	1014	1,56	1,03	0,53	0,100
	Июль	1,29	1011	1,45	1,11	0,34	0,088
	Август	1,26	1012	1,45	1,11	0,34	0,068
	Сентябрь	1,25	1015	1,62	1,11	0,51	0,123

Для получения ОУМ приливная составляющая вычитается из данных наблюдений. Полученные таким образом временные ряды содержат незначительные колебания на приливных частотах, которые возникают в процессе вычитания из измеренных значений уровня приливной составляющей. Для полного исключения колебаний на приливных частотах был применен фильтр Баттерворта с частотой среза 0,04 ц/ч, соответствующей периоду 25 ч [Кондрин, 2012; Emery, Thompson, 2001].

Все расчеты и графические построения выполнены в вычислительной среде MATLAB. Для расчета зональной (u) и меридиональной (v) составляющих скорости ветра использовалась функция MATLAB $pol2cart((270-\theta)\cdot\pi/180, W)$, где θ – направление ветра в градусах, принятое в метеорологии, т.е. от истинного норда по часовой стрелке; W – модуль скорости ветра. Для построения векторов скорости ветра использовался графический оператор MATLAB $feather(u, v)$. При рассмотрении рисунков скорости ветра следует учитывать, что мас-

штабы изображения составляющих u и v сильно отличаются, так как на горизонтальной оси (помимо u) отложено также время. В силу этого направления векторов скорости ветра выглядят искаженными. Однако в целом рисунки верно отражают ситуацию – векторы, направленные вниз, изображают нагонный ветер северных румбов, а векторы, направленные вверх, – сгонный ветер южных румбов.

Результаты исследований и их обсуждение.

Сезонные изменения. В целом сезонные изменения ОУМ Белого моря характеризуются наличием главного максимума в октябре и главного минимума в феврале [Filatov et al., 2005]. В полной мере это относится к Бассейну и Кандалакшскому заливу, где сезонные изменения ОУМ составляют 15–19 см.

Эти особенности сезонной изменчивости ОУМ в Белом море связаны с характером циркуляции атмосферы, которая обладает признаками муссонного режима [Добровольский, Залогин, 1982]. В зимний период над Белым морем устанавливается более высокое ПДА, чем над Баренцевым. В резуль-

тате с декабря по март преобладают ветры южных направлений. Главный минимум в феврале обусловлен выносом воды из Белого моря преобладающими юго-западными ветрами, а также статической реакцией уровня моря на атмосферное давление. Этот минимум усиливается в результате увеличения плотности воды, главным образом при понижении температуры, а также уменьшения речного стока в декабре–марте. В период с мая по октябрь–ноябрь устанавливается летний тип циркуляции атмосферы, который характеризуется выравниванием ПДА над Белым и Баренцевым морями и преобладанием воздушных потоков северных румбов, что способствует притоку воды из Баренцева моря в Белое. В результате к октябрю средний УМ повышается. В процессе образования октябрьского максимума, очевидно, важную роль играет существенное увеличение стока рек в мае–ноябре по сравнению с зимним периодом.

Осенью перестройка атмосферной циркуляции с летней на зимнюю обычно сопровождается интенсификацией циклонической деятельности и, следовательно, увеличением повторяемости полей низкого давления (73%), создаваемых циклонами различных типов [Filatov et al., 2005].

Описанная выше простая схема в целом подтверждается данными наблюдений на ББС МГУ. В табл. 1 приведены статистические характеристики колебаний ОУМ, здесь $УМ_{cp}$ – среднемесячная высота уровня моря, $ПДА_{cp}$ – среднемесячное значение приземного давления атмосферы, максимальное месячное значение остаточного уровня – $ОУМ_{max}$, минимальное месячное значение остаточного уровня – $ОУМ_{min}$, $\Delta ОУМ = ОУМ_{max} - ОУМ_{min}$ – размах колебаний за соответствующий месяц, Std – среднее квадратичное отклонение.

Согласно данным, приведенным в табл. 1, значения $УМ_{cp}$ изменяются в широких пределах. На-

меньшее значение $УМ_{cp}$ наблюдалось в июле 2009 г. (1,12 м), а наибольшее – в сентябре 2012 г. (1,34 м). С точки зрения сезонных изменений наиболее репрезентативны 2008, 2009 и 2012 гг., когда измерения уровня проводились с июня по октябрь включительно. В осенние месяцы $УМ_{cp}$ выше, чем летом. В 2008 г. наименьшее значение $УМ_{cp}$ отмечено в сентябре (1,13 м), а наибольшее – в октябре (1,23 м). Летом значения $УМ_{cp}$ изменялись незначительно – от 1,15 м в августе до 1,18 м в июле. В 2009 г. наименьшее значение $УМ_{cp}$ наблюдалось в июле (1,12 м), а наибольшее – в сентябре (1,22 м). В октябре средний уровень также оставался на высокой отметке (1,20 м). Эта закономерность прослеживается и в 2012 г. Если в июне и июле средние значения уровня были равны 1,21 и 1,20 м соответственно, то в августе и октябре этот показатель был 1,27 м, а в сентябре поднялся до самого большого значения за период наблюдений – 1,34 м.

Данные, приведенные в табл. 1, указывают также на существенную роль статической реакции моря на изменения атмосферного давления («обратный барометр»). Отмеченным выше наибольшим среднемесячным значениям уровня соответствуют наименьшие значения $ПДА_{cp}$.

Осенью при более высоких значениях $УМ_{cp}$ неприливные колебания уровня могут достигать значительных величин. Например, в сентябре 2009 г. при среднемесячном значении $УМ_{cp}$, равном 1,21 м, величина $\Delta ОУМ$ была равна 0,78 м. В то же время в июле того же года при наименьшем значении $УМ_{cp}$ (1,12 м) размах колебаний составил 0,27 м. В 2010 г. наибольший размах колебаний (0,67 м) имел место в сентябре, а наименьший (0,40 м) – в июне. В 2012 г. наибольший размах колебаний ОУМ был зафиксирован в октябре (0,59 м), а наименьший – в июне (0,29 м). Увеличение интенсивности неприливных колебаний уровня в начале осени по сравнению с летними ме-

Таблица 2

Штормовые нагоны на ББС МГУ в 2008–2014 гг.

