

УДК 556.535.2 (282.247.367)

СГОННО-НАГОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ДОН В 2007–2010 гг. И ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

© 2012 г. Е.П. Пономаренко¹, В.В. Сорокина¹, П.А. Бирюков¹

С целью изучения гидрологического режима с 2007 г. на научно-экспедиционной базе Южного научного центра РАН (с. Кагальник) ведутся наблюдения за уровнем воды в дельте Дона. Измерения проводили с помощью стандартного гидрологического оборудования (гидрологической рейки, поплавкового уровнемера), а также специально разработанного программно-аппаратного комплекса сбора данных. По результатам наблюдений выявлена степень зависимости сгонно-нагонных явлений от метеоусловий (направления и скорости ветра), на основании которой дается прогноз динамики уровня по методу аналогов, который позволяет предсказать сценарий развития сгонно-нагонных явлений (время начала и продолжительность явления, время наступления экстремумов уровня, величину подъема или спада уровня).

Ключевые слова: динамика уровня, сгонно-нагонные явления, дельта Дона.

Устьевая область реки отличается особой сложностью протекающих здесь гидрологических процессов. Уровневый режим дельты и устьевого взморья формируется под влиянием многолетних колебаний стока, которые создают стояние относительно высоких или низких уровней. В свою очередь на их фоне происходят сезонные изменения, связанные с основными фазами водности (половодье, межень). Определяющее влияние на гидрологический режим дельты и взморья оказывают сгонно-нагонные явления. Так, ветры с западной составляющей вызывают нагон воды из Таганрогского залива и подъем уровня в р. Дон, ветры с восточной составляющей вызывают сгон воды и падение уровня [1].

Климатические изменения второй половины XX века, сказываются на стоке реки Дон и, соответственно, уровне в режиме, в этом аспекте важность его оценки возрастает. Научные изыскания в дельте р. Дон являются востребованными, входят в государственные программы, реализуемые Ростовским областным комитетом по охране природы, они направлены на улучшение гидрологического режима, повышение проточности и рыбопроходной способности водных объектов, предотвращение гибели водных биоресурсов, а также создание условий для нереста проходных и полупроходных рыб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения закономерностей формирования гидрологического режима дельтовой области реки Дон в 2007 г. организован постоянный гидрологический пост на научно-экспедиционной базе Южного научного центра РАН (ЮНЦ РАН) в с. Кагальник (гирло Свиное) [2]. Данные об уровне на гидрологическом посту Кагальник являются репрезентативными для всей дельты, так как колебания уровня в различных рукавах практически синхронны. Дифференциация хода уровня по рукавам дельты связана с морфометрическими параметрами русла и разным характером берегов [3].

Наблюдения за уровнем проводили при помощи поплавкового цифрового одно-тросового уровнемера (УПЦО) производства ФГУП “Гидрометприбор” (г. Санкт-Петербург). Прибор работает в автономном режиме и сохраняет накопленную информацию в блоке памяти (до 16 000 записей). Рабочий период – с апреля по ноябрь. В дополнение к этому проводили непрерывные дистанционные наблюдения за уровнем с помощью экспериментального программно-аппаратного комплекса сбора данных (ПАКСД), разработанного в ЮНЦ. Показания прибора передаются по каналу ЦАП-АЦП в Южный научный центр. Измерения уровня проводили с использованием датчика давления. Дискретность измерений обоих приборов – 5 мин, что позволяет проследить характер изменения формы водной поверхности и режим уровня в дельтовой области Дона за полный цикл явлений сгона или нагона. Рассматриваемый период измерений 31.05.2007–

¹Институт аридных зон Южного научного центра РАН, 344006, Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41; тел. (863) 250-98-05; e-mail: ponomkat@ssc-ras.ru, sorokina@ssc-ras.ru, biryukov@ssc-ras.ru

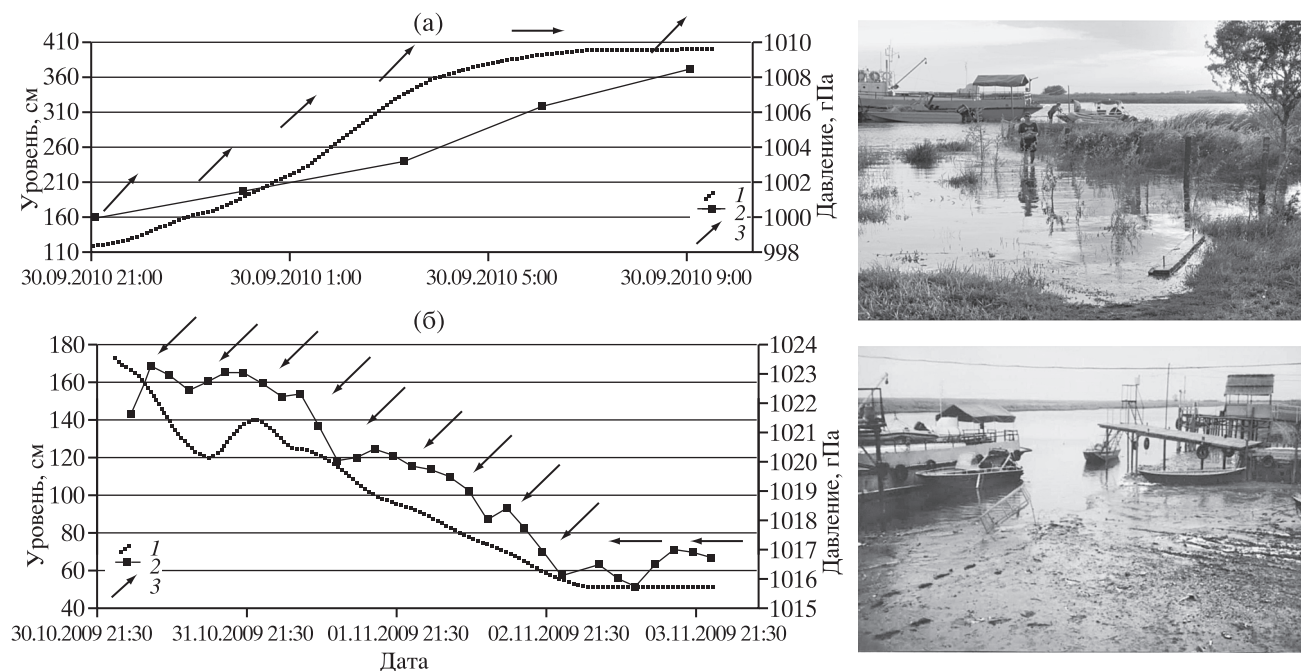


Рис. 1. Пример экстремального нагона 30.09.2010 (а) и сгона 30.10–03.11.2009 (б) в с. Кагальник (дельта Дона): 1 – уровень, 2 – давление, 3 – направление ветра

14.12.2010. Общее число накопленных данных – 215 973.

