

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ АЗОВСКОГО МОРЯ В 2015–2016 ГОДАХ

С.К. Попов, А.Л. Лобов

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации
imar@metcom.ru*

Введение

Первыми работами, посвященными численному моделированию уровня Азовского моря, были работы С.Н. Овсиенко [4] и Ю.Г. Филиппова [12]. Дальнейшее развитие гидродинамическое моделирование штормовых нагонов Азовского моря получило в [11], где применялась двумерная модель, и в [5], где использовалась трехмерная модель. В настоящее время продолжают работы по численному моделированию уровня Азовского моря [13, 14].

Интересной особенностью трехмерной модели [5] было то, что число расчетных слоев и номер верхнего слоя в модели изменялись по времени. Номер верхнего слоя определяется положением уровня моря. Никаких ограничений на изменения уровня моря эта модель не накладывает, в отличие от большинства современных численных моделей циркуляции, где колебания уровня моря не должны выходить за пределы верхнего расчетного слоя. Из-за этого ограничения при больших колебаниях уровня моря приходится в модели задавать большую толщину верхнего расчетного слоя. Проблеме моделирования динамики океана при больших колебаниях уровня посвящена, например, современная работа [3], где предлагается верхние несколько десятков метров океана описывать в сигма координатной системе, а остальную часть толщи воды – в z -координатах.

Работа над созданием оперативной модели для расчета уровня и течений в Азовском море началась сразу после катастрофического наводнения в Таганроге 24 сентября 2014 года. Первые численные эксперименты показали, что модель успешно воспроизвела это наводнение. Прогнозы уровня моря по модели с разрешением 0,5 морских мили с использованием атмосферного форсинга по модели COSMO (7 км) позволили предсказать время наступления наводнения и величину максимума уровня. Максимум уровня моря по наблюдениям составил 251 см, а по расчетам на 0,5-мильной сетке – 249 см [9].

Следующим этапом стало внедрение модели в систему АСООИ Гидрометцентра России весной 2015 года. С этого времени в базу данных AZOV в системе АСООИ Гидрометцентра России регулярно 1 раз в сутки поступают прогнозы уровня моря по модели. В базу данных записывается уровень моря с дискретностью 1 час на 14 береговых станциях Азовского моря, а также ежечасные поля уровня на всей 0,5-мильной сетке Азовского моря в течение 48 часов прогноза. Прогностический уровень моря на береговых станциях Азовского моря используется в отделе морских гидрологических прогнозов Гидрометцентра России, а также ежедневно передается в Северо-Кавказское УГМС. С накоплением данных наблюдений за уровнем моря на береговых станциях появилась возможность оценки качества моделирования уровня моря.

Трехмерная гидродинамическая модель для расчета уровня моря течений

Для расчета уровня Азовского моря логично было использовать трехмерную гидродинамическую модель, которая до этого успешно применялась для расчета уровня в Баренцевом, Каспийском и Балтийском морях [1, 2, 6–8]. Модель основана на системе уравнений геофизической гидродинамики со свободной поверхностью в приближении гидростатики и Буссинеска в прямоугольной системе координат. Начало координат совпадает с невозмущенной поверхностью моря. Ось z направлена вертикально вверх, оси x и y направлены, соответственно, на восток и север.

Движение в море вызывается заданными на поверхности моря градиентами атмосферного давления и касательным напряжением трения ветра, которое зависит от скорости ветра. Зависимость эта квадратичная с коэффициентом, который называется коэффициентом сопротивления и также зависит от скорости ветра. Градиенты давления на уровне моря задаются в правой части уравнений движения модели. Используется баротропная версия модели.

В модели учитываются стоки рек Дон и Кубань, которые задаются в замыкающих створах. В месте впадения рек задается скорость течения воды по нормали к жидкой границе, тангенциальная составляющая скорости реки равна нулю.

Для перехода к конечно-разностному представлению задана прямоугольная сетка и вся область разбита на ячейки. Боковые границы аппроксимируются вертикальными плоскостями, проходящими по узлам сетки. Верхняя граница ячеек сетки изменяется во времени, а нижняя – зафиксирована и определяется рельефом дна. Шаг сетки по вертикали

переменный. Число горизонтов определяется глубиной и изменяется по акватории от единицы (в этом случае верхняя и нижняя ячейки совпадают) до 12 – максимального числа горизонтов модели.

Колебания уровня моря ограничены верхним расчетным слоем, невозмущенная толщина которого равна 2,5 м в тех точках, где глубина моря больше 2,5 м. Если глубина моря меньше, чем 2,5 м, то в этой точке только один расчетный слой и его толщина определяется рельефом дна. Минимальная глубина Азовского моря (и толщина верхнего слоя) составляет 0,1 м. Невозмущенные толщины остальных расчетных слоев равны 1 м.

Для аппроксимации по пространству применяется интегро-интерполяционный метод. Этот метод, называемый также методом баланса, используется для получения консервативных однородных разностных схем. Исходные уравнения проинтегрированы по ячейкам, непрерывные функции заменены на их дискретные аналоги, а потоки через поперечные грани ячеек аппроксимированы соответствующими конечно-разностными выражениями. По горизонтальным переменным используется сетка C по терминологии Аракавы. По времени используется явная схема со сдвигом, когда скорости течений определяются на четном, а уровень – на нечетном шаге по времени, за исключением неявной аппроксимации процесса вертикального турбулентного обмена. Шаг по времени – 40 секунд.

В модели используется переменная по пространству толщина придонной ячейки. В отличие от многих глобальных моделей циркуляции, где рельеф дна задан с точностью до глубины расчетного горизонта, в данной модели толщина придонного слоя изменяется по пространству и зависит от глубины места. В придонных ячейках толщина постоянна по времени, но различна по пространству, что позволяет правильно описывать рельеф дна, от которого, в свою очередь, зависит скорость движения нагонной волны и время наступления пика нагона. Придонное трение зависит от величины придонной скорости течения, что является преимуществом трехмерной модели по сравнению с двумерными моделями, где придонное трение зависит от средней по толщине воды скорости течения. Сочетание подробного описания рельефа дна с более точной, чем в двумерных моделях, аппроксимацией придонного трения в конечном итоге приводит к более точному воспроизведению скорости движения поверхностной гравитационной волны, что дает хорошее совпадение по времени с наблюдаемыми пиками наступления наводнения.

В модели используется алгоритм учета осушения и затопления, который успешно применялся при расчетах штормовых нагонов в Каспийском море [2].

Программа расчета представляет собой реализацию решения системы дифференциальных уравнений в частных производных с помощью конечных разностей. Текст программы написан на языке FORTRAN. Программа поддерживает распараллеливание в модели общей памяти с помощью технологии OpenMP [6].

Входными данным для модели являются поля давления и ветра по данным метеорологического прогноза COSMO с разрешением примерно 7 км по горизонтали. Исходные поля ветра и давления интерполируются по пространству с сетки атмосферной модели COSMO на модельную 0,5-мильную сетку. Поля ветра и давления уже на модельной сетке линейно интерполируются по времени, чтобы получить поля на каждом модельном шаге по времени. Выходными данными являются трехмерное поле скоростей течений и уровень Азовского моря с разрешением по горизонтали 926 м.

В настоящее время действует главная высотная основа СССР 1977 года (ГВО СССР). На рис. 1 представлена расчетная 0,5-мильная сетка Азовского моря с батиметрией относительно нуля Кронштадтского футштока (ГВО СССР). За единый ноль постов Азовского моря с 1961 г. принята отметка, равная – 5 м БС. Чтобы привести наблюдения к 0 м БС, нужно отнять от наблюдаемого уровня 5 м. В дальнейшем под термином уровень моря следует понимать отклонение уровня моря от нуля Кронштадтского футштока.