Дата	$ОУМ_{max}$, м	$\Delta ОУМ$, м	$Е_{ОУМ}$, м	ΔT , сут	Барическая ситуация	Причина
02.09.2008	1,49 (2,41)	0,43	0,33	8	АркЦ, 980, восточная часть БРМ	Ветер, ПДА
27.09.2009	1,69 (2,16)	0,70	0,47	10	АркЦ, 975, восточная часть БРМ	ПДА, волна
24.07.2010	1,52 (2,22)	0,57	0,37	1	АркЦ, 975, восточная часть БРМ	Волна
17.08.2010	1,49 (2,20)	0,45	0,27	4	АркЦ, 975, восточная часть БРМ	Ветер
04.09.2010	1,67 (2,28)	0,58	0,45	3,5	ПолЦ, 1000, на юго-восток от БЛМ	Ветер
16.09.2011	1,48 (1,79)	0,36	0,20	5	ПолЦ, 990, восточная часть БЛМ	ПДА
08.08.2012	1,64 (2,35)	0,48	0,37	2,5	ПолЦ, 990, восточнее БЛМ	Ветер
08.09.2012	1,55 (2,20)	0,45	0,21	7	АркЦ, 990, западная часть БРМ	ПДА
25.09.2012	1,62 (2,30)	0,53	0,28	2,5	ПолЦ, 995, северо-западная часть ЕТР	Ветер
12.06.2013	1,56 (2,31)	0,50	0,40	~5	ПолЦ, 990, на восток от БЛМ	ПДА, ветер
24.09.2013	1,62 (2,38)	0,44	0,37	5,5	ПолЦ, 985, северо-западная часть ЕТР	Ветер
24.06.2014	1,58 (2,26)	0,46	0,41	3	ПолЦ, 1000, на восток от БЛМ	Волна, ветер

П р и м е ч а н и е. В скобках указана суммарная высота уровня моря с учетом приливов; $ОУМ_{max}$, $\Delta ОУМ$, $Е_{ОУМ}$, ΔT , АркЦ, ПолЦ, БРМ, БЛМ см. в тексте.

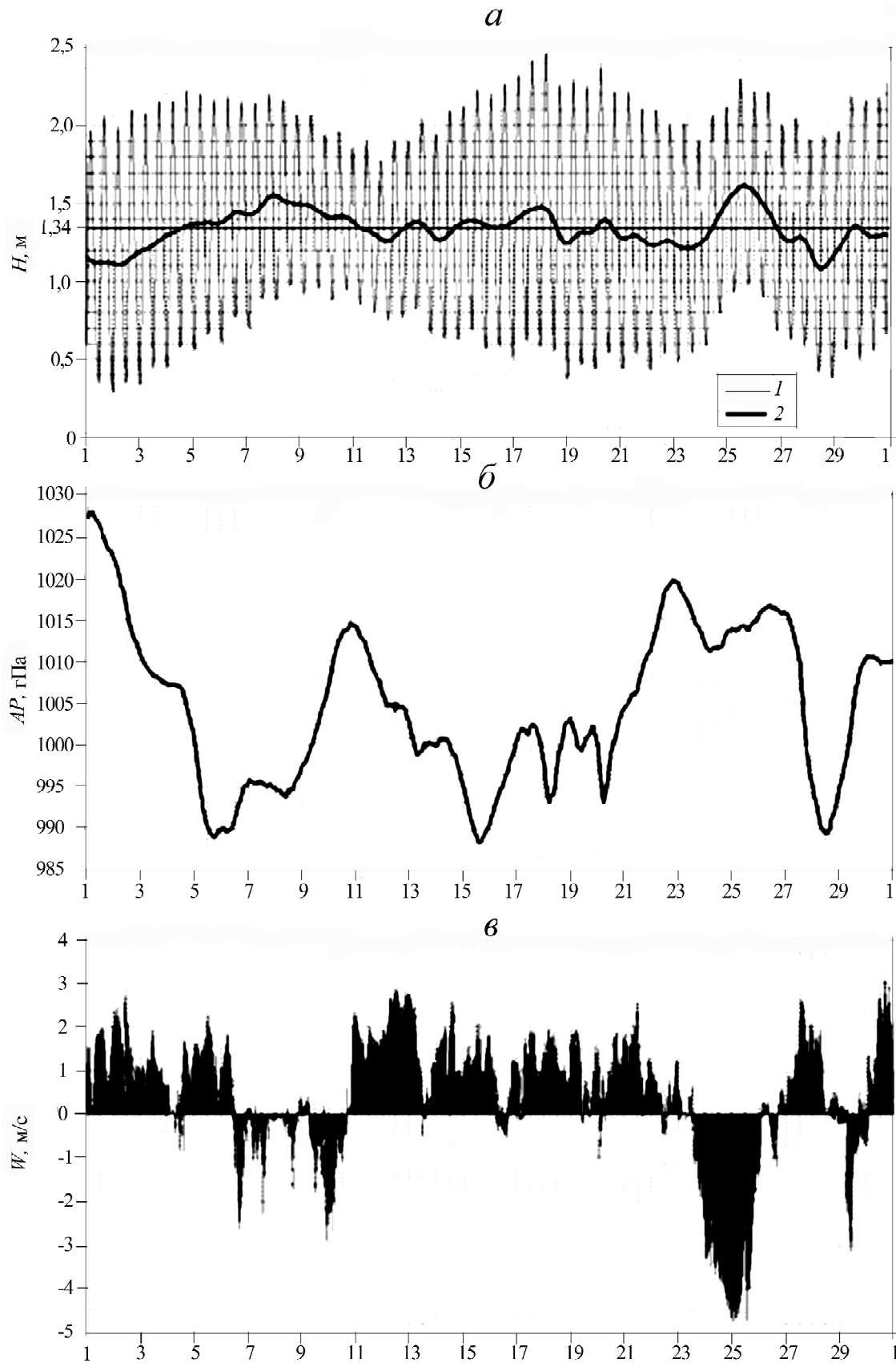


Рис. 1. Колебания уровня моря, атмосферное давление и скорость ветра на ББС МГУ в сентябре 2012 г. Здесь и на рисунках 2, 3, 5, 7: *a* – уровень моря *H*, м; *б* – атмосферное давление *AP*, гПа; *в* – скорость ветра *W*, м/с; 1 – наблюдения, 2 – ОУМ. Нагон 7–9 сентября – барический, нагон 25–26 сентября – ветровой

Fig. 1. Sea level oscillations, air pressure and wind speed at the MSU White Sea Biological Station in September 2012. Here as well as in Figures 2, 3, 5 and 7: *a* – sea level *H*, m; *b* – air pressure *AP*, hPa; *c* – wind speed *W*, m/s; 1 – observations, 2 – residual sea level (RSL). The surge of September 7–9 is barometric; the surge of September 25–26 is wind-generated

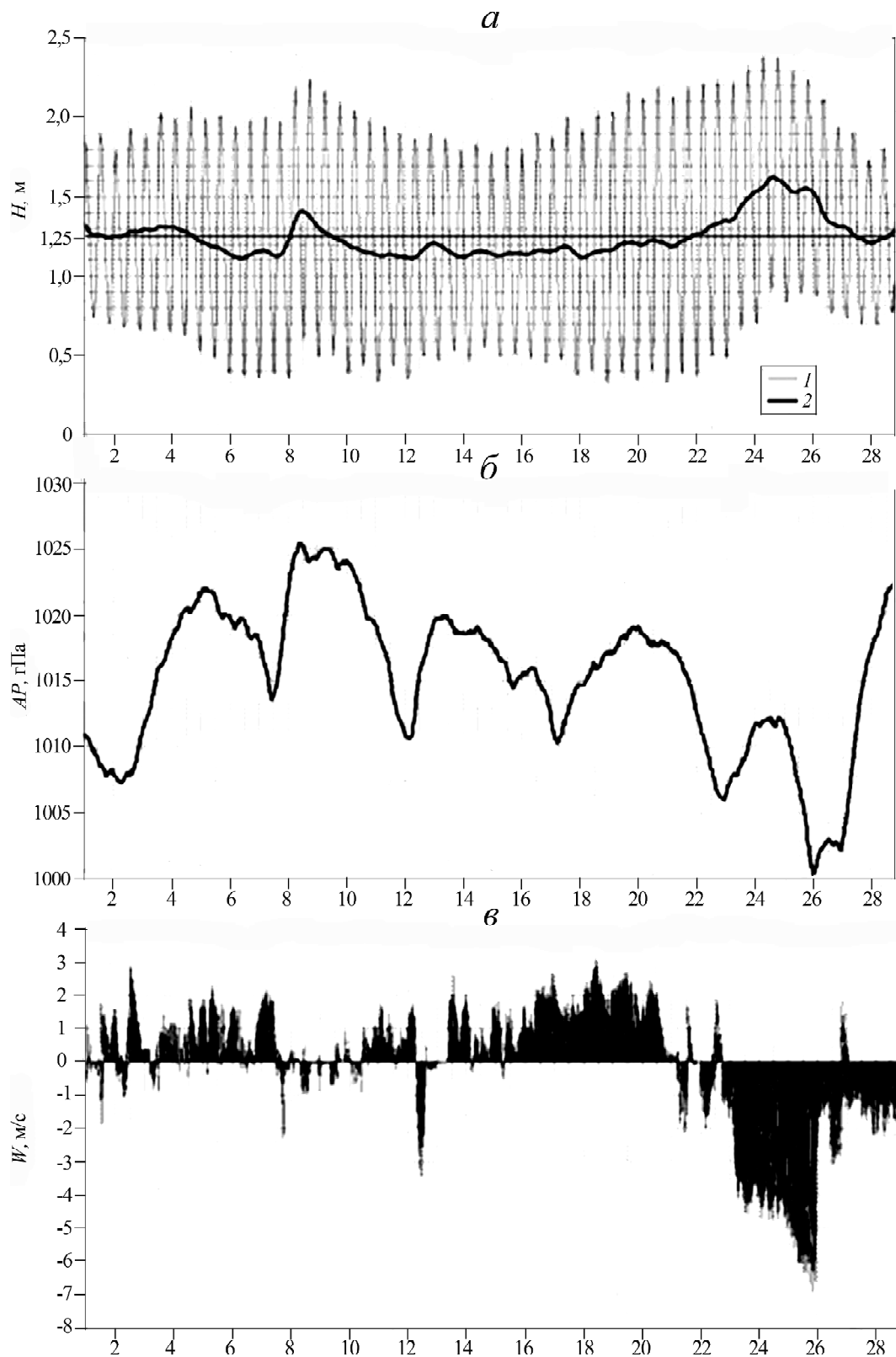


Рис. 2. Ветровой нагон 24–25 сентября 2013 г.

Fig. 2. Wind surge of September 24–25, 2013

сяцами подтверждается величинами среднего квадратичного отклонения Std и обусловлено интенсификацией циклонической деятельности в атмосфере над акваториями Баренцева и Белого морей.

Нагонные колебания ОУМ. Ниже приводится описание значительных подъемов ОУМ по данным

наблюдений с 2008 по 2014 г. Всего рассмотрено 12 таких случаев, краткая характеристика которых содержится в табл. 2, составленной на основании анализа данных измерений УМ, ПДА и скорости ветра на ББС, а также барической ситуации в районе Белого моря во время соответствующего подъе-

ма уровня. Здесь OUM_{max} – максимальное значение ОУМ (в скобках приведена соответствующая суммарная высота уровня), ΔOUM – перепад ОУМ (разность высот максимального значения ОУМ и ближайшего локального минимума), E_{OUM} – высота нагона (превышение максимального значения ОУМ над среднемесячным), ΔT – продолжительность подъема уровня (промежуток времени, в течение которого ОУМ был выше среднемесячного значения), БС – барическая ситуация, АркЦ – арктический циклон, ПолЦ – полярный циклон, БЛМ – Белое море, БРМ – Баренцево море. В табл. 2 указаны дата достижения максимальной высоты ОУМ, причина повышения уровня, положение соответствующего барического образования на эту дату и ПДА в его центре (ГПа).

Во всех приведенных в табл. 2 случаях подъем ОУМ был вызван прохождением циклонов двух типов – арктических и полярных. Арктические циклоны формируются на арктическом атмосферном фронте и их траектории проходят над Баренцевым морем. В 3 из 4 приведенных в таблице случаев центр арктического циклона во время максимального подъема ОУМ находился в восточной части Баренцева моря и лишь в одном случае – в западной части Баренцева моря, севернее Кольского п-ва. В 5 из 8 случаев нагонов, вызванных циклонами, формирующимися на полярном климатическом фронте, центры последних во время наибольшего подъема ОУМ были расположены восточнее Белого моря либо непосредственно над его восточной частью. В 2 случаях центр циклона находился южнее Белого моря в северо-западной части европейской территории России (ЕТР) и один раз в восточной части Баренцева моря.

Высота нагона в рассмотренных случаях изменялась от 0,20 до 0,47 м, а продолжительность – от 1 до 10 сут.

Анализ данных измерений на ББС, а также барических ситуаций позволяет выделить три основных типа значительных повышений ОУМ: 1) барические, 2) ветровые и 3) волновые.

К первому типу относятся продолжительные, невысокие (0,2 м) повышения ОУМ, которые представляют собой статическую реакцию уровня моря на продолжительные понижения ПДА согласно закону «обратного барометра». Такие повышения ОУМ (для краткости назовем их барическими нагонами) наблюдались, когда акватория Белого моря длительное время находилась в пределах обширных устойчивых областей низкого ПДА, которое и было основным фактором повышения ОУМ. Типичный пример такого барического нагона представляет собой повышение ОУМ 8 сентября 2012 года (рис. 1). Перепад ОУМ в этом случае был равен 0,45 м, высота нагона – 0,21 м, а продолжительность составила ~7 суток. Это повышение ОУМ, очевидно, было связано с обширной областью низкого атмосферного давления над Северной Атлантикой, в пределах которой Белое море находилось с 6 по 10 сентября.

В этой области пониженного давления наблюдались два циклона. Центр первого из них (985–990 ГПа) 6 и 7 сентября находился в западной части Баренцева моря между Шпицбергом и Скандинавским полуостровом, а 8 сентября сместился в центральную часть Баренцева моря. Центр второго циклона (990 ГПа) 6 сентября находился севернее Исландии, затем быстро смещался к востоку и 8 сентября оказался вблизи южного побережья Белого моря. На ББС ПДА упало с 1027 ГПа 1 сентября до 989 ГПа 5 сентября и до 8 сентября не превышало 996 ГПа. При этом 6–8 сентября зафиксирован слабый (0,5–1,5 м/с) ветер северо-западных румбов, который лишь на короткое время 6 сентября около 15 ч немного усилился (4,0 м/с, порывами до 9,3 м/с). Сопоставляя эти данные, можно заключить, что основной причиной рассматриваемого повышения ОУМ было падение ПДА.

Ко второму типу относятся ветровые нагоны, главной причиной которых было действие нагонного ветра. Эти нагоны отличались большей высотой (0,27–0,45 м) и меньшей продолжительностью (2,5–5,5 сут.). Данные наблюдений показывают, что ветры северных румбов – нагонные в районе исследований.

Типичный ветровой нагон имел место 25 сентября 2012 г. (рис. 1), когда ОУМ поднялся до отметки 1,62 м, превысив среднемесячное значение (1,34 м) на 0,28 м, а затем 28 сентября опустился до 1,09 м. Таким образом, перепад составил 0,53 м. Продолжительность нагона ~2,5 сут. Во время этого нагона Белое море находилось на периферии неглубокого циклона, центр которого (995 ГПа) 25 сентября находился южнее Белого моря примерно на широте Санкт-Петербурга. На ББС 24 и 25 сентября ПДА оставалось довольно высоким (1012–1015 ГПа), при этом наблюдался нагонный ветер северо-восточных румбов со скоростью 5–6,9 м/с, порывами до 13,7 м/с.

Еще один пример ветрового нагона представлен на рис. 2. Подъем ОУМ до высоты 1,62 м произошел 24 сентября 2013 г. около 15 ч, среднемесячное значение уровня при этом было превышено на 0,37 м. Нагон длился 5,5 сут. Ближайший локальный минимум 1,18 м наблюдался 21 сентября, следовательно, перепад ОУМ в этом случае составил 0,44 м. Этот нагон был вызван относительно глубоким циклоном, центр которого (985 ГПа) 24 сентября находился в северо-западной части ЕТР. Белое море находилось на периферии этого циклона, где преобладал северо-восточный воздушный поток. На ББС с 22 по 26 сентября отмечен устойчивый ветер северо-восточного направления, скорость которого 23 и 24 сентября изменялась от 5 до 6,8 м/с, порывами до 14 м/с. ПДА в эти дни (23–24 сентября) оставалось достаточно высоким, в пределах 1007–1013 ГПа.

Наибольший по высоте ветровой нагон произошел в начале сентября 2010 г. (рис. 3). В течение 2-х сут. с 10 ч 2 сентября до 13 ч 4 сентября ОУМ повысился от 1,09 до 1,67 м, т.е. поднялся на 0,58 м,

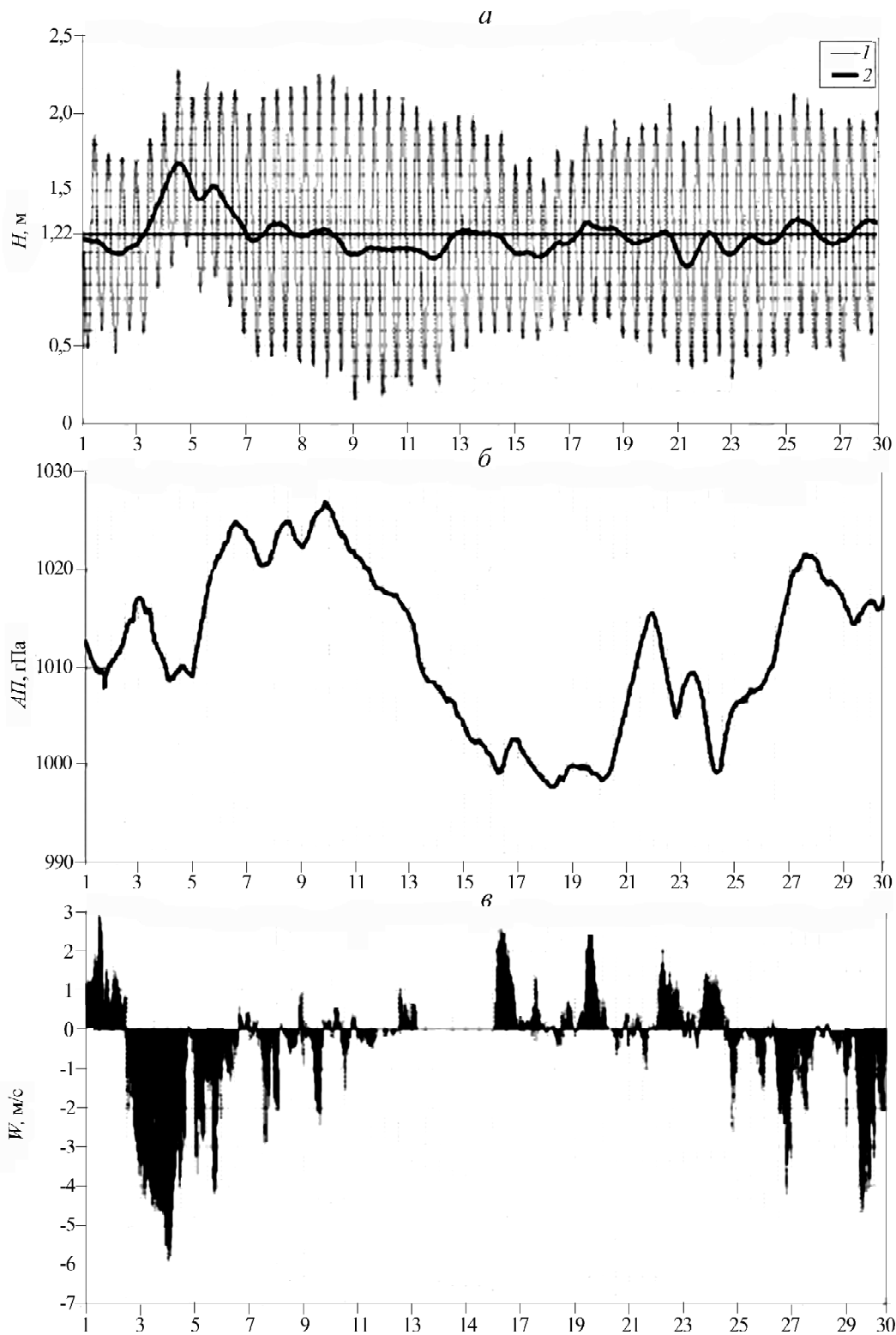


Рис. 3. Наибольший по высоте ветровой нагон 4–5 сентября 2010 г.: 1 – наблюдения, 2 – ОУМ
 Fig. 3. The highest wind surge of September 4–5, 2010: 1 – observations, 2 – residual sea level (RSL)

при этом среднемесячное значение (1,22 м) было превышено в точке максимума на 0,45 м. Продолжительность нагона составила немногим более 3,5 сут. Этот нагон был вызван циклоном, центр которого 3 сентября (<995 ГПа) находился восточнее Балтийского моря в северо-западной части ЕТР. Этот циклон несколько ослабел 4 сентября, а его

центр (<1000 ГПа) переместился в северо-восточном направлении и оказался на юго-востоке от Белого моря. Над Кандалакшским заливом этот циклон создал устойчивый нагонный ветер северных румбов, который, по-видимому, стал основной причиной рассматриваемого подъема уровня. На БС ветер такого направления (310–40°) наблюдался 2 и

3 сентября (3–6,1 м/с; порывы до 13,7 м/с) и стал ослабевать с полудня 4 сентября, однако 5 сентября вновь усилился до 3–4,7 м/с, порывами до 10,3 м/с. ПДА на БС изменялось в эти дни незначительно – в пределах 1008–1017 ГПа.

Согласно наблюдениям на других станциях (рис. 4) максимальный подъем ОУМ сначала наблюдался на ст. Соловки у юго-западного побережья в 7 ч утра 4 сентября 2010 г., через 2 ч на ст. Северодвинск (Двинская губа) и, наконец, в 14 ч достиг ст. Сосновец в Горле Белого моря. Эти данные подтверждают ветровой характер этого нагона. В результате действия нагонного ветра ОУМ сначала поднимался у юго-западного побережья и затем это повышение распространилось в северо-западном направлении к Горлу.

разом, можно предположить, что этот нагон не был связан с метеорологическими факторами локального характера, а вызван прохождением уединенной нагонной волны. Согласно данным [Инжебейкин, 2003; Filatov et al., 2005], такие волны генерируются глубокими арктическими циклонами в Баренцевом море, а затем проникают в Белое море. Этот вывод подтверждается данными наблюдений на других водомерных постах. На рис. 6 представлены колебания ОУМ в июле 2010 г. на станциях Сосновец, Соловки и Северодвинск. Гребень рассматриваемой нагонной волны наблюдался на ст. Сосновец в 23 ч 23 июля, достиг станции Северодвинск через 8 ч в 7 ч утра 24 июля и станции Соловки в 8 ч утра 24 июля 2010 г. Эти данные показывают, что волна прошла сначала через Горло Белого моря,

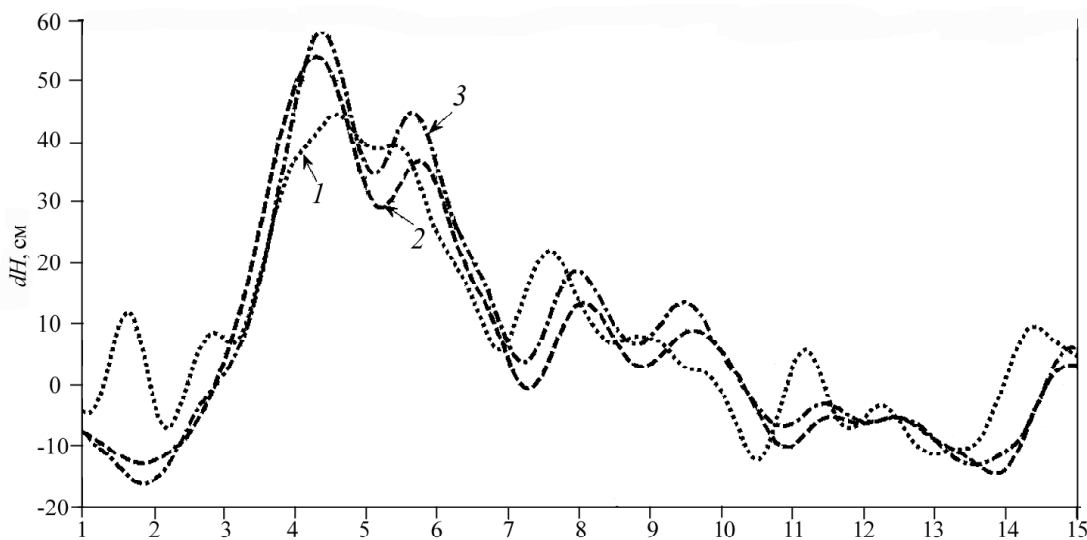


Рис. 4. Колебания ОУМ в Белом море в сентябре 2010 г. по данным наблюдений на ст. Сосновец (1), Соловки (2) и Северодвинск (3). По оси ординат – отклонение ОУМ от среднего значения, см

Fig. 4. RSL oscillations in the White Sea in September 2010 according to the observations at Sosnovets (1), Solovki (2) and Severodvinsk (3) gauge stations. Along the vertical axis – RSL deviations from the mean value, cm

Третий тип нагонов обусловлен прохождением уединенной нагонной волны (солитона), сформированной за пределами Белого моря. Кратковременный нагон 24.07.2010 – наиболее характерный пример такого рода (рис. 5). Продолжительность этого нагона составила ~1 сут., а высота – 0,37 м, перепад ОУМ – 0,57 м. Во время этого нагона в Баренцевом море сформировался глубокий арктический циклон, центр которого с ПДА <975 ГПа 24 июля отмечен в восточной части Баренцева моря у Новой Земли. Однако Белое море находилось вне этой барической депрессии. Тем не менее за сутки до максимального подъема ОУМ на БС наблюдалось кратковременное понижение ПДА до 994 ГПа, которое к полудню 24 июля быстро возросло до 1021 ГПа. В то же время на БС с полудня до 21 ч 23 июля наблюдался ветер западного и северо-западного направлений (270–300°) от 3,1 до 5,5 м/с, порывами до 18 м/с. Однако затем ветер ослаб и в течение 24 июля его скорость колебалась в пределах от 0,6 до 2,3 м/с, порывами до 8 м/с. Таким об-

а затем распространялась в Бассейн в юго-западном направлении.

Одно из самых значительных по высоте и продолжительности повышение ОУМ наблюдалось на БС во второй половине сентября 2009 г. (рис. 7). Подъем ОУМ с некоторыми колебаниями начался 16 сентября с отметки 0,99 м на фоне понижающегося ПДА, которое 28 сентября упало до 979 ГПа. После полудня 26 сентября наблюдался резкий и кратковременный подъем ОУМ с отметки 1,24 м до максимального значения 1,69 м (10 ч, 27 сентября), таким образом менее чем за сутки ОУМ повысился на 0,45 м. Общий перепад уровня с момента начала подъема 16 сентября составил 0,7 м. Высота этого нагона была равна 0,47 м, а его продолжительность – 10 сут. (с 22 сентября по 2 октября). Причиной этого нагона была обширная барическая депрессия, вытянутая от Гренландского до Баренцева моря, один из центров которой (975 ГПа) 27 сентября находился в юго-восточной части Баренцева моря между Новой Землей и о. Колгуев. Белое море на-

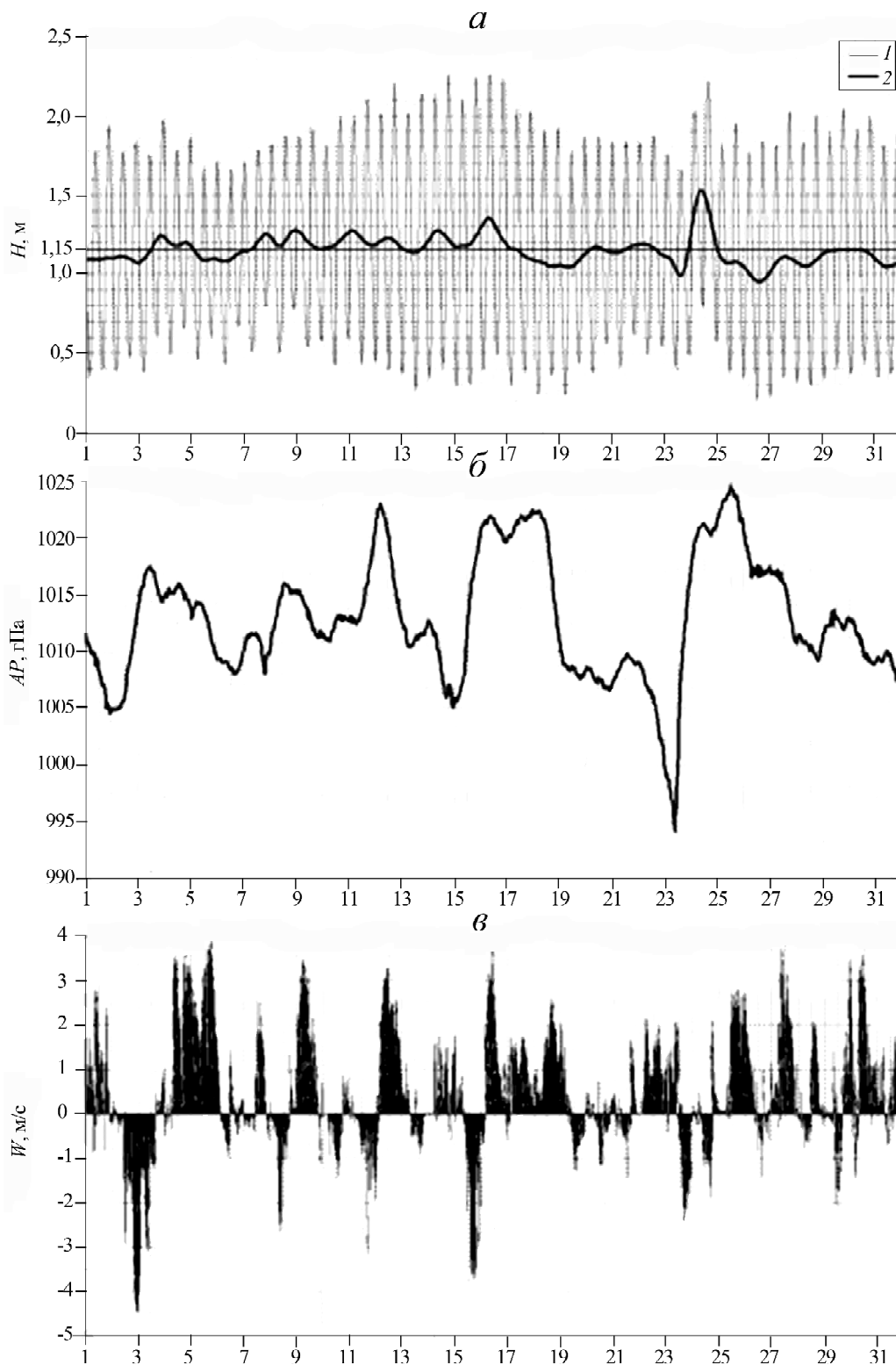


Рис. 5. Кратковременный подъем ОУМ 24 июля 2010 г., вызванный прохождением нагонной волны при высоком ПДА и отсутствии нагонного ветра: 1 – наблюдения, 2 – ОУМ

Fig. 5. Short-term RSL rise of July 24, 2010 due to the passage of a surge wave under the high air pressure and the absence of surge wind: 1 – observations, 2 – (RSL)

ходило в пределах этой депрессии с 23.09.2009 по 9.10.2009. На ББС с 21 сентября по 2 октября наблюдался слабый ветер (0,5–2,5 м/с) разного направления с кратковременными усилениями до 3–4 м/с. Из сказанного выше следует, что рассматриваемое повышение ОУМ было вызвано в основном падением ПДА, а резкий кратковременный подъем ОУМ 27 сентября

мог быть вызван прохождением гребня уединенной нагонной волны. Последнее предположение согласуется с результатами анализа наблюдений на других водомерных постах. Подобно описанному выше эпизоду 24 июля 2010 г. гребень нагонной волны наблюдался сначала на станции Сосновец, затем через 6 часов в Северодвинске и еще через час в Соловках.

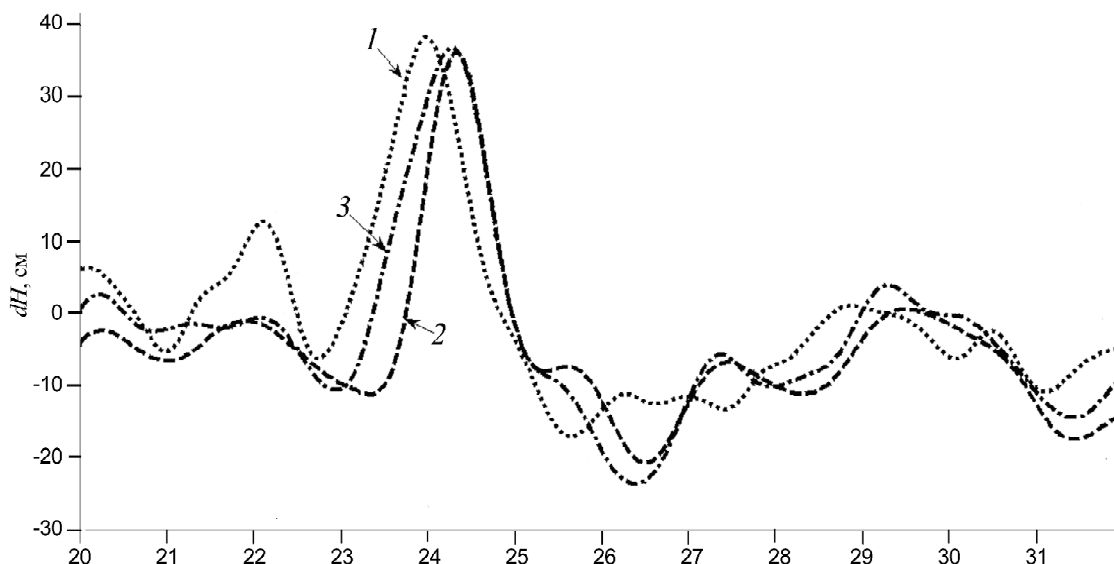


Рис. 6. Колебания ОУМ в Белом море в июле 2010 г. по данным наблюдений на ст. Сосновец (1), Соловки и (2) Северодвинск (3). По оси ординат – отклонение ОУМ от среднего значения, см

Fig. 6. RSL oscillations in the White Sea in July 2010 according to the observations at Sosnovets (1), Solovki (2) and Severodvinsk (3) gauge stations. Along the vertical axis – RSL deviations from the mean value, cm

Колебания ОУМ, происходившие в первой половине октября 2009 г., наглядно демонстрируют их связь с ветровым воздействием и изменениями ПДА (рис. 7). Рост ОУМ до отметки 1,53 м 7 октября происходил под действием нагонного ветра при повышающемся ПДА. Затем 8 октября произошло быстрое падение ОУМ до отметки 0,98 м под действием стонного ветра. Повышение ОУМ до 1,4 м 10 октября произошло вслед за резким падением ПДА до 975 ГПа, наблюдавшимся 8 октября, когда вершина Кандалакшского залива оказалась в центре глубокого циклона. Затем ОУМ стал понижаться на фоне значительного и продолжительного роста ПДА.

Наибольшая суммарная высота уровня моря составила 2,50 м, она зафиксирована 18 сентября 2012 г. и 24 июля 2013 г. Самая низкая отметка суммарного уровня – 0,09 м, она зафиксирована дважды: 18 сентября 2008 г. и 10 сентября 2009 г. Экстремальные высокие или низкие отметки уровня отмечались, когда нагоны или стоны совпадали с сизигийным приливом.

Выводы:

– согласно данным, приведенным в табл. 1, в осенние месяцы УМ в среднем выше, чем летом, что согласуется с описанным выше характером сезонной изменчивости. Наименьшее среднемесячное значение УМ наблюдалось в июле 2009 г. (1,12 м). В 2012 г. сезонные различия были наиболее значительными. Если в июне и июле средние значения УМ были равны 1,21 и 1,20 м соответственно, то в августе и октябре этот показатель был 1,27 м, а в сентябре поднялся до самого большого за период наблюдений значения – 1,34 м;

– данные, приведенные в таблице, также указывают на существенную роль статической реакции моря на изменения атмосферного давления – наибольшим среднемесячным значениям УМ, как правило, соответствуют наименьшие значения ПДА;

– осенью перестройка атмосферной циркуляции с летней на зимнюю сопровождается интенсификацией циклонической деятельности и, следовательно, увеличением интенсивности неприливных колебаний уровня по сравнению с летними месяцами. Например, в сентябре 2009 г. размах колебаний ОУМ достиг величины 0,78 м (Std = 0,147), а в сентябре 2010 г. – 0,67 м (Std = 0,121). В то же время в июле 2009 г. размах колебаний составил 0,27 м (Std = 0,055). В 2012 г. наибольший размах колебаний ОУМ был зафиксирован в октябре (0,59 м, Std = 0,114), а наименьши – в июне (0,29 м, Std = 0,063);

– во всех описанных случаях нагоны были вызваны прохождением циклонов двух типов – арктических и полярных. Центр циклонов, создающих нагон, в момент достижения наибольшей высоты ОУМ в большинстве случаев (10 из 12) находился либо в восточной части Баренцева моря, либо в северной части ЕТР непосредственно на востоке от Белого моря. Такие циклоны создают над Кандалакшским ивом нагонные ветры северных румбов – от северо-восточного до северо-западного;

– выделено три основных типа нагонов: «барические», представляющие собой статическую реакцию уровня моря на достаточно продолжительное понижение ПДА; ветровые, возникающие в результате действия нагонного ветра; волновые, обусловленные прохождением уединенной волны. Выводы о характере нагона подтверждаются данными наблюдений не только на ББС МГУ, но и на других постах – Сосновец, Соловки и Северодвинск;

– Высота нагона изменялась от 0,20 до 0,47 м, а продолжительность – от 1 до 10 сут. Наибольшая высота нагона (0,47 м) наблюдалась 27 сентября 2009 г. при прохождении нагонной волны на фоне повышения ОУМ в результате падения ПДА.