Так как УПЦО и ПАКСД дают относительные превышения уровня над установленным начальным положением, для получения абсолютных отметок уровня используют данные измерений уровня при помощи водомерной рейки (цена одного деления составляет 2 см, частота измерений – один раз в 3 ч). Рассматриваемый период измерений 01.01.2006–30.11.2010. Общее число накопленных данных – 8601.

Результаты показаний приборов заносили в общую базу данных ЮНЦ РАН [4], которая послужила материалом для анализа сгонно-нагонных явлений в дельте р. Дон. В качестве нагона учитывали ситуацию, когда уровень поднимался при западных ветрах (рис. 1а), в качестве сгона – ситуацию, когда уровень опускался при восточных ветрах (рис. 1б).

ХАРАКТЕРИСТИКА НАГОНОВ

Ситуация нагона формируется на фоне пониженного атмосферного давления (в пределах 1000–1019 гПа, начало уменьшения давления отмечается за 0–48 ч) и ветров западных румбов. Причем ветер меняет направление на западную составляющую за 2–3 ч до начала развития явления. Падение давления составляет в среднем 12 гПа. Продолжительность нагонов, наблюдаемых в дельте Дона, может варьировать от 3 до 78 ч и в среднем составляет

22 ч; величина подъема уровня – от 35 до 280 см, в среднем составляет 75 см (табл. 1).

Результаты статистической обработки данных, накопленных за период с июня 2007 г. по декабрь 2010 г., позволяют сделать следующие выводы. Уровень при нагонах может достигать максимальных значений 390–400 см (относительно нуля поста) в 1% случаев, в большинстве же случаев (38%) уровень достигает максимальных значений, соответствующих 220–240 см (относительно нуля поста) (рис. 2А). Обеспеченность подъема уровня до 210 см составляет 96%, обеспеченность же уровней, превышающих отметку 300 см, составляет 4% (рис. 2А).

В 93% случаев уровень может подниматься на 130 см (рис. 2Б). Обеспеченность подъема уровня на максимальную величину (270–280 см) составляет 1%. В большинстве случаев (22%) уровень увеличивается на 50–60 см. Нагоны продолжительностью до 40 ч составляют 87% всех наблюдаемых явлений. Наиболее распространены нагоны продолжительностью от 10 до 20 ч (43%). Нагоны продолжительностью до 10 ч имеют обеспеченность 83%. Максимальная продолжительность (70–80 ч) нагонов встречается в 4% случаев (рис. 2В). Нагоны со скоростью подъема уровня до 7,5 см/ч составляют 89% случаев, с максимальной скоростью (>20 см/ч) – всего 1%. Обеспеченность нагонов со скоростью подъема уровня до 2,5 см/ч составляет 71%. В большинстве ситуаций (41%) уровень растёт со скоростью до 5 см/ч (рис. 2Г). Нагоны происходят в 93% случаев при средней скорости ветра