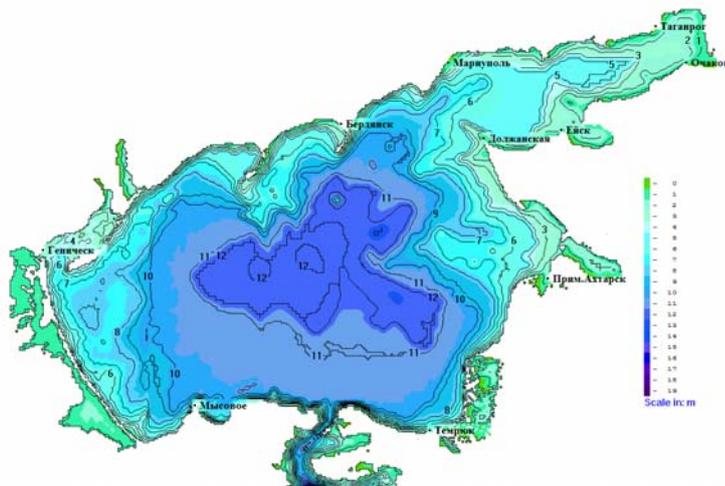


Рис. 1. Расчетная 0,5-мильная сетка и батиметрия Азовского моря.

Диагностический расчет уровня Азовского моря в 2015-2016 годах

Качество расчета уровня моря по гидродинамической модели лучше всего оценивать в диагностическом расчете, когда ошибки входной информации по ветру и давлению, поступающие из модели атмосферы, минимальны. Если считать, что атмосферная модель работает идеально, то диагностический расчет содержит только ошибки расчета по морской гидродинамической модели. При сравнении с данными измерений уровня моря на береговых станциях полезно также учитывать, что и наблюдения за уровнем могут содержать ошибки. Хорошее совпадение расчетов уровня по модели с наблюдениями возможно только при наличии качественных наблюдений и, конечно, качественных расчетов по атмосферной и морской моделям.

Для проведения диагностического расчета был создан непрерывный ряд атмосферных полей давления и скорости ветра из модели COSMO с 1 июня 2015 г. по 1 сентября 2016 г. Этот непрерывный ряд был собран из прогнозов атмосферы по модели COSMO, поступающих два раза в сутки в сроки 00 и 12 ч. Из каждого прогноза выбирались поля с заблаговременностью 6, 9, 12 и 15 ч и составлялся непрерывный ряд. Далее непрерывный ряд полей ветра и атмосферного давления интерполировался с сетки модели COSMO на расчетную 0,5-мильную сетку Азовского моря.

Были проведены непрерывные расчеты уровня моря по заданному на поверхности моря атмосферному воздействию (ветер и давление) с 1 июня по 1 декабря 2015 г. и с 1 марта по 1 сентября 2016 года. Зимние месяцы пока не рассчитывались из-за отсутствия информации о сплоченности льда. В начале каждого расчета поле уровня Азовского моря было задано постоянным и равным нулю по всей площади моря, начальные скорости течений также равны нулю.

Оценки точности расчетов уровня моря по наблюдениям

Результаты сравнения расчетов уровня моря с наблюдениями на береговых станциях представлены в табл. 1–3.

Наблюдения за уровнем моря поступают четыре раза в сутки в 0, 6, 12, 18 часов только на станции Мысовое, на остальных станциях наблюдения поступают три раза в сутки в 6, 12 и 18 часов. Выделяется только июнь 2015 г., когда в Геническе и Мариуполе наблюдения были один раз в сутки. Начиная с марта 2016 г. в Таганроге наблюдения стали поступать четыре раза в сутки.

Таблица 1. Оценка точности расчетов уровня моря на станциях летом 2015 г.

Станция	Num-d	Max-d	Min-d	CKOd	Max-m	Min-m	CKOm	A ₀	Or%	CKO(d-m)	CKO(d-m)%	<0.674CKOd	Rcor
Июнь 2015 г.													
Геническ	30	51	-35	14,2	47	-18	11,9	5,1	5,9	7,1	49,7	83	0,89
Мариуполь	30	18	-38	11,6	25	-53	15,2	5,7	10,1	9	78	73	0,81
Таганрог	90	53	119	28,6	51	111	27,7	8,3	4,8	11,7	40,7	91	0,92
Ейск	90	26	-84	17,9	20	-81	18,4	5,8	5,3	7,6	42,3	88	0,92
Мысовое	120	40	-23	8,2	33	-21	7,5	4	6,4	5,2	63,1	77	0,79
Июль 2015 г.													
Геническ	93	20	-46	10,6	32	-46	11,7	5,3	8	7,1	67,2	75	0,80
Мариуполь	93	3	-39	8,2	-1	-40	7	4,8	11,5	6,2	75,4	62	0,68
Таганрог	93	55	-69	23,2	51	-74	22,7	10,4	8,4	14	60,4	76	0,82
Ейск	93	12	-46	11,5	27	-54	13,4	6,8	11,7	9,8	84,8	68	0,70
Мысовое	124	20	-26	8,1	14	-26	6,3	4,6	10,1	5,9	72,3	64	0,70
Август 2015 г.													
Геническ	93	15	-47	12,7	14	-42	14,3	5,5	8,9	7	55	77	0,87
Мариуполь	93	36	-63	12,4	-12	-62	11,9	4,6	4,7	7,2	57,9	88	0,83
Таганрог	93	48	109	28,2	16	-96	28,7	12,6	8	17,5	61,9	83	0,82
Ейск	93	1	-74	16	-5	-75	17,2	8,4	11,2	10,3	64	67	0,82
Мысовое	124	10	-51	10,3	7	-33	11,1	5,1	8,3	6,7	65	74	0,81

В табл. 1-3 указано:

Num-d – число поступивших за месяц наблюдений использованное для сравнения с расчетами;

Max-d – максимальное значение уровня моря по данным наблюдений;

Min-d – минимальное значение уровня моря по данным наблюдений;

CKOd – среднеквадратическое отклонение наблюдений от среднего;

Max-m – максимальное значение уровня моря по модели;

Min-m – минимальное значение уровня моря по модели;

CKOm – среднеквадратическое отклонение расчетов от среднего;

A₀ – абсолютная ошибка расчетов;

$O_r\%$ – относительная ошибка расчетов;
 СКО(d-m) – среднеквадратическая ошибка расчетов;
 СКО(d-m)% – отношение в % СКО(d-m) к СКОd наблюдений;
 $<0,674\text{СКОd}$ – процент расчетов, не выходящих за определенный предел, т. е. оправдываемость расчета в процентах [10];
 R_{cor} – коэффициент корреляции между данными наблюдений и моделирования.

Таблица 2. Оценка точности расчетов уровня моря на станциях осенью 2015 г.

Станция	Num-d	Max-d	Min-d	СКОd	Max-m	Min-m	СКОm	Ao	Of%	СКО(d-m)	СКО(d-m)%	<0,674СКОd	Rcor
Сентябрь 2015 г.													
Геническ	90	35	-36	13,2	37	-40	13,3	4,7	6,7	6,3	47,8	88	0,89
Мариуполь	90	-14	-81	12,5	-16	-90	12,6	5,6	8,4	7	56,3	81	0,84
Таганрог	90	26	193	33,2	45	191	42,1	11,4	5,2	19,2	57,8	90	0,90
Ейск	90	4	124	21	6	136	21,1	7,6	6	9,9	46,9	87	0,89
Мысовое	120	17	-43	10	19	-41	10,5	4,6	7,7	5,9	58,6	78	0,84
Октябрь 2015 г.													
Геническ	93	54	-58	20,6	54	-52	22,8	4,3	3,8	5,6	27,1	97	0,97
Мариуполь	93	-24	-92	13,5	-33	-98	14,3	3	4,4	4,6	34,1	96	0,95
Таганрог	93	11	213	43,9	11	205	49,7	13,8	6,2	20	45,7	89	0,92
Ейск	93	-24	139	23,4	-13	141	27,5	6,8	5,9	9,5	40,6	91	0,94
Мысовое	124	26	-82	14,8	24	-45	14,5	4	3,7	6,3	42,6	95	0,91
Ноябрь 2015 г.													
Геническ	90	32	-88	22,5	40	-89	24,9	6,8	5,6	8,8	39	89	0,94
Мариуполь	90	28	-59	16,4	28	-68	20,3	6,1	7	8,4	51,2	86	0,92
Таганрог	90	71	112	36	83	116	43,4	10,6	5,8	13,6	37,8	90	0,96
Ейск	90	16	-74	18,3	20	-78	22,8	8,6	9,5	11,6	63,4	80	0,86
Мысовое	120	13	-57	15,3	20	-64	16,9	5,3	7,6	7,3	47,6	87	0,90

Таблица 3. Оценка точности расчетов уровня моря на станциях весной 2016 г.

