

УДК 556.55
КП XXXXXX
№ держреєстрації 0111U010352
Інв. №

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Одеський державний екологічний університет
(ОДЕКУ)
65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15
тел. (0482) 63-62-09

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з НР ОДЕКУ
_____ Ю.С. Тучковенко
2011.12.15

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
ВОДНИЙ БАЛАНС ХАДЖИБЕЙСЬКОГО ЛИМАНУ
ЗА РІЗНИХ УМОВ ЙОГО ІСНУВАННЯ
(заключний)

Керівник НДР
д. геогр. н., проф.,
академік АН ВШ

2011.12.01

Є.Д. Гопченко

2011

Рукопис закінчено 1 грудня 2011 р.
Результати цієї роботи розглянуто Науково-технічною радою ОДЕКУ
протокол від 2011.12.15 № 4

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник провідний науковий співробітник, доктор географічних наук, професор, академік АН ВШ	2011.12.01	Є. Гопченко (реферат, вступ, розд. 1.7, 2.1, 2.2.3, 2.3, 4.2, висновки)
Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2011.12.01	О. Гриб (перелік умовних позначень, символів одиниць, скорочень і термінів, розд. 1.5, 1.6, 3.3, 4.1, перелік посилань)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2011.12.01	В. Белов (розд. 1.2, 3.2.2)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2011.12.01	М. Сербов (розд. 1.3)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2011.12.01	Є. Бояринцев (розд. 1.4)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2011.12.01	Ж. Шакірзанова (розд. 3.1)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, асистент	2011.12.01	Ю. Медведєва (розд. 2.2.1, 2.2.2, 2.2.4, 2.2.5, 2.4, 3.2.3)
Науковий співробітник	2011.12.01	П. Терновий (розд. 1.1)
Науковий співробітник	2011.12.01	С. Павленко (розд. 3.2.1)
Нормоконтролер		С. Малацковська

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 86 с., 53 рис., 8 табл., 42 джерела.

Об'єкт дослідження – екосистема Хаджибейського лиману, включаючи його водозбірний басейн, акваторію, канал «лиман-море», станцію біологічної очистки «Північна».

Мета роботи – оцінити складові водного балансу Хаджибейського лиману за багаторічний період, здійснити сценарне моделювання за різних умов його функціонування та розробити науково-обґрунтовані рекомендації щодо здійснення заходів, спрямованих на забезпечення задовільного гідрологічного та гідрохімічного стану Хаджибейського лиману.

Методи дослідження – оцінка природних та антропогенних чинників, які впливають на водно-сольовий режим Хаджибейського лиману; статистичний аналіз даних по опадах і рівнях води в лимані та визначення їхнього внутрішньорічного розподілу; розрахунок щорічних водних балансів Хаджибейського лиману; сценарне моделювання за різних умов функціонування лиману для розробки рекомендацій щодо здійснення заходів, спрямованих на забезпечення задовільного гідрологічного та гідрохімічного стану Хаджибейського лиману.

Результати і новизна – вперше для Хаджибейського лиману розраховані щорічні водні баланси водойми за період з 1960 по 2010 рр., виконано сценарне моделювання водно-сольового балансу та режиму водойми за різних умов функціонування лиману, оцінено об'єми замулення водойми за останні 35 років, які дозволяють приймати управлінські рішення щодо відновлення сприятливого водно-сольового режиму Хаджибейського лиману та збереження його екологічного стану і природних ресурсів.

Основні конструкторські, технологічні і техніко-експлуатаційні характеристики і показники – оцінені природні та антропогенні чинники, які впливають на гідрологічний режим лиману на протязі 1960-2010 рр. та формують його у сучасний період; виконаний статистичний аналіз даних по опадах і рівнях води лиману; уточнені об'єми замулення водойми; здійснене сценарне моделювання водно-сольового балансу та режиму водойми за різних умов функціонування лиману; науково-обґрунтовані рекомендації щодо здійснення заходів, спрямованих на забезпечення задовільного гідролого-гідрохімічного стану Хаджибейського лиману.

Ступінь впровадження – отримані результати (у вигляді оцінених багаторічних змін складових водного балансу та результатів сценарного моделювання водно-сольового режиму Хаджибейського лиману за різних умов існування водойми) будуть надані Державному управлінню з охорони навколишнього природного середовища в Одеській області,

Гідрометеорологічному центру Чорного та Азовського морів та замовнику – Управлінню освіти і науки Одеської обласної державної адміністрації для визначення необхідних заходів, спрямованих на забезпечення задовільного гідрологічного та гідрохімічного стану Хаджибейського лиману.

Зв'язок з іншими роботами – науково-дослідні роботи Одеського державного екологічного університету в галузі розрахунків і оцінки екосистем природних та штучних водойм.

Рекомендації по використанню результатів роботи – методика розрахунку та оцінки багаторічних змін складових водного балансу Хаджибейського лиману та результатів сценарного моделювання водно-сольового режиму водойми пропонуються для практичного використання при складанні прогнозів зміни рівнів та солоності води лиману, при розробці заходів по упорядкуванню регулювання річкового стоку з басейну водойми та водообміну лиману з Чорним морем по каналу «лиман-море».

Галузь використання – охорона навколишнього природного середовища, водне господарство, сільське господарство, рибне господарство, рекреація та туризм й ін.

Значущість роботи і висновки – результати досліджень, методики та моделі, наведені в роботі, дають можливість розробити заходи по відновленню та підтриманню екологічно задовільного водно-сольового режиму Хаджибейського лиману шляхом упорядкування регулювання річкового стоку з басейну водойми та водообміну лиману з морем по каналу «лиман-море».

Пропозиції щодо подальшого розвитку дослідження – врахування результатів роботи та продовження досліджень у наступні роки сумісно з співробітниками інших наукових і виробничих установ, адміністрацією міста Одеси, а також врахування деяких рекомендацій в регіональній програмі «Збереження малих річок Одещини» та державної програми «Збалансованого розвитку території навколо Куяльницького, Хаджибейського, Дофінівського та Григорівського лиманів Одеської області» як в процесі їх розроблення, так і при виконанні.

ВОДНО-СОЛЬОВИЙ РЕЖИМ, ВИПАРОВУВАННЯ, РІЧКОВИЙ СТІК, КАНАЛ «ЛИМАН-МОРЕ», ВОДООБМІН, СБО «ПІВНІЧНА»

ЗМІСТ

	<i>Стор.</i>
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ТА ВОДОГОСПОДАРСЬКИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ЕКОСИСТЕМИ ХАДЖИБЕЙСЬКОГО ЛИМАНУ	9
1.1 Загальна фізико-географічна характеристика водозбору лиману	9
1.2 Загальна характеристика геологічної будови та гідрогеологічних умов... 12	12
1.3 Ґрунтовий покрив та рослинність в басейні лиману..... 12	12
1.4 Випаровування з водної поверхні та його зв'язок з температурою повітря..... 16	16
1.5 Водомірні спостереження та зв'язок рівнів і солоності води в лимані..... 18	18
1.6 Водогосподарські перетворення екосистеми лиману та особливості гідравлічного зв'язку водойми з морем, пересипом і гирловими ділянками річок..... 20	20
1.7 Оцінка замулення Хаджибейського лиману за період 1975-2009 рр. 28	28
2 ВОДНО-СОЛЬОВИЙ БