

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМ РЕЖИМОМ ЗАКРЫТЫХ ЛИМАНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ (на примере Хаджибейского и Куяльницкого лиманов)

Е. Д. Гопченко, Ж. Р. Шакирзанова, Ю. С. Медведева, О. Н. Гриб

Одесский государственный экологический университет, Одесса, Украина,
gidro@ogmi.farlep.odessa.ua

Обоснована возможность эффективного управления водным режимом лиманов-водохранилищ Причерноморья как при прогнозировании их ежегодного наполнения поверхностными тальми и дождевыми водами, так и при расчетной вероятности превышения $P=1\%$.

Уникальны по своему происхождению природные образования – лиманы северо-западного Причерноморья. В пределах Одесской области (в 8,5 км западнее Одессы) расположены лиманы закрытого типа – Хаджибейский и Куяльницкий. Они образовались в результате затопления морем устьевых участков рек Малый Куяльник (Хаджибей) и Большой Куяльник (Куяльницкий лиман) при опускании приморской полосы суши. Лиманы отделены от моря пересыпью длиной 7 км, вследствие чего они практически не имеют связи с морем, характеризуются медленным водообменом, получают минимальный приток пресных вод из малых рек. Известно также, что Куяльницкий лиман является важным рекреационным и бальнеологическим объектом государственного и мирового значения.

В связи с существенным повышением уровней воды в Хаджибейском лимане при интенсивном его антропогенном использовании, особенно в периоды прохождения высоких весенних половодий, каждый год возникает опасность возможного перелива воды через дамбу, отделяющую лиман от моря, ее разрушения и затопления жилых территорий и предприятий одного из районов г. Одессы. Для Куяльницкого лимана проблема связана с начавшимся в 1960-е гг. неупорядоченным регулированием стока воды р. Большой Куяльник, впадающей в лиман, прудами и водохранилищами для обеспечения водой оросительных систем и рыбного хозяйства. При этом уровни воды в Куяльнике снизились до критических отметок. Такая ситуация привела к обмелению и заиливанию лимана, увеличению солености воды, что может вызвать полную деградацию и исчезновение водоема, потерю рапы и грязей лимана, отличающихся высокими лечебными свойствами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе исследован гидрологический режим Хаджибейского и Куяльницкого лиманов за многолетний период наблюдений. При этом отмечена цикличность в ходе уровней воды в лиманах [1, 2].

Еще столетие назад уровни воды в Хаджибее находились на отметке в 3,81 м ниже уровня моря (статический уровень моря – минус 0,38 м БС), то есть лиман был в стадии высыхания. Позднее в связи со сбросами трансформированных сточных вод с полей орошения уровни воды в лимане выросли до опасных отметок (плюс 2,21 м БС), а затем, в 1942 г. были снижены

при введении в действие самотечного сбросного канала «лиман–море», который возобновил гидравлическую его связь с морем.

В последующий период при постоянном увеличении размеров сброса сточных вод станции биологической очистки в 1963 г. уровень воды достиг отметки плюс 0,41 м БС, а в 1969 г. – повысился до критических отметок (плюс 2.21 м БС). При этом создавалась угроза разрушения плотины, отделяющей лиман от моря.

В связи с такой обстановкой в лимане в 1969 г. по инженерному проекту специалистов одесского филиала «УкрЮжгипроводхоз» введен в эксплуатацию гидротехнический узел для сброса лиманных вод в море в составе главного шлюза, насосной станции мощностью 7,0 м³/с с напорным трубопроводом и водовыпуском к морю [3]. Это позволило снизить уровень воды в лимане до 1972 г. на 2 м, то есть до отметки минус 0,4 м БС.

Для поддержания нормального уровенного режима в лимане был ограничен максимальный уровень воды в нем на отметке плюс 1,57 м БС, а для безопасного функционирования автомобильной дороги, проложенной по дамбе, согласно строительным нормам при ветро-волновых процессах, назначена отметка гребня на уровне 3,1 м БС [3].