Станция	Num-d	Max-d	Min-d	CKOd	Max-m	Min-m	CKOm	Ao	O%	CKO(d-m)	CKO(d-m)%	<0.674CKOd	Rcor
Март 2016 г.													
Геническ	93	52	-55	17,1	61	-70	22,8	6,1	5,7	8,6	50,3	86	0,95
Мариуполь	93	32	-44	12,5	27	-50	14,4	4,8	6,3	6,3	50,2	84	0,90
Таганрог	124	136	117	38,2	143	118	42	10,6	4,2	14,4	37,5	90	0,94
Ейск	93	49	-64	18	47	-84	21,9	6,3	5,6	8,5	47,2	86	0,93
Мысовое	124	28	-54	12,9	31	-61	15	4,1	5,1	5,8	45,1	87	0,93
Апрель 2016 г.													
Геническ	90	35	-44	13,2	43	-54	13,8	5,5	7	7,5	57,1	84	0,85
Мариуполь	90	38	-37	12	38	-32	12	5,3	7,1	8,3	69,1	84	0,76
Таганрог	120	146	-72	35,6	151	-88	35,9	13,8	6,3	19,6	55,2	86	0,85
Ейск	90	46	-48	17,6	65	-57	18,7	7,6	8,1	10,5	59,5	79	0,84
Мысовое	120	22	-37	9,7	22	-39	9,4	5,8	9,8	7,3	75,2	66	0,71
Май 2016 г.													
Геническ	93	74	-12	15,8	74	-28	12,9	9,7	11,2	15,9	100,7	73	0,40
Мариуполь	93	23	-45	12	25	-48	11,6	4,1	6	5,1	42,8	87	0,91
Таганрог	124	96	131	32,4	96	109	28	11,2	5	14,8	45,8	90	0,89
Ейск	93	26	-84	16,9	34	-82	17,1	6,3	5,7	8,6	50,6	89	0,87
Мысовое	124	48	-15	7,7	45	-26	8,6	3,7	5,9	5,1	65,4	77	0,82

Коэффициент корреляции на станции Геническ находится в диапазоне 0,80–0,97, за исключением мая 2016 г., когда его значение неожиданно стало равно 0,4. Такое резкое понижение коэффициента корреляции можно объяснить только ошибками наблюдений. В остальные месяцы модель хорошо воспроизводит уровень моря в Геническе; например, в ноябре 2015 г. (рис. 2), когда наблюдался самый сильный сгон (-88 см), коэффициент корреляции составил 0,94 – не самое высокое значение, максимальное значение (0,97) было в октябре (рис. 3). Среднее значение коэффициента корреляции за девять месяцев с учетом провала в мае

составило всего 0,84. Оправдываемость очень сильно зависит от величины SKOd; например, при SKOd=20,6 в октябре оправдываемость 97 %, а при SKOd=10,6 в июле оправдываемость всего 75 %. Оправдываемость изменяется в диапазоне 73–97 %, средняя за девять месяцев оправдываемость – 84 %.

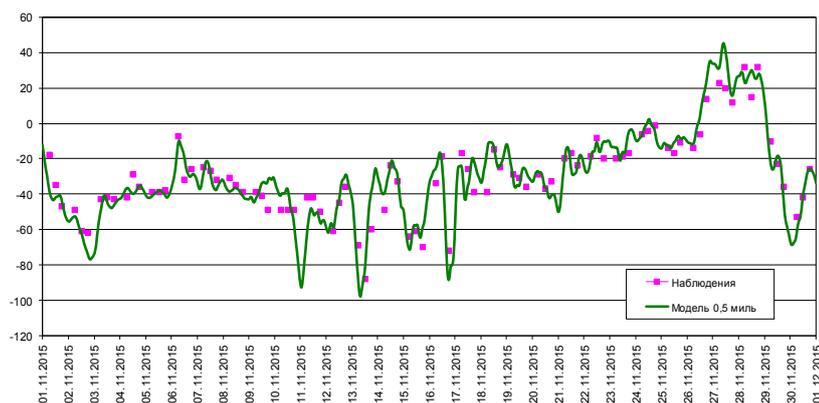


Рис. 2. Уровень моря на станции Геническ в ноябре 2015 г.

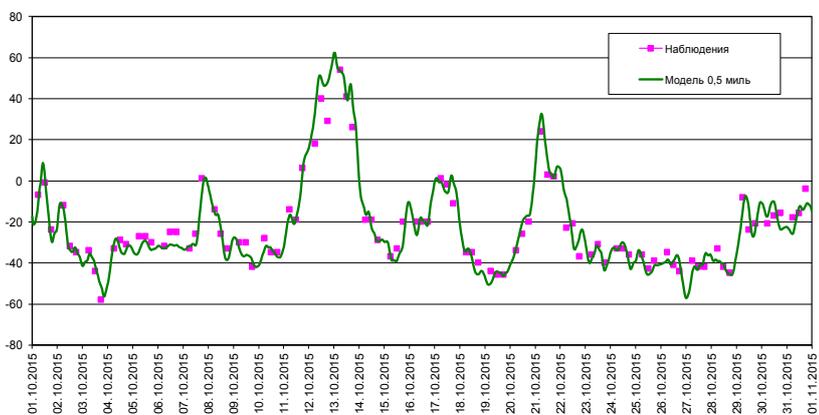


Рис. 3. Уровень моря на станции Геническ в октябре 2015 г.

Коэффициент корреляции на станции Мариуполь находится в диапазоне 0,68–0,95, среднее за девять месяцев значение – 0,84. Самый большой сгон по наблюдениям (-92 см) был в октябре 2015 г. (рис. 4). Оправдываемость изменяется в диапазоне 62–96 %, средняя за девять месяцев оправдываемость – 82 %.

Коэффициент корреляции на станции Таганрог находится в диапазоне 0,82–0,96, среднее за девять месяцев значение – 0,89. Самый большой сгон по наблюдениям (-213 см) был в октябре 2015 г. (рис. 5). Оправдываемость изменяется в диапазоне 76–91 %, средняя за девять месяцев оправдываемость – 87 %.

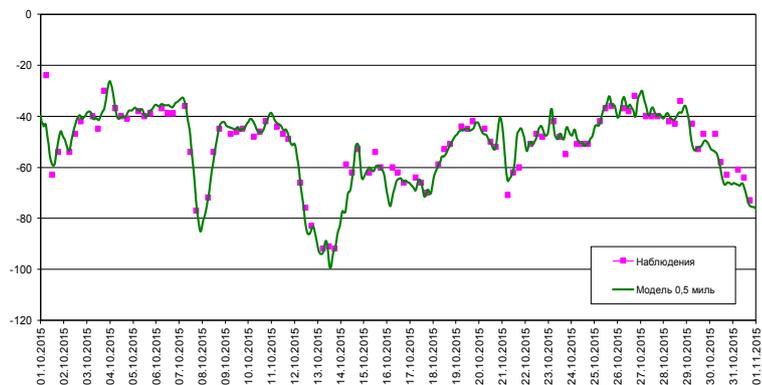


Рис. 4. Уровень моря на станции Мариуполь в октябре 2015 г.

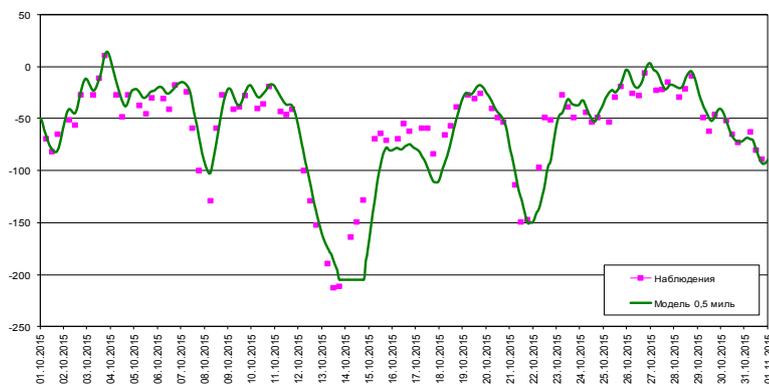


Рис. 5. Уровень моря на станции Таганрог в октябре 2015 г.

Коэффициент корреляции на станции Ейск находится в диапазоне 0,70–0,94, среднее за девять месяцев значение – 0,86. Самый большой сгон по наблюдениям (-139 см) был в октябре 2015 г. (рис. 6). Оправдываемость изменяется в диапазоне 67–91 %, средняя за девять месяцев оправдываемость – 82 %.

Коэффициент корреляции на станции Мысовое находится в диапазоне 0,70–0,93, среднее за девять месяцев значение – 0,82. Самый большой сгон по наблюдениям (-82 см) был в октябре 2015 г. (рис. 7). Оправдываемость изменяется в диапазоне 64–95 %, средняя за девять месяцев оправдываемость – 78 %.

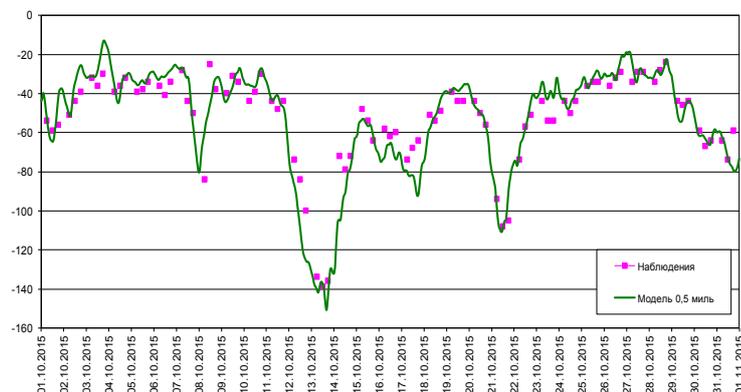


Рис. 6. Уровень моря на станции Ейск в октябре 2015 г.

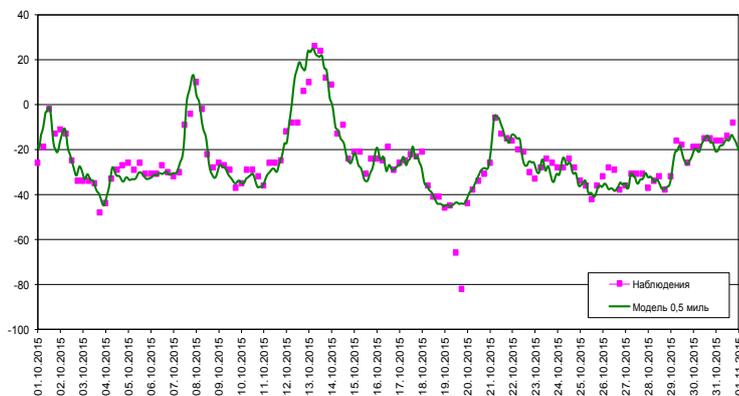


Рис. 7. Уровень моря на станции Мысовое в октябре 2015 г.

Модель хорошо воспроизвела экстремальные сгоны на побережье Азовского моря. Только на станции Мысовое модели не удалось воспроизвести кратковременное понижение уровня моря всего за два срока наблюдений, а именно: 19 октября 12 ч, уровень моря 66 см и 19 октября 18 ч, уровень моря -82 см. Это краткосрочное понижение уровня моря вызвано, возможно, особенностями ветра, которые не воспроизвела модель COSMO, или, что менее вероятно (все-таки два срока), ошибками наблюдений.

Береговые станции Азовского моря по величине средней за девять месяцев оправдываемости идут в следующем порядке: Таганрог 87 %, Геническ 84 %, Ейск 82 %, Мариуполь 82 %, Мысовое 78 %. По критериям [10] оправдываемость расчетов получает оценку хорошо только на станции Таганрог, на станциях Геническ, Ейск и Мариуполь оценка удовлетворительно, а на станции Мысовое даже неудовлетворительно. Такая низкая оправдываемость объясняется очень малыми значениями допустимой ошибки $<0,674\text{CKOd}$, где средние за девять месяцев значения SKOd на станциях Азовского моря следующие: Таганрог 33 см, Геническ 16 см, Ейск 18 см, Мариуполь 12 см, Мысовое 11 см. Получается, что для станции Мысовое расчет по модели считается успешным в том случае, если он отличается от наблюдений меньше, чем на $0,674\text{CKOd} = 7$ см. Это очень маленькая ошибка; похоже, что в [10] предъявляются слишком высокие требования к качеству расчетов. При ошибке 15 см оправдываемость будет хорошей или, как минимум, удовлетворительной.

Заключение

Диагностический расчет уровня Азовского моря по модели с разрешением 0,5 морских миль с использованием атмосферного форсинга по модели COSMO (7 км) выполнен в течение девяти месяцев. Результаты сравнения уровня моря с наблюдениями на береговых станциях в целом показывают хорошее соответствие модельного и наблюдаемого уровней моря. Если оценивать успешность работы модели по величине среднего за девять месяцев коэффициента корреляции, то береговые станции Азовского моря расположены следующим образом: Таганрог 0,89, Ейск 0,86, Геническ 0,84, Мариуполь 0,84, Мысовое 0,82.

По величине средней за девять месяцев относительной ошибки: Таганрог 6,0 см, Геническ 7,0 см, Мысовое 7,2 см, Мариуполь 7,3 см, Ейск 7,7 см.

По величине средней за девять месяцев абсолютной ошибки: Мысовое 4,6 см, Мариуполь 4,9 см, Геническ 5,9 см, Ейск 7,1 см, Таганрог 11,4 см.

По величине средней за девять месяцев СКО(d-m)‰: Таганрог 49,2 %, Геничск 54,9 %, Ейск 55,5 %, Мариуполь 57,2 %, Мысовое 59,4 %.

Список использованных источников

1. *Архипов Б.В., Попов С.К.* Моделирование плотностных и ветровых течений в юго-восточной части Баренцева моря // *Океанология*. 1996. Т. 36, № 6. С. 805-813.
2. *Зильберштейн О.И., Попов С.К., Чумаков М.М., Сафронов Г.Ф.* Метод расчета экстремальных характеристик уровня моря в Северном Каспии // *Водные ресурсы*. 2001. Т. 28, № 6. С. 692-700.
3. *Ибраев Р.А., Дьяконов Г.С.* Моделирование динамики океана при больших колебаниях уровня // *Известия РАН. ФАО*. 2016. Т. 52, № 4. С. 514-526.
4. *Овсиенко С.Н.* Расчет катастрофического нагона у юго-восточного побережья Азовского моря // *Труды Гидрометцентра СССР*. 1973. Вып. 127. С. 33-36.
5. *Попов С.К.* Трехмерная модель для расчета штормовых нагонов в Азовском море // *Труды ГОИН*. 1995. Вып. 2: юбилейный. С. 205-214.
6. *Попов С.К., Зильберштейн О.И., Лобов А.Л., Чумаков М.М.* Моделирование сезонного хода уровня Каспийского моря с применением параллельных вычислений // *Метеорология и гидрология*. 2009. № 12. С. 41-53.
7. *Попов С.К., Лобов А.Л., Елисов В.В., Батов В.И.* Прилив в оперативной модели краткосрочного прогноза уровня моря и скорости течений в Белом и Баренцевом морях // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 6. С. 68-82.
8. *Попов С.К., Лобов А.Л.* Гидродинамическое моделирование наводнений в Санкт-Петербурге с учетом работающей дамбы // *Метеорология и гидрология*. 2017. № 4. С. 80-89.
9. *Попов С.К., Лобов А.Л.* Диагноз и прогноз наводнения в Таганроге по оперативной гидродинамической модели // *Труды Гидрометцентра России*. 2016. Вып. 362. С. 92-108.
10. РД 52.27.759–2011. Наставление по службе прогнозов, Раздел 3 Часть III. Служба морских гидрологических прогнозов. М.: Триада Лтд, 2011.
11. *Тихонова О.В., Зильберштейн О.И., Сафронов Г.Ф.* Гидродинамическое моделирование штормовых нагонов Азовского моря // *Труды ГОИН*. 1995. Вып. 2: юбилейный. С. 215-223.
12. *Филиппов Ю.Г.* Об одном способе расчета морских течений // *Труды ГОИН*. 1970. Вып. 103. С. 87-94.
13. *Филиппов Ю.Г.* О влиянии стока р. Дон на уровень воды в Таганрогском заливе // *Метеорология и гидрология*. 2015. № 2. С. 76-80.
14. *Фомин В.В., Полозок А.А., Фомина И.В.* Моделирование циркуляции вод Азовского моря с учетом речного стока // *Морской гидрофизический журнал*. 2015. № 1. С. 16-28.

Поступила в редакцию 02.05.2017 г.