Таблица 1. Характеристики нагонов

Дата, время (ч : мин)		Продолжительность, ч	Начальный уровень*, см	Конечный уровень*, см	Величина подъема уровня, см	Среднее значение давления, гПа	Направление ветра	Сила ветра, м/с		
Начало нагона	Конец нагона							сред.	макс.	мин.
01.06.07 08:24	02.06.07 19:14	34,8	166	230	64	1009	юз, сз, з	3,2	6	1
04.06.07 10:49	06.06.07 03:54	41,1	113	194	81	1017	сз, св, юз, з	2,7	5	1
22.06.07 02:40	24.06.07 14:10	59,5	162	287	125	1010	юз, сз	5,3	11	2
29.06.07 07:45	29.06.07 18:50	11,1	152	244	92	1004	юз, сз	5,2	7	3
05.07.07 15:05	08.07.07 20:45	77,7	163	285	122	1006	юз, сз	4,8	12	2
08.08.07 08:45	09.08.07 01:15	16,5	143	234	91	1004	юз, сз, св	4,8	9	2
08.09.07 06:19	09.09.07 17:54	35,6	179	328	149	1000	юз, сз	5,4	12	0
10.09.07 11:09	11.09.07 01:39	14,5	179	251	72	1011	юз, з, сз	4	8	1
13.09.07 15:09	14.09.07 19:34	28,4	186	275	89	1007	юз, сз	6,7	13	2
15.09.07 13:24	17.09.07 11:19	45,9	180	252	72	1012	юз, з, сз	3,1	8	1
07.10.07 20:44	08.10.07 18:09	21,4	162	205	43	1018	юз, юв	2,5	4	1
02.04.08 00:46	03.04.08 14:26	37,7	166	270	104	1009	юз, сз, с	4,5	8	2
08.04.08 07:56	08.04.08 18:36	10,7	164	219	55	1012	юз, юв	3,8	3	5
13.04.08 10:56	14.04.08 08:26	21,5	158	247	89	1011	юз, юв	6,1	10	4
21.04.08 05:06	21.04.08 20:26	15,3	181	234	53	1008	юз, з	3,8	5	3
23.04.08 09:06	24.04.08 06:46	21,7	138	352	214	1005	юз	8	11	7
11.05.08 17:36	14.05.08 19:56	74,3	181	290	109	1010	юз, з, сз	5	11	2
30.05.08 12:16	31.05.08 20:46	32,5	174	260	86	1012	юз, сз, з	4,3	10	0
16.06.08 05:34	17.06.08 20:09	38,6	171	232	61	1010	юз, з, сз	3	6	1
23.06.08 12:19	24.06.08 22:04	33,8	156	241	85	1011	юз, сз	3,3	5	1
03.04.09 11:41	04.04.09 22:11	34,5	178	275	97	1018	юз, сз	6,2	12	2
18.04.09 10:46	19.04.09 13:41	36,9	182	307	125	1013	юз, з	8,3	13	5
30.04.09 13:56	01.05.09 18:11	38,3	161	219	58	1007	юз, юв	3,3	6	0
06.05.09 09:01	06.05.09 22:41	13,7	168	244	76	1007	юз, з	5,4	7	4
11.05.09 14:06	13.05.09 17:46	51,7	182	298	116	1015	юз, юв	3,9	8	0
14.05.09 11:11	16.05.09 03:36	40,4	186	257	71	1014	юз, з, сз	6,2	11	3
17.05.09 16:46	18.05.09 18:11	25,4	172	227	55	1012	юз, сз, з, юв	2,6	5	0
23.05.09 14:56	25.05.09 17:41	50,8	174	259	85	1008	сз, юз, з	4,5	11	2
12.06.09 12:56	14.06.09 02:06	37,2	160	236	76	1009	юз, сз	3,2	7	0
04.07.09 15:56	05.07.09 01:51	9,9	168	233	65	1000	юз	5,5	6	5
13.07.09 15:01	14.07.09 01:31	10,5	145	267	122	1005	юз, сз	4,3	5	4
20.07.09 13:36	21.07.09 06:11	16,6	188	228	40	1007	юз, сз	5	8	2
14.10.09 14:18	15.10.09 01:18	11,0	158	209	51	1015	юз, сз	3,2	4	2
29.10.09 11:13	29.10.09 22:23	11,2	177	229	52	1012	сз	4,2	6	3
10.04.10 15:46	11.04.10 00:36	8,8	181	217	36	1015	сз	3	4	2
21.04.10 12:36	23.04.10 00:46	36,2	177	233	56	1007	юз, з	3,6	6	0
08.05.10 17:01	09.05.10 05:16	12,3	170	229	59	1008	юз	3,8	5	2
10.05.10 16:56	11.05.10 02:51	9,9	176	228	52	1009	юз, з	4,8	7	3
17.05.10 16:16	17.05.10 19:26	3,2	198	242	44	1009	юз	4,9	12	0
18.05.10 04:46	18.05.10 11:26	6,7	197	250	53	1009	юз, сз	4,3	10	0
24.05.10 08:31	26.05.10 05:56	45,4	195	297	102	1008	юз, з	6,2	13	1
03.06.10 12:03	04.06.10 00:53	12,8	154	231	77	1009	юз, юв	1,6	2	1
13.06.10 11:23	14.06.10 00:08	12,8	185	220	35	1012	сз, юз	2,2	4	1
16.06.10 12:38	17.06.10 00:23	11,8	178	225	47	1009	сз	5,2	6	4
25.06.10 13:48	26.06.10 00:03	10,3	162	218	56	1008	юз, юв, сз	2,2	4	0
27.06.10 21:13	27.06.10 23:58	2,8	191	235	44	1009	сз, юз, юв	2,2	4	1
30.06.10 12:48	01.07.10 01:13	12,4	200	243	43	1009	юз	8	10	6
06.07.10 03:33	06.07.10 20:43	17,2	184	239	55	1008	юз, юв	3	4	1
07.07.10 06:48	07.07.10 22:23	15,6	209	236	27	1011	юз, з, сз	4,3	8	2
10.07.10 10:12	11.07.10 01:52	15,7	157	233	76	1010	юз, ю, сз	2,3	4	0
11.07.10 10:27	12.07.10 00:52	14,4	195	242	47	1011	юз, сз	3,3	6	2
14.07.10 19:02	15.07.10 04:57	9,9	186	226	40	1008	юз, сз, св	2,5	3	2
12.08.10 16:27	13.08.10 03:42	11,3	169	233	64	1011	юз, сз	4,9	11	2
18.08.10 17:02	19.08.10 22:27	29,4	175	241	66	1006	юз, сз, з	3,4	7	1

Таблица 1 (окончание)

Дата, время (ч : мин)		Продолжительность, ч	Начальный уровень*, см	Конечный уровень*, см	Величина подъема уровня, см	Среднее значение давления, гПа	Направление ветра	Сила ветра, м/с		
Начало нагона	Конец нагона							сред.	макс.	мин.
20.08.10 13:47	20.08.10 21:33	7,8	190	247	57	1010	сз	3	10	1
27.08.10 10:53	28.08.10 00:33	13,7	169	222	53	1012	юз, сз	2,8	7	1
01.09.10 20:03	02.09.10 09:33	13,5	196	256	60	1000	сз, з	2,4	4	1
02.09.10 23:38	03.09.10 11:03	11,4	190	265	75	1015	юз, сз	4,3	6	3
05.09.10 20:38	06.09.10 06:18	9,7	168	215	47	1010	юз, сз, з	2,1	3	1
21.09.10 20:43	22.09.10 03:53	7,2	174	212	38	1013	сз, юз	3	4	2
23.09.10 12:08	23.09.10 20:08	8,0	174	211	37	1019	сз, юз	2,8	4	2
30.09.10 21:08	01.10.10 09:28	12,4	118	399	281	1001	юз, з	11	14	6
21.10.10 04:26	21.10.10 14:44	10,3	174	215	41	1011	юз	6,5	9	5
27.10.10 00:51	28.10.10 02:41	25,8	176	216	40	1015	сз, юз, юв	1,8	5	0
04.11.10 13:21	05.11.10 04:06	14,8	183	273	90	1016	юз, з	6,8	13	2
07.11.10 00:21	07.11.10 13:56	13,6	181	227	46	1011	юз	4,5	8	2
12.11.10 23:11	13.11.10 13:46	14,6	183	227	44	1009	юз	4,1	9	2
24.11.10 16:31	25.11.10 01:16	8,8	173	232	59	1005	юз, юв	5,3	11	2
27.11.10 02:46	28.11.10 05:11	26,4	163	294	131	1007	юз, сз, з	5,1	11	2
29.11.10 21:10	30.11.10 10:31	13,4	127	295	168	1005	юз	7,6	15	3
05.12.10 09:31	06.12.10 05:11	19,7	158	221	63	1010	сз, юв	2,7	5	1
12.12.10 17:46	13.12.10 18:26	24,7	193	231	38	1001	юз, сз, з	3,3	6	1

Примечание. *Уровень приведен относительно нуля поста, нуль поста (–171 см).

до 7 м/с (рис. 2Д), но бывают ситуации, когда скорость ветра достигает 11 м/с и более, тогда формируется экстремальный нагон. 98%-ной обеспеченностью характеризуются нагоны со скоростью ветра до 2 м/с. В 81% нагонов среднее давление не превышает 1012 гПа, а в большинстве случаев (30%) среднее давление составляет 1008–1010 гПа, обеспеченность таких нагонов 39% (рис. 2Е).

Повторяемость нагонов по сезонам года, как и повторяемость генерирующих их западных ветров, неодинакова. Максимальное количество нагонов наблюдается весной – 43%, при наиболее частой повторяемости западных ветров (53%); минимальное – осенью (23%). Летом доля нагонов составляет 34%.

Экстремальные нагоны – это нагоны, во время которых уровень достигает наибольших отметок за короткий промежуток времени. За исследуемый период произошло два случая, когда уровень поднялся более чем на 2 метра. Так, 23 апреля 2008 г. подъем уровня начался в 9 ч 06 мин с отметки 138 см. Уровень рос в течение 21 ч 40 мин и к 6 ч 46 мин 24 апреля достиг 352 см. Средняя скорость подъема уровня составила 10 см/ч. Подъем уровня проходил на фоне пониженного давления (1004–1009 гПа) и юго-западного ветра, скорость которого варьировала в диапазоне 7–11 м/с и в среднем составляла 8 м/с (табл. 1).

30 сентября 2010 г. подъем уровня начался с отметки 118 см, продолжался в течение 12 ч 40 мин и достиг 399 см. Средняя скорость подъема уров-

ня составила 22,8 см/ч. Подъем уровня проходил на фоне пониженного давления (1000–1008 гПа). Скорость юго-западного и западного ветра изменялась от 6 до 14 м/с.

ХАРАКТЕРИСТИКА СГОНОВ

Как правило, падение уровня происходит спустя 1 ч после начала действия ветра восточных румбов. Сгон формируется на фоне повышенного давления (порядка 1010–1020 гПа), причем давление обычно начинает увеличиваться за 3 ч до начала явления и его рост в этот период в среднем составляет 8 гПа.

Продолжительность сгонов изменяется в пределах от 10 до 175 ч и в среднем составляет 36 ч. Величина падения уровня при сгоне может составлять 30–150 см при среднем значении за исследуемый период 74 см (табл. 2).

Результаты статистической обработки данных об уровне воды показали следующее. Относительно (от нуля поста) минимального значения (50 см) уровень может достигать в 2% случаев. Чаще всего (30% случаев) уровень падает до минимальных значений, равных 120–140 см (рис. 3А). Обеспеченность падения уровня до отметки 160 см составляет 89% (рис. 3А). В большинстве случаев (20%) величина падения уровня при сгонах составляет 50–60 см и достигает наибольших значений (120–150 см) в 3% случаев (рис. 3Б). Обеспеченность падения уровня на 30 см составляет 99%. Доля сго-

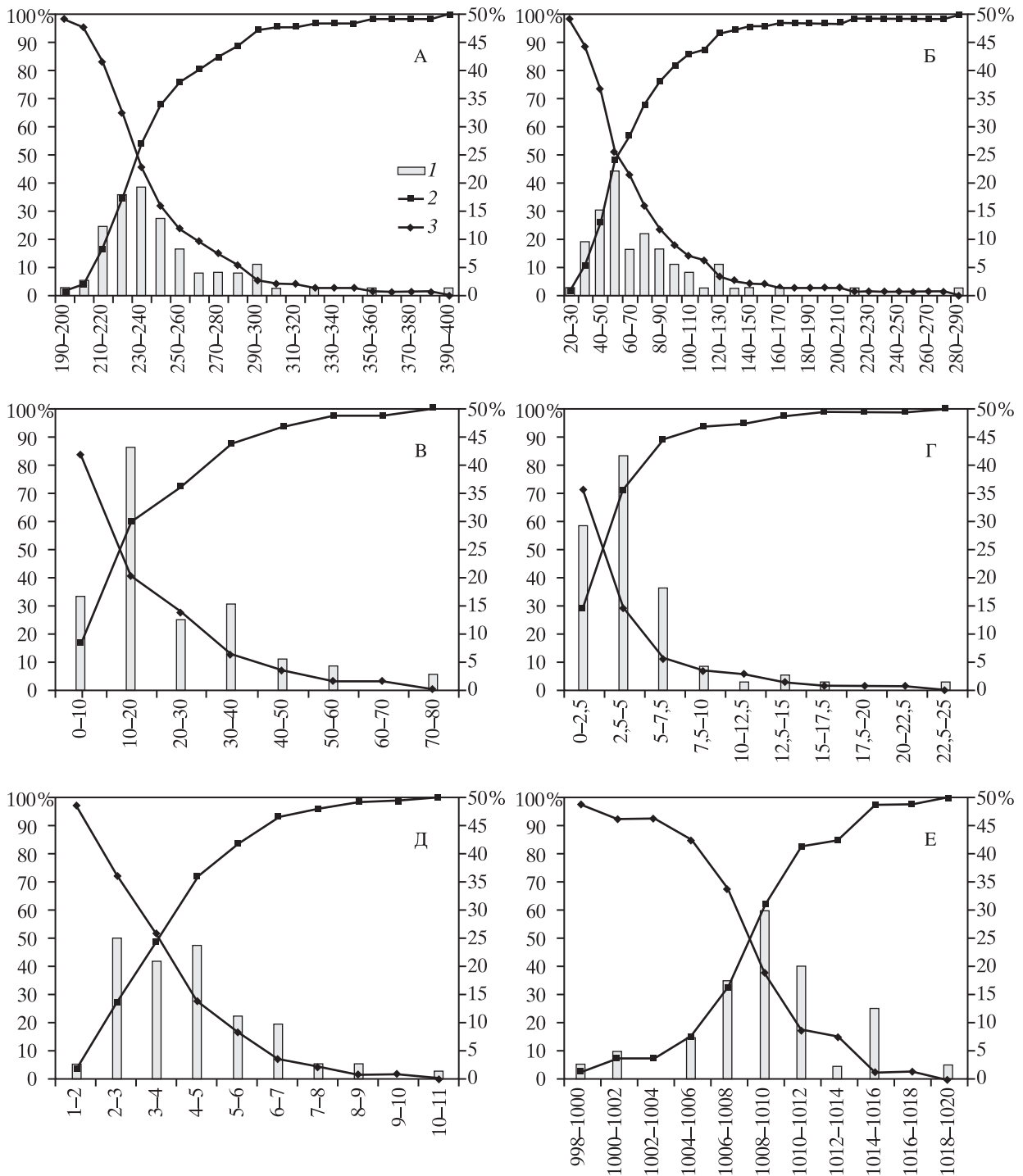


Рис. 2. Статистические характеристики нагонов: 1 – функция распределения (вспомогательная ось), 2 – интегральный процент (основная ось), 3 – обеспеченность (основная ось). А – максимальное значение уровня, (см), Б – величина подъема уровня (см), В – продолжительность (ч), Г – скорость подъема (см/ч), Д – скорость ветра (м/с), Е – средняя величина давления (гПа)

нов продолжительностью до 50 ч составляет 80%, самыми распространенными (36%) являлись сгоны небольшой продолжительности (от 10 до 20 ч), обеспеченность таких сгонов 64%. Сгоны с максимальной продолжительностью (170–180 ч) встречались в 1% случаев (рис. 3В). Сгоны со скоростью падения уровня менее 4 см/ч составляют 85%,

в большинстве случаев (32%) уровень падает со скоростью 2–3 см/ч. Сгоны со скоростью падения уровня до 1 см/ч характеризуются 97%-ной обеспеченностью. Сгоны с наибольшим темпом падения уровня (5–6 см/ч) встречаются в 3% случаев (рис. 3Г). Сгоны, в период которых средняя скорость ветра не превышает 7 м/с, составляют 87% случаев,

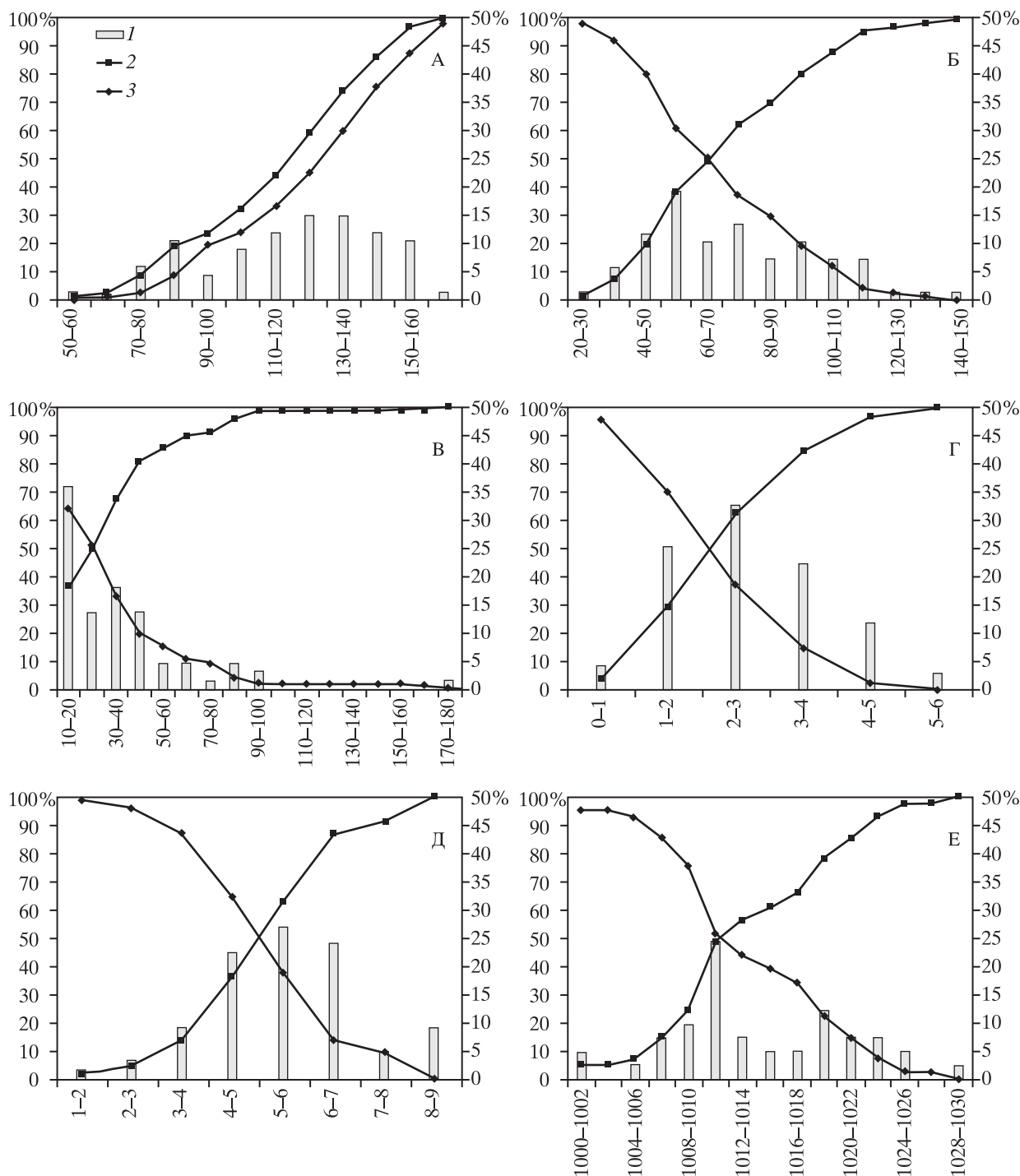


Рис. 3. Статистические характеристики сгонов: 1 – функция распределения (вспомогательная ось), 2 – интегральный процент (основная ось), 3 – обеспеченность (основная ось). А – минимальное значение уровня (см), Б – величина падения уровня (см), В – продолжительность (ч), Г – скорость падения (см/ч), Д – скорость ветра (м/с), Е – средняя величина давления (гПа)

наиболее распространены ситуации (28%), когда средняя скорость ветра изменяется от 5 до 6 м/с. В 9% случаев наблюдаются сгоны со средней скоростью ветра 8–9 м/с (рис. 3Д). Обеспеченность сгонов со средней скоростью ветра 1–2 м/с составляет 98%. Сгоны со средним значением давления до 1020 гПа составляют 97%, в большинстве случаев

(25%) среднее значение давления составляло 1010–1012 гПа, обеспеченность таких сгонов 51%. В 2% случаев наблюдалось максимальное значение среднего давления – 1029 гПа (рис. 3Е).

Повторяемость сгонов в течение года соответствует распределению по сезонам ветров с восточной составляющей, максимум которых приходится

Таблица 2. Характеристики сгонов

Дата, время (ч : мин)		Продолжительность, ч	Начальный уровень*, см	Конечный уровень*, см	Величина падения уровня (см)	Среднее значение давления, гПа	Направление ветра	Сила ветра, м/с		
Начало сгона	Конец сгона							сред.	макс.	мин.
02.06.07 19:19	04.06.07 10:44	39,4	229	113	116	1017	СВ, ЮВ, СЗ	3,7	6	1
06.06.07 03:59	07.06.07 18:44	38,8	194	94	100	1016	СВ	6	9	3
25.06.07 22:05	29.06.07 07:40	81,6	286	152	134	1006	СЗ, ЮЗ, ЮВ, СВ	3	7	0
05.08.07 00:35	07.08.07 16:45	64,2	185	114	71	1008	СВ	4,6	8	2
09.08.07 01:20	11.08.07 06:30	53,2	234	84	150	1013	СВ	7,9	12	2
11.09.07 01:44	12.09.07 18:14	40,5	251	131	120	1016	СВ, ЮЗ, СЗ, ЮВ	4	7	1
22.09.07 00:59	25.09.07 14:49	85,8	177	101	76	1017	СВ, ЮВ	5,9	10	2
26.09.07 07:19	29.09.07 23:54	88,6	183	90	93	1024	СВ, В, ЮВ	5,3	10	2
04.10.07 06:39	05.10.07 23:04	40,4	179	137	42	1020	СВ, В	5,6	8	3
05.04.08 22:56	07.04.08 10:36	35,7	189	105	84	1014	СВ, ЮВ, ЮЗ	4,5	10	1
15.04.08 07:16	16.04.08 14:46	31,5	179	77	102	1011	В, СВ, ЮВ, С	8,3	14	3
18.04.08 10:26	20.04.08 04:36	42,2	203	149	54	1015	СВ, С, ЮВ	4,2	7	1
26.04.08 00:56	27.04.08 17:16	40,3	188	85	103	1019	СВ	6,6	11	3
02.05.08 19:46	04.05.08 15:06	43,3	198	108	90	1017	СВ, СЗ	5,1	2	9
28.05.08 23:16	29.05.08 19:36	20,3	213	111	102	1008	СВ, СЗ	3,6	6	1
31.05.08 23:46	02.06.08 14:56	39,2	257	139	118	1012	СВ, СЗ	2,9	5	1
08.06.08 03:06	09.06.08 12:46	33,7	207	113	94	1014	СВ	3,9	5	3
08.04.09 00:46	09.04.09 07:56	31,2	196	123	73	1016	СВ, СЗ	5,7	10	3
10.04.09 21:26	11.04.09 14:41	17,3	200	126	74	1028	СВ, ЮВ	4,6	7	3
13.04.09 06:41	15.04.09 17:16	58,6	185	86	99	1016	ЮВ, В, СВ	7	14	3
04.05.09 12:26	05.05.09 15:11	26,8	194	126	68	1010	СВ, ЮВ, Ю	5,3	9	0
20.06.09 00:11	22.06.09 15:31	63,3	188	120	68	1017	В, ЮВ, СВ	6,3	11	2
25.06.09 17:31	28.06.09 19:11	73,7	179	75	104	1013	СВ, В, ЮВ	8,5	12	5
02.07.09 03:51	02.07.09 16:21	12,5	180	138	42	1016	СВ, В, ЮВ	4,8	6	3
08.07.09 06:56	08.07.09 19:11	12,3	168	140	28	1013	СВ, В, ЮВ	5,3	6	5
15.07.09 19:51	16.07.09 19:16	23,4	176	121	55	1012	СВ	6,6	10	5
10.10.09 06:43	12.10.09 04:48	46,1	181	128	53	1021	СВ, ЮВ	4,5	6	2
12.10.09 20:08	14.10.09 00:13	28,1	177	136	41	1011	СВ, В, ЮВ	4,6	6	2
16.10.09 01:03	16.10.09 16:58	15,9	173	120	53	1022	СВ, ЮВ	5,3	8	3
18.10.09 08:18	18.10.09 22:48	14,5	188	135	54	1013	СВ, ЮВ	4,3	7	3
19.10.09 13:43	20.10.09 19:18	29,6	183	116	67	1019	СВ, В	4,9	7	2
25.10.09 05:03	27.10.09 14:38	57,6	175	72	103	1025	СВ, В, ЮВ, СЗ	6,4	11	0
31.10.09 00:28	04.11.09 00:53	96,4	172	50	122	1020	СВ, В	6,6	10	3
19.04.10 04:16	20.04.10 13:16	33,0	225	160	65	1020	В, ЮВ	5	11	0
12.04.10 02:06	12.04.10 17:11	15,1	174	137	37	1010	СВ, В	6,7	9	4
04.05.10 07:21	04.05.10 20:46	13,4	191	147	44	1020	ЮВ, В, СВ	5,5	10	2
16.05.10 14:16	17.05.10 00:41	10,4	198	155	43	1007	СВ, ЮВ	5	7	2
01.06.10 18:05	02.06.10 14:48	20,7	208	138	70	1011	ЮВ, В, СВ	7,1	10	4
07.06.10 02:13	07.06.10 20:48	18,6	170	89	81	1012	СВ	8,4	12	5
17.06.10 20:58	18.06.10 12:03	15,1	202	146	56	1012	СВ, С	3,8	5	3
18.06.10 22:28	20.06.10 15:48	41,3	191	105	86	1012	СВ, В	6,6	10	4
21.06.10 04:03	21.06.10 16:23	12,3	176	120	56	1012	В, СВ, ЮВ	8,4	12	6
24.06.10 01:13	24.06.10 17:58	16,8	186	132	54	1002	СВ, В	8,9	11	7
01.07.10 21:18	02.07.10 13:18	16,0	220	178	42	1010	С, СВ, ЮВ	1,7	4	0
08.07.10 04:03	10.07.10 04:37	48,6	222	144	78	1012	СВ, ЮВ, СЗ	3,8	7	0
20.07.10 04:17	21.07.10 19:07	38,8	191	155	36	1012	СВ, ЮВ	6,1	8	4
23.07.10 10:42	24.07.10 03:07	16,4	193	129	64	1010	СВ, В, СЗ	6,3	11	3
24.07.10 14:12	25.07.10 01:22	11,2	207	147	60	1005	СВ	5,4	7	5
01.08.10 05:02	01.08.10 17:27	12,4	199	146	53	1014	В, ЮВ, СВ	6	8	3
02.08.10 04:42	02.08.10 16:12	11,5	210	155	55	1012	В, ЮВ	6,3	9	5
05.08.10 07:17	05.08.10 20:17	13,0	197	156	41	1010	СВ, ЮВ	4,8	10	3
06.08.10 08:07	06.08.10 18:37	10,5	189	152	37	1013	СВ, В	5,5	8	3
10.08.10 03:22	10.08.10 19:17	15,9	192	154	38	1011	СВ, ЮВ	5	8	3