Начиная с 1973 г., в связи с нерегулярным сбросом части воды из лимана в море, уровень воды в лимане начал достаточно интенсивно расти (рис. 1). Такое повышение среднегодовых уровней воды происходило от отметок в среднем минус 0.18 м БС до плюс 1.57–1.94 м БС. То есть на протяжении почти 18 лет (1985– 2002 гг.) режим уровней воды в лимане оставался достаточно стабильным, причем на высоких отметках. Такой ход уровней воды поддерживался регулирующим действием насосной станции «лиман–море» при сбросах коммунальных вод СБО «Северная» в водоем (в основном в теплое время года – с апреля по октябрь в размере 42 млн м³) [3].

Однако следует особенно отметить, что на этом более или менее стабильном фоне наблюдались и критически высокие максимальные уровни воды с отметками: плюс 2.09 м БС в апреле многоводного 1985 г., плюс 2.06 м БС в марте 1989 и 1992 гг. и 2.02 м БС в марте 1996 г. (рис. 1), когда возникала угроза разрушения и прорыва дамбы тало-дождевыми водами при опасности затопления промышленной и жилой зон Одессы – Пересыпи. Еще более критическая ситуация сложилась в период весеннего высокого половодья 2003 г., когда уровни воды в лимане достигли катастрофически высоких отметок (плюс 2.38 м БС).

После многоводного 2006 г. на фоне маловодности последующих лет уровень воды в лимане несколько уменьшился – до отметок 0.90 и 0.77 м БС в 2007 и 2008 гг. соответственно (рис. 1). Однако с многоводного 2010 г. вновь отмечается повышение уровней воды в лимане.

При этом в случае прохождения высоких весенних половодий или дождевых паводков подъем уровня в Хаджибее может достигнуть критических отметок – 3.0–3.50 м БС (без учета ветро-волнового воздействия). Такая ситуация грозит привести к опасному переливу воды, возможному разрушению дамбы и подтоплению прилегающих жилых массивов промышленной зоны г. Одессы на площади 25 км² [3].

При исключительной важности проблемы авторами работы обоснована расчетная схема определения возможных значений отметок воды в Хаджибейском лимане при условии прохождения половодий и паводков редкой вероятности наступления в многолетнем периоде (например, при обеспеченности $P=1\%$) [4, 5]. Так, при проектной отметке гребня дамбы Хаджибейского лимана – плюс 3.10 м

БС в некоторые годы (1987, 1990, 1996, 1998, 2004) при прохождении катастрофически высоких весенних половодий 1%-ной вероятности превышения уровни воды в лимане достигли бы критических отметок или превысили их ($H_{1\%}=3.18$ м БС, рис. 1).