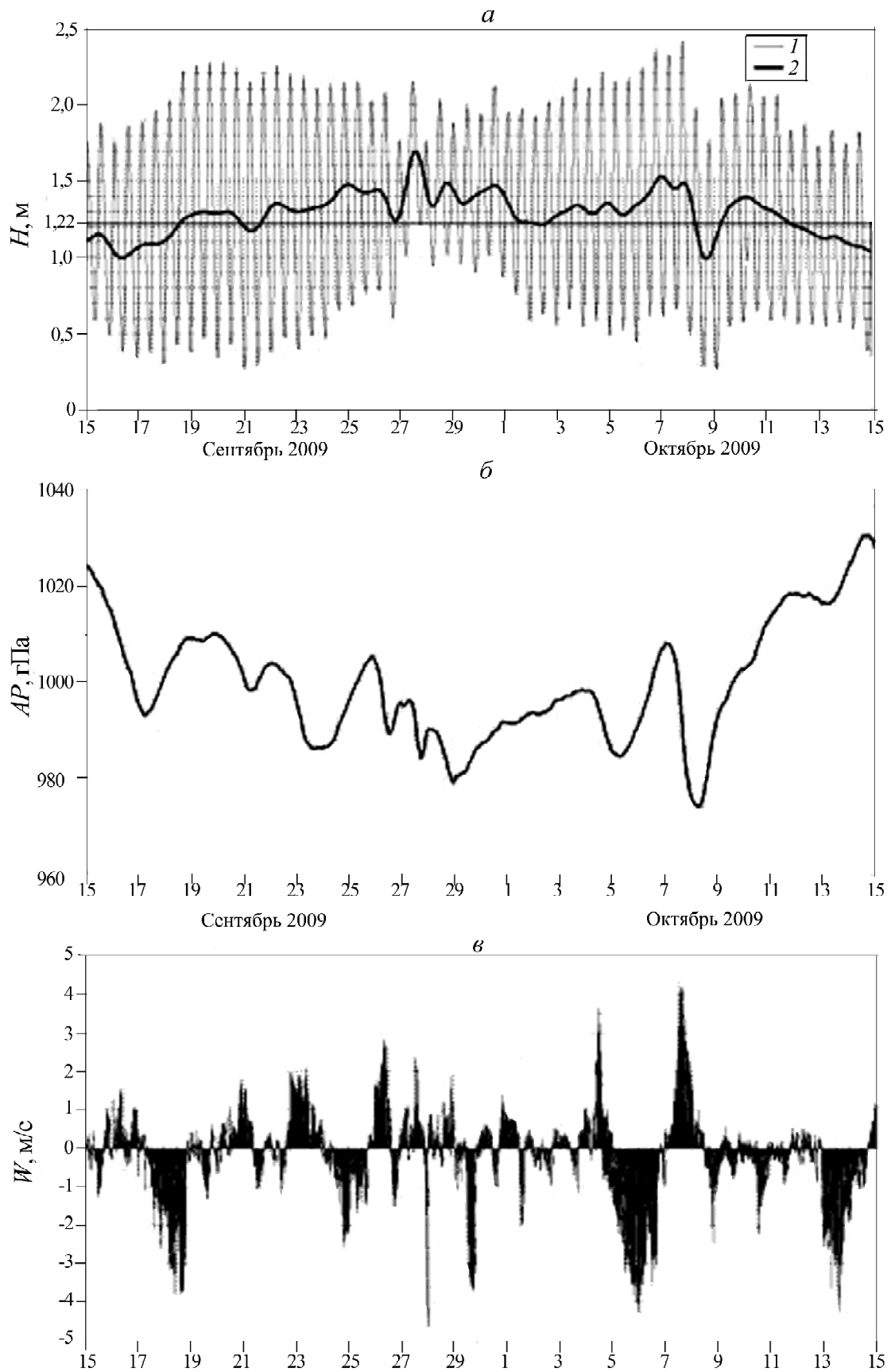


Рис. 7. Кратковременный подъем ОУМ 27 сентября 2009 г. при прохождении нагонной волны на фоне барического нагона:
1 – наблюдения, 2 – ОУМ

Fig. 7. Short-term RSL rise of September 27, 2009 due to the passage of a surge wave against a barometric surge: 1 – observations, 2 – (RSL)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982, 192 с.

Инжебейкин Ю.И. Колебания уровня Белого моря. Екатеринбург: Изд. УРО РАН, 2003, 152 с.

Кондрин А.Т. Неприливные колебания уровня моря в районе Беломорской Биологической станции МГУ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2012. № 3. С. 80–85.

Кондрин А.Т., Пантюлин А.Н. Приливные колебания уровня в эстуарной системе Великая Салма – Ругозерская губа Белого моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 6. С. 67–72.

Emery W.J., Thompson R.E. Data Analysis Methods in Physical Oceanography. Amsterdam: Elsevier, 2001. 638 p.

Filatov N., Pozdnyakov D., Johannessen Ola M. et al. White Sea // Its Marine Environment and Ecosystem Dynamics Influenced by Global Change. Springer-Verlag, Berlin: Praxis Publishing, Chichester, UK, 2005. 462 p.

Pawlowicz R., Beardsley B., Lentz S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE // Computers and Geosci. 2002. Vol. 28. P. 929–937.

Поступила в редакцию 06.07.2015

Принята к публикации 28.10.2015

A.T. Kondrin¹

**STORM SURGES IN THE VICINITY
OF THE WHITE SEA BIOLOGICAL STATION
OF THE MOSCOW STATE UNIVERSITY**

The residual oscillations of the sea level in the vicinity of the MSU Biological Station situated on the shore of a strait connecting two small water areas of the Kandalaksha Bay, i.e. the Great Salma and the Rugozero Guba were studied basing on the observation data of the sea level, air pressure and wind speed during summer and autumn months of 2008–2014. In autumn the change of summer atmospheric circulation to the winter type is accompanied with the intense cyclonic activity, thus increasing the non-tidal oscillations of the sea level. Particular attention is given to the description of surges, their spatial characteristics and their causes, such as the changes of air pressure, wind and barometric situation within the area of study. In certain cases the surges were analyzed using the observation data from both the White Sea Biological Station and other water gauge stations of the White Sea. The heights of surge waves vary from 0.20 to 0.47 m and their duration from 1 to 10 days. Three principal types of storm surge oscillations identified, namely barometric (caused by rather long decrease of the air pressure), wind-generated (resulting from the storm wind impact) and wave-induced (when a single wave comes).

Key words: residual level oscillations, seasonal variability, storm surges, wind, air pressure, the White Sea.

REFERENCES

Dobrovolskiy A.D., Zalogin B.S. Morya SSSR [The Seas of the USSR], Moscow, Izdatelstvo Mosc. un-ta, 1982, 192 p. (in Russian).

Emery W.J., Thompson R.E. Data Analysis Methods in Physical Oceanography. Amsterdam: Elsevier, 2001, 638 p.

Filatov N., Pozdnyakov D., Johannessen Ola M. et al. White Sea // Its Marine Environment and Ecosystem Dynamics Influenced by Global Change. Springer-Verlag, Berlin: Praxis Publishing, Chichester, UK, 2005, 462 p.

Inzhebeikin Yu.I. Kolebaniya urovnya Belogo morya [The White Sea level oscillations], Ekaterinburg, Izdatelstvo Uralskogo Otdeleniya RAN, 2003, 152 p. (in Russian).

Kondrin A.T. Neprilivnye kolebaniya urovnya morya v rayone Belomorskoy Biologicheskoy stantsii MGU [Non-tidal sea level

oscillations in the region of the MSU White Sea Biologic station], Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria 5, Geografiya, 2012, no 3, pp. 80–85 (in Russian).

Kondrin A.T., Pantulin A.N. Prilivnye kolebaniya urovnya v estuarной системе Velikaya Salma – Rugoserskaya guba Belogo morya [Sea level tidal oscillations in the estuarine system Velikaya Salma – Rugoserskaya guba of the White Sea], Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria 5, Geografiya, 2010, no 6, pp. 67–72 (in Russian).

Pawlowicz R., Beardsley B., Lentz S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE // Computers and Geosci. 2002. Vol. 28, pp. 929–937.

Received 06.07.2015

Accepted 28.10.2015

¹Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology, Senior Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: altkondr@gmail.com