Таблица 2 (окончание)

Дата, время (ч : мин)		Продолжительность, ч	Начальный уровень*, см	Конечный уровень*, см	Величина падения уровня (см)	Среднее значение давления, гПа	Направление ветра	Сила ветра, м/с		
Начало сгона	Конец сгона							сред.	макс.	мин.
15.08.10 00:42	15.08.10 16:27	15,8	197	145	52	1015	св	6,3	9	3
31.08.10 01:13	01.09.10 08:13	31,0	191	96	95	1008	св, в	8,2	11	3
04.09.10 09:03	05.09.10 07:13	22,2	175	115	60	1018	св	6,4	9	5
06.09.10 22:53	08.09.10 08:48	33,9	184	89	95	1015	св	7	9	5
08.09.10 20:48	12.09.10 18:53	94,1	184	74	110	1023	св, юв, в	5,5	13	3
25.09.10 01:18	26.09.10 02:13	24,9	170	99	71	1019	св	6	8	3
30.09.10 03:03	30.09.10 20:53	17,8	179	115	64	1008	юв, в, св	6,9	12	3
02.10.10 13:38	09.10.10 21:13	175,6	185	62	123	1025	св, в, юв	7	12	2
23.10.10 01:21	24.10.10 01:46	24,4	190	132	58	1029	св, юв, в, юз	4,1	6	2
16.11.10 07:56	19.11.10 00:36	64,7	183	106	77	1023	св, в, юв	5,6	9	3
22.11.10 14:11	24.11.10 04:46	38,6	176	127	49	1017	св, юв	4,8	7	4
29.11.10 03:16	29.11.10 21:01	17,8	199	126	73	1021	св, юв	5,7	10	3
01.12.10 14:21	03.12.10 12:36	46,3	187	88	99	1023	св, в	5,6	11	2
11.12.10 10:06	12.12.10 04:06	18,0	183	102	81	1002	св, в	7,1	9	5

Примечание. *Уровень приведен относительно нуля поста, нуль поста (–171 см).

на осенний период (40%), минимум – на весенний (29%), на летний – 31%. Соответственно максимальное количество сгонов наблюдается осенью (42%), минимальное – весной (26%), а доля сгонов летом составляет 32%.

Экстремальные сгоны. Сгоны в отличие от нагонов характеризуются меньшей скоростью изменения уровня и большей продолжительностью. Экстремальными можно считать сгоны, достигшие минимальных отметок уровня. К таким явлениям можно отнести сгон, зафиксированный 31 октября 2009 года. Падение уровня началось в 0 ч 28 мин с отметки 172 см, уровень снижался в течение 96 ч 25 мин и к 0 ч 53 мин 4 ноября 2009 года достиг отметки 50 см. Средняя скорость падения уровня составляла 1,3 см/ч. Падение уровня проходило на фоне повышенного давления (1018–1023 гПа). Скорость северо-восточного и восточного ветра изменялась от 3 до 10 м/с. Следует отметить, что минимальных значений (50–60 см) уровень достигает за продолжительный по сравнению с нагонами отрезок времени (50–100 ч).

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СГОНОВ И НАГОНОВ

Метод аналогов

При прогнозировании экстремальных сгонов и нагонов применялся метод аналогов. В основе метода лежат заключения о будущем протекании процессов по аналогии с ранее происходившими. Была проведена обработка архива данных непрерывных наблюдений за уровнем воды. Из массива

данных были выделены периоды сильных сгонов и нагонов. Так как данные метеонаблюдений Сев-КавУГМС предоставляются с интервалом в 3 ч, для выделенных периодов сгонов и нагонов было вычислено изменение уровня за 3 ч. Рассчитанные значения были сопоставлены со скоростью и направлением ветра в текущий момент. Для всех скоростей ветра (от 1 до 13 м/с) каждого румба было найдено среднее изменение величины уровня. Ситуации сгонов и нагонов рассматривались отдельно.

Результаты были занесены в таблицу, с помощью которой в дальнейшем выполнялся прогноз (табл. 3).

Например, судя по прогнозу на следующие сутки, ожидается ветер восточных румбов – делаем вывод о том, что приближается сгон, и для прогнозирования используем соответствующую часть таблицы. Допустим, в течение первых 3 ч ожидается северо-восточный ветер со скоростью 5 м/с, следовательно, от фактического уровня в момент начала прогнозирования отнимаем 9,5 см, так как это значение ячейки, находящейся на пересечении строки и столбца с соответствующими метеопараметрами. При этом нужно учитывать, что полную аналогию между процессами установить вряд ли возможно (рис. 4). Поэтому метод применим только для прогнозирования экстремальных сгонов и нагонов, так как они ярко выражены в годовом ходе уровня и имеют сходные условия развития. Благодаря значительной амплитуде колебания уровня во время этих явлений ошибки прогнозирования не оказывают сильного влияния на результат.

Для проверки алгоритма был выполнен 41 прогноз. В 14% случаев для сгона и в 10% для наго-

Таблица 3. Величина изменения уровня при сгонах и нагонах, см/3 ч

Направление ветра	Скорость, м/с												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ситуация сгона													
с				-10,1									
св	-10,1	-10,1	-8,2	-7,3	-9,5	-6,7	-8,7	-7,6	-8	-9,7	-10,6		
в			-2,4	-6	-6,4	-3,7	-6,3	-11,7	-15,4	-12		-13,4	
юв	-11,8	-5,1	-8,6	-7,4	-8,8	-7	-7,4	-6,7	-8,7	-6,2		-5,3	-10
юз	-5,2			-11,8									
з			-3,7										
сз	-7,9	-9,6	-9,1	-8,8									
Ситуация нагона													
св			6,2	10,3									
юв			6,1	6,5									
юз		4,2	9,1	8,2	12,8	15,1	5,6	20,4	19,4	26		26	
з		8,7	13,7		11,6	14,7							
сз	4,4	4,9	6,8	2,4	12,1								