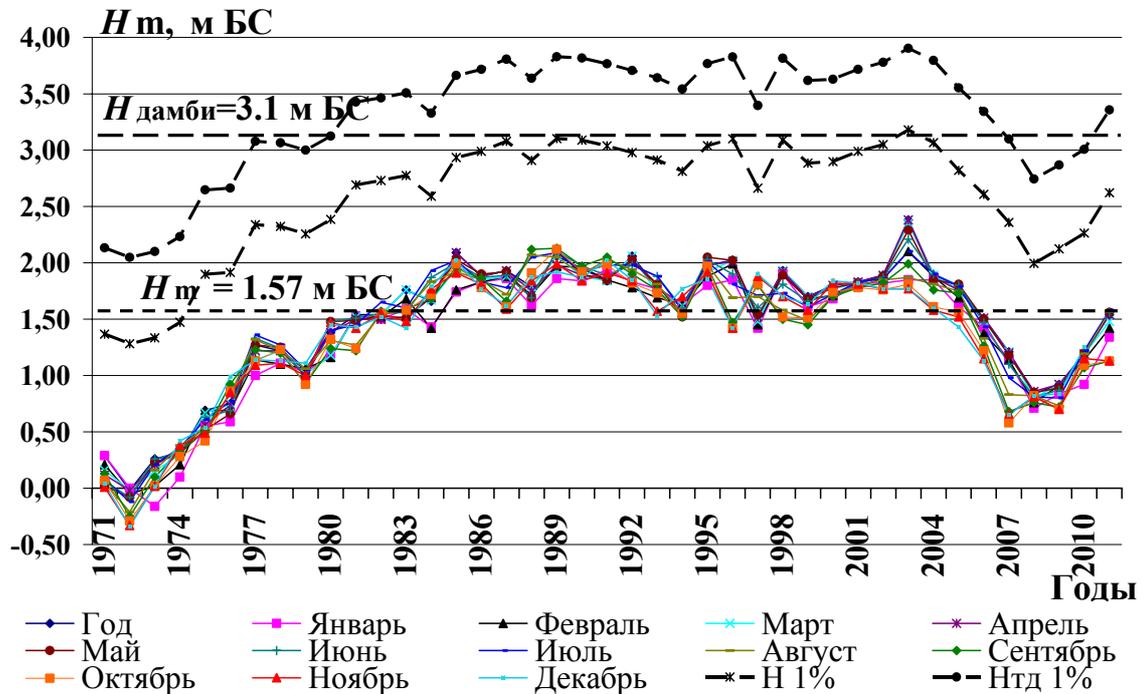


Рис. 1. Совмещенный многолетний максимальных за месяцы и год (H_m) и расчетных максимальных уровней воды весеннего половодья и дождевого паводка в Хаджибейском лимане при исключительной обеспеченности ($P=1\%$).

Возможно возникновение катастрофической ситуации, когда в лимане на высокие уровни воды весеннего половодья обеспеченностью $P=1\%$ в апреле–мае могут накладываться дополнительные поступления за счет дождевых осадков той же вероятности превышения. В этом случае уровни воды в лимане ($H_{тд} 1\%$) могут достичь чрезвычайно опасных отметок – плюс 3.80–3.90 м БС, причем на протяжении почти всего периода эксплуатации водоема (рис. 1).

В многолетнем уровненом режиме Куяльницкого лимана можно выделить периодичность (начиная с 1860 г.) – как повышение, так и снижение уровней воды в нем. С 1990-х гг. отмечено наиболее интенсивное их снижение – от минус 6.06 м БС до минус 6.46 м БС (в 2009 г.) [1, 2].

Такое критическое снижение уровней воды в Куяльнике может привести к катастрофическому повышению содержания солей в воде, обмелению водоема, исчезновению лечебных грязевых образований в нем. По состоянию на 2009 г., соленость Куяльницкого лимана превышает 300–350‰, в то время как минерализация Хаджибея составляет не более 10‰.

Для эффективного регулирования водного режима закрытых лиманов-водохранилищ северо-западной части Причерноморской низменности предложена и реализована методика прогноза возможного наполнения водоемов в весенний период года на базе долгосрочного прогноза объемов стока весеннего половодья в их бассейнах [4, 5]. Однако главная проблема заключалась в том, что

гидрологическая сеть наблюдений как в бассейнах лиманов, так и в целом на реках северо-западного Причерноморья практически отсутствует.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

При ограниченности или отсутствии данных гидрологических наблюдений как в бассейнах лиманов, так и в пределах почти всей территории Причерноморья методика прогноза дает возможность (по данным наблюдений опорной сети) восстановления полей гидрометеорологических характеристик половодий при картографическом их обобщении [6]. Следует заметить, что при разработке методики прогноза были привлечены материалы наблюдений по другим рекам Северо-Западного Причерноморья за многолетний период (1960–2000 гг.).

В основу методики прогноза положены региональные зависимости слоев весеннего стока опорных гидрологических створов от суммарных запасов влаги на водосборе и осадков периода весеннего половодья (выраженных в модульных коэффициентах) в виде

$$\frac{Y_m}{Y_0} = \frac{(S_m + X_1 + X_2)}{(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0})}, \quad (1)$$

где Y_m и Y_0 – слои стока весеннего половодья и их среднееголетние величины, мм; S_m и S_0 – значения максимальных снегозапасов на водосборах и их среднееголетние величины, мм; X_1 и X_{1_0} – дождевые осадки периода весеннего снеготаяния и их среднееголетние величины, мм; X_2 и X_{2_0} – дождевые осадки периода спада весеннего половодья и их среднееголетние величины, мм.

Прогноз половодья производится на основе установления типа водности будущей весны с использованием дискриминантной функции, которая включает комплекс стокоформирующих факторов. При этом дискриминантная модель имеет вид

$$DF = a_0 + a_1 k_x + a_2 k_{Q_{н.в}} + a_3 k_L + a_4 \Theta_{02}, \quad (2)$$

где $A = (a_0, a_1, a_2, a_3)$ – вектор коэффициентов дискриминантной функции, $X = (k_x, k_{Q_{н.в}}, k_L, \Theta_{02})$ – вектор признаков (вектор-предиктор).

Для расчета DF к вектор-предиктору дискриминантной функции были отнесены следующие факторы весеннего половодья (выраженные в модульных коэффициентах):

а) среднееголетние значения максимальных запасов воды в снежном покрове, которые накопились на бассейнах к началу весеннего снеготаяния и

весенние осадки $k_x = \frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}}$;

б) индекс увлажнения почвы, в качестве которого принята интегральная характеристика – среднемесячный расход воды перед началом половодья $k_{Q_{н.в}} = Q_{н.в} / (Q_{н.в})_0$ в реках рассматриваемой территории;

в) максимальная глубина промерзания почв на бассейнах $k_L = L / L_0$;

г) температура воздуха в феврале Θ_{02} , °С.

По знаку дискриминантных уравнений, которые рассчитываются в дату составления прогнозов, устанавливается водность будущей весны в конкретном году. Так, при $DF1 > 0$ ожидается слой стока больше среднемноголетнего значения, при $DF1 \leq 0$, $DF2 \geq 0$ – около него, а при $DF1 < 0$, $DF2 < 0$ – ниже среднемноголетней величины. Коэффициенты для дискриминантного уравнения $DF(2)$ приводятся в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты уравнений дискриминантных функций при установлении типа водности весеннего половодья в бассейнах Хаджибейского и Куяльницкого лиманов

DF	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
$DF1$	-1.88	-14.4	5.73	6.46	-0.9
$DF2$	0.82	-11.0	5.08	11.0	-0.8

Региональные зависимости (1) дают возможность прогноза модульных коэффициентов слоев стока половодья в бассейнах лиманов соответственно знаку дискриминантной функции при формировании много-, средне- или маловодных половодий и описываются уравнением вида

$$k_Y = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X^2 + b_3 k_X^3, \quad (3)$$

где b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты полинома.

Коэффициенты b_0, b_1, b_2, b_3 , представленные в табл.2, используются в уравнении (3) при условии применимости кривых по признакам DF .

Таблица 2. Коэффициенты полинома (3) для прогноза слоев стока весеннего половодья в бассейнах Хаджибейского и Куяльницкого лиманов

Условия применимости	b_0	b_1	b_2	b_3
$DF1 \geq 0$	$2.10 \cdot 10^{-2}$	0.521	-1.43	3.29
$DF1 \leq 0; DF2 \geq 0$	$-3.50 \cdot 10^{-2}$	1.02	-2.40	1.79
$DF1 < 0; DF2 < 0$	$-1.40 \cdot 10^{-2}$	0.25	-0.56	0.38

По спрогнозированным модульным коэффициентам ($k_Y = \frac{Y_m}{Y_0}$)

ожидаемые значения слоев весеннего стока Y_m получаются по соотношению

$$Y_m = k_Y \cdot Y_0, \quad (4)$$

где Y_0 – среднемноголетнее значение слоя весеннего стока, мм, которое определяется для бассейнов лиманов-водохранилищ по полученному для Причерноморского региона уравнению в зависимости от географического положения водосборов

$$Y_0 = 33.0 \cdot \exp[0.32 \cdot (\varphi^\circ - 50)], \quad (5)$$

где φ° – географическая широта геометрических центров водосборов, в долях град.

Влияние местных факторов (залесенности и заболоченности водосборов) на среднемноголетние величины слоев стока весеннего половодья в пределах Причерноморской низменности слабо ощутимо (при их значениях в целом не выше 10% общей площади бассейнов рек).

Методика долгосрочного прогнозирования слоев стока весеннего половодья включает и установление обеспеченности или вероятности наступления явления в многолетнем разрезе, что особенно целесообразно при отсутствии гидрологических наблюдений на водных объектах. Обеспеченность прогнозных величин слоев стока весеннего половодья устанавливается с помощью кривой трехпараметрического гамма-распределения С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля при $C_s/C_v=2.5$ [7]. Обеспеченность прогнозных величин Y_m представляется в виде диапазона

$$P_1 < P_Y < P_2, \quad (6)$$

где P_1 и P_2 – верхнее и нижнее значения обеспеченности, %.

Коэффициенты вариации слоев стока обобщены для рек Причерноморской низменности и могут быть получены для бассейнов лиманов по региональному уравнению

$$(C_v)_{Y_m} = 2.63 \cdot Y_0^{-0.34}. \quad (7)$$

В уравнении (7) значения среднемноголетних величин слоев весеннего стока Y_0 могут быть получены по формуле (5).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Практическое использование предложенной методики долгосрочного прогнозирования слоев стока весеннего половодья в условиях функционирования Хаджибейского и Куяльницкого лиманов выполнено для ряда лет, в том числе и для многоснежной весны 2010 г.

Для лимана Хаджибей схема составления прогноза слоев весеннего стока и установления вероятности его наступления приведена в работе [8]. Для Куяльницкого лимана, который расположен в близких физико-географических условиях к бассейну Хаджибея, среднемноголетние величины факторов и характеристик половодья приняты одинаковыми. Что касается гидрометеорологических величин, которые формируют вектор-предиктор дискриминантной функции (2), то они получены для многоснежного 2010 г. соответственно рекомендациям их определения при ограниченности данных наблюдений в регионе [6].

Этапы прогнозирования наполнения весенними водами закрытых лиманов Причерноморья следующие:

1) создание базы исходной гидрометеорологической информации по бассейнам лиманов с целью определения подъема уровней воды в период прохождения весеннего половодья;

2) анализ условий формирования весеннего половодья в бассейнах лиманов в текущем году;

3) расчет факторов весеннего половодья, которые входят в дискриминантную функцию;

4) составление прогноза слоев стока весеннего половодья для бассейнов лиманов;

5) оценка вероятности наступления (обеспеченности) прогнозных слоев весеннего стока в многолетнем разрезе;

6) определение притока тало-дождевых вод к лиманам в весенний период года;

7) установление отметок уровня воды при прохождении весеннего половодья, в том числе при работе насосной станции канала «лиман–море».

Базовая информация по бассейнам – морфометрические и среднемноголетние гидрометеорологические характеристики. Для бассейнов Хаджибейского и Куяльницкого лиманов морфометрические характеристики, которые используются в прогнозной схеме, включают:

- площади водосборов лиманов Хаджибей ($F=2700 \text{ км}^2$) и Куяльник ($F=2250 \text{ км}^2$);
- кривые объемов воды лиманов $W = f(H)$;
- кривые площадей водной поверхности лиманов $F_3 = f(H)$;
- отметки нуля поста: для Хаджибея – минус 2.87 м БС; для Куяльника – минус 7.06 м БС;
- географическую широту геометрических центров водосборов лиманов – φ° , которая принята одинаковой для лиманов и равняется $46^\circ 40' \text{ с.ш.}$, или 46.67° (в долях град.).

При использовании предложенной схемы долгосрочного прогнозирования слоев весеннего стока в соответствии с методикой (1) – (7) получено прогнозное значение слоя стока тало-дождевых вод к лиманам Хаджибей и Куяльник в 2010 г., которое составило 15 мм при вероятности его наступления в многолетнем периоде 20–25%.

Расчет притока тало-дождевых вод к лиманам осуществлялся по прогнозным величинам слоев стока в период весеннего половодья 2009–2010 г., которые были пересчитаны в объемы воды (W , млн м^3) по кривым объемов Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, а затем и в уровни воды в них.

Следует отметить, что при определении суммарного поступления весенних вод к лиманам Хаджибей и Куяльник с учетом прогнозируемый слой притока тало-дождевых вод с их бассейнов установлено, что осадки на зеркало водоемов практически компенсируются испарением с их водной поверхности во время весеннего половодья.

Результаты прогнозов притока поверхностных вод в Хаджибейский и Куяльницкий лиманы в период весеннего половодья 2009–2010 гг., а также их наблюдаемые величины представлены в табл. 3 и на диаграммах (рис. 2, 3).

Так, для Хаджибейского лимана спрогнозированный слой стока составил величину 15 мм, что в пересчете на объем весеннего притока с водосборной площади лимана соответствует 40 млн м^3 и близок к наблюдаемой величине – 36 млн м^3 . Для Куяльницкого лимана наблюдалась иная ситуация, когда ожидаемый объем поверхностных вод был на уровне 34 млн м^3 , а фактический, в результате перехвата транзитных вод прудами в бассейне р. Большой Куяльник, составил всего 9 млн м^3 .

Что касается максимальных уровней воды, то, например, для Хаджибейского лимана спрогнозированные в период весеннего половодья 2009–2010 г. они были на уровне плюс 1.20 м БС, что ниже ограниченных проектных максимальных отметок (плюс 1.57 м БС) при вероятности их наступления 20–25%.

ВЫВОДЫ

В настоящем режиме эксплуатации Хаджибейского лимана оценка возможных отметок уровня воды при условии прохождения половодий и паводков редкой вероятности наступления в многолетнем периоде (обеспеченностью $P = 1\%$ – 1 раз в 100 лет) показала, что существует опасность достижения и превышения уровнем воды в лимане критической отметки гребня дамбы (плюс 3.10 м БС).

Таблица 3. Результаты прогноза притока тало-дождевых вод к Хаджибейскому и Куяльницкому лиманам и определение ожидаемого максимального уровня воды весеннего половодья 2009– 2010 гг.

Величина	Водоем			
	Хаджибейский лиман		Куяльницкий лиман	
	прогнозная	наблюденная	прогнозная	наблюденная
Начальный уровень воды в водоеме $H_{нач}$ на ДВП 10.02.2010г.		384 см над «0» поста (0.97 м БС)		82 см над «0» поста (-6.24 м БС)
Начальный объем воды в водоеме $W_{нач}$ на ДВП 10.02.2010 г.		500 млн м ³		30 млн м ³
Изменение объема воды в водоеме ΔW за период весеннего половодья	40 млн м ³	36 млн м ³	34 млн м ³	9 млн м ³
Объем воды в водоеме W за период весеннего половодья	540 млн м ³	536 млн м ³	64 млн м ³	39 млн м ³
Прогнозный максимальный уровень воды в водоеме H_m	407 см над «0» поста (1.20 м БС)	406 см над «0» поста (1.19 м БС)	136 см над «0» поста (-5.70м БС)	92 см над «0» поста (-6.14 м БС)
Изменение уровня воды в водоеме ΔH от начального до максимального его значения за период весеннего половодья	23 см (0.23 м)	22 см (0.22 м)	54 см (0.54 м)	10 см (0.10 м)