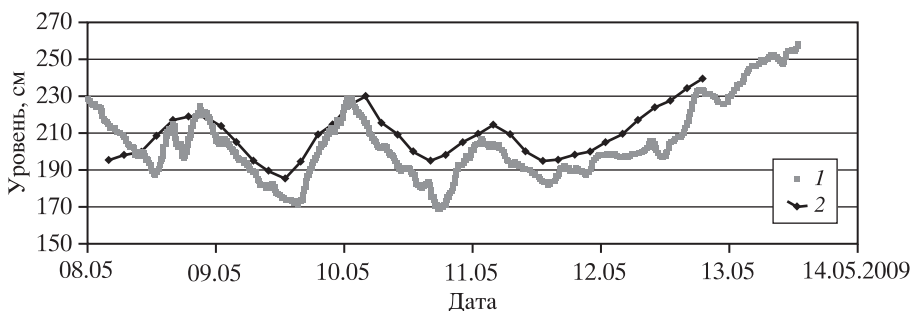


Рис. 4. Пример прогноза уровня с применением метода аналогов: 1 – уровень воды, 2 – прогноз

на прогноз был выполнен безошибочно. Средняя ошибка прогноза (разница между фактической величиной уровня и прогнозом) для сгона ±24 см, для нагона ±5 см (рис. 5). Ошибки в прогнозе могут быть связаны с использованием метеоданных для г. Ростова-на-Дону и г. Таганрога, расположенных в 35–40 км от места наблюдения за уровнем, а также с тем, что метеоданные получены с интервалами в

3 ч, т.е. не представляют собой непрерывный ряд. Точность прогноза можно увеличить путем калибровки зависимости динамики уровня от скорости ветра по мере наполнения базы данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований выявлены условия формирования сгонно-нагонных явлений и их внутригодовая динамика. Всего за исследуемый период (31.05.2007–14.12.2010) выделено 72 нагона и 67 сгонов, доля нагонов в среднем составляла 55%, сгонов – 45%. Увеличение повторяемости нагонов спровоцировано ростом повторяемости западной и северной форм атмосферной циркуляции [5]. Так как колебания уровня воды для всей дельты Дона практически синхронны, данные об уровне на гидрологическом посту в с. Кагальник могут быть использованы для краткосрочных прогнозов сгонно-нагонных явлений (особенно экстремальных нагонов) в дельте Дона.

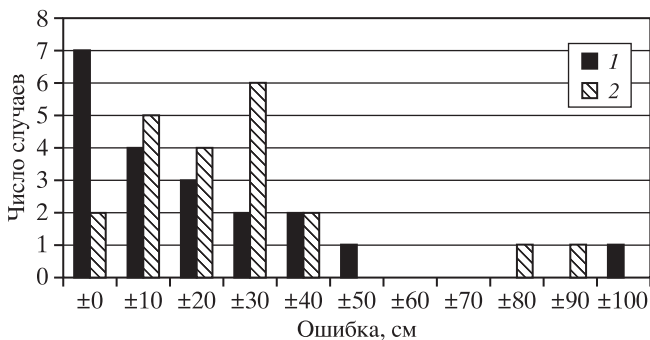


Рис. 5. Повторяемость ошибок при прогнозировании: 1 – сгон, 2 – нагон

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Родионов Н.А.* Гидрология устьевой области Дона. М.: Гидрометеиздат, 1958. 98 с.
2. *Пономаренко Е.П.* Современные методы исследования уровня режима дельты Дона // IV ежегодная научная конференция студентов и аспирантов базовых кафедр Южного научного центра РАН: Тез. докл. (Ростов-на-Дону, 9–18 апреля 2008). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. С. 45–47.
3. *Матишов Д.Г., Пряхина Г.В., Федорова И.В., Сорокина В.В.* Современный сток воды и наносов в дельте реки Дон (по результатам экспедиционных исследований) // Вестник Южного научного центра. 2008. Т. 4. № 3. С. 72–77.
4. *Дашкевич Л.В., Пономаренко Е.П.* Базы данных “Режимов уровня в дельте Дона” // Интегрированное управление ресурсами и безопасностью в бассейне Азовского моря. Одесса, 2010. С. 589–602.
5. *Гаргона Ю.М.* Крупномасштабные колебания в системе Азовского моря // Новейшие экологические феномены в Азовском море (вторая половина XX века). Т. V. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. С. 14–220.

WIND SURGES IN THE DON RIVER DELTA IN 2007–2010, RESEARCH AND PREDICTION

E.P. Ponomarenko, V.V. Sorokina, P.A. Biryukov

Water level observations in the Don River delta have been carried out at Research Station of the Southern Scientific Center RAS (settlement of Kagal'nik) since 2007 to study hydrological regime. The measurements are by standard hydrological equipment (depth-gauge, float level indicator) and specially developed hardware-software system of data collecting. The degree of dependency of wind surges on meteorological conditions (wind velocity and direction) has been determined based on observations' results. And, based on such a dependency, the level's dynamics forecast is made by analogues' method, which allows predicting the scenario of wind surges' development (timing and duration, level's extrema time, level's rise or fall value).

Key words: level's dynamics, wind surges, Don River delta.

REFERENCES

1. Rodionov N.A. 1958. *Gidrologija ust'evoy oblasti Dona*. [Hydrology of the Don mouth area]. M., "Gidrometeoizdat": 98 p. (In Russian).
2. Ponomarenko E.P. 2008. [Contemporary methods of the Don delta level regime investigation]. In: *IV Ezhegodnaya nauchnaya konferentsiya studentov i aspirantov bazovykh kafedr Yuzhnogo nauchnogo tsentra RAN*. [IV Annual scientific conference of students and base departments PhDs of the Southern Scientific Centre Russian Academy of Sciences Publishers]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 45–47. (In Russian).
3. Matishov D.G., Pryakhina G.V., Fedorova I.V., Sorokina V.V. 2008. [Present time's water and sediment runoff in the mouth of the Don river (according to results of field researches)]. *Vestnik Yuzhnogo Nauchnogo Tsentra*. 4(3): 72–77. (In Russian).
4. Dashkevich L.V., Ponomarenko E.P. 2010. [Database "Level regime in the Don delta"]. In: *Integrirovannoe upravlenie resursami i bezopasnost'ju v bassejne Azovskogo morja*. (Eds. B.V. Burkinskiy, V.N. Stepanov, S.V. Berdnikov). Odessa, Institute for Market Problems and Economic-and-Ecological Research NASU Publishers: 589–602. (In Russian).
5. Gargopa Yu.M. 2003. [Large scale fluctuation in the Azov Sea system]. In: *Noveyshie ekologicheskie fenomeny v Azovskom more (vtoraya polovina XX veka)*. [The newest ecological phenomena in the Azov Sea (second half of XX century)]. (Eds. G.G. Matishov, M.I. Abramenko, Yu.M. Gargopa, M.V. Bufetova). Vol. V. Apatity, The Kola Science Centre RAS Publishers: 14–220. (In Russian).