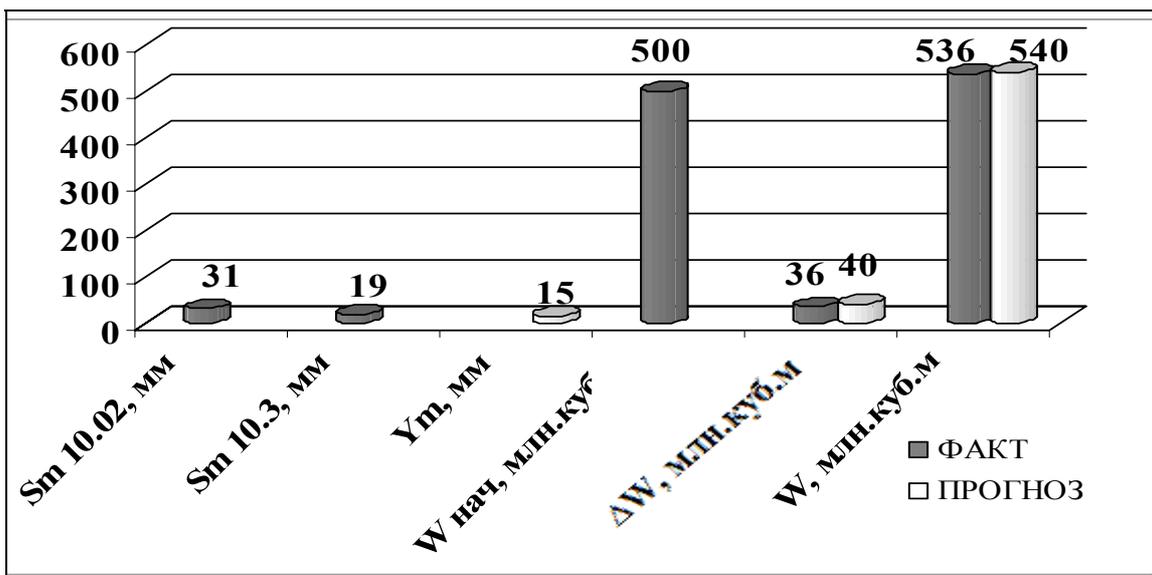


Рис.2. Оценка объема притока поверхностных вод в весенний период 2010 г. в Хаджибейский лиман, млн м³

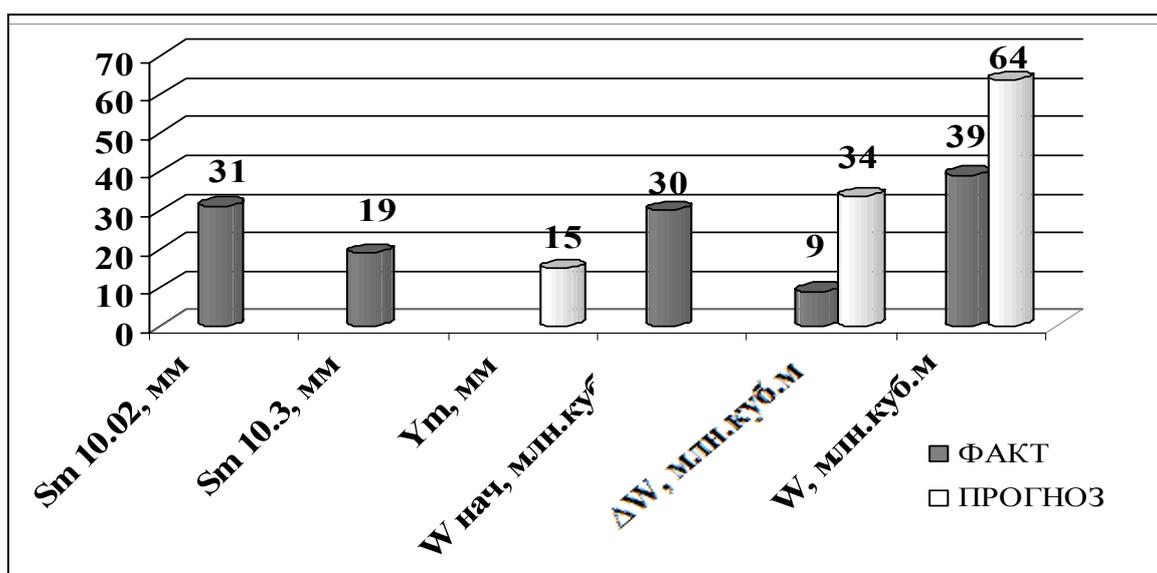


Рис. 3. Оценка объема притока поверхностных вод в весенний период 2010 г. в Куяльницкий лиман, млн м³

Условные обозначения к рис. 2 и 3:

$S_m 10.02$; $S_m 10.03$ – значения снеготолщин на даты их максимального накопления;

Y_m – спрогнозированная величина слоя стока весеннего половодья 2009–2010гг.;

$W_{\text{нач}}$ – начальный объем воды в водоеме на дату выпуска прогноза (10.02.2010 г.);

ΔW – спрогнозированная и наблюдаемая величина изменения объема воды в водоеме за весеннее половодье;

W – спрогнозированная и наблюдаемая величина объема воды в водоеме за весеннее половодье.

При стечении возможных обстоятельств, когда весеннее половодье 1%-ной вероятности совпадет с дождевым паводком такой же исключительной

обеспеченности, уровень воды в Хаджибейском лимане неизбежно превысит критическую отметку дамбы лимана, что приведет к ее разрушению и затоплению значительной части территории г. Одессы.

Разработанная методика долгосрочного прогноза притока поверхностных вод в Хаджибейский и Куяльницкий лиманы позволяет на основе текущего прогнозирования слоя весеннего стока в каждом году выполнять количественную оценку степени наполнения водоемов поверхностными водами с долгосрочной заблаговременностью (15 суток и более).

Полученные результаты прогнозной и расчетной схем весеннего наполнения закрытых лиманов-водохранилищ северо-западного Причерноморья используются в оперативной деятельности сектора гидрологических прогнозов Гидрометцентра Черного и Азовского морей (г. Одесса).

Принимая во внимание, что с 2012 г. сбросы сточных вод планируется отвести в море глубоководным четырехкилометровым каналом, возникает другая проблема – водный и солевой режим и в целом экологическое состояние Хаджибейского лимана в условиях отсутствия сбросов в него коммунальных вод. При этом может возникнуть другая ситуация – засолонение Хаджибея аналогично с Куяльницким лиманом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лиманы Северного Причерноморья / В.С. Полищук, Ф.С. Замбриборщ, В.М. Тимченко и др., отв. ред. О.Г. Миронов. Киев: Наукова думка, 1990. 204 с.
2. *Тимченко В.М.* Эколого-гидрологические исследования северо-западного Причерноморья. Киев: Наукова думка, 1990. 240 с.
3. Водный режим Хаджибейского лимана и мероприятия по его регулированию / Исаков М.И., Сирота Б.Я., Решетников Н.Ф., Решетинский Н.Н. // Одесская региональная Академия наук (ОРАН) С. 153–157.
4. *Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р.* Довгострокове прогнозування водності Хаджибейського лиману та оцінка його наповнення поверхневими водами у весняний період року // Весник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. Государственная гидрометеорологическая служба Украины. 2009. № 2 (10). С. 169–185.
5. *Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р.* Методика довгострокового прогнозу надходження поверхневих вод до закритих лиманів північно-західного Причорномор'я у весняний період року // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск: Гідроекологія. 2010. № 3 (44). С. 53–56.
6. *Шакірзанова Ж.Р.* Методика довгострокового прогнозування характеристик весняного водопілля річок Причорномор'я в умовах обмеженості даних гідрологічних спостережень // Культура народів Причерноморья. 2011. № 207. С. 161–165.
7. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 447 с.
8. *Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р., Шаменкова О.І.* Проблеми ефективного управління водними ресурсами закритих лиманів-водосховищ північно-західного Причорномор'я // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2011. Т. 2 (23). С. 159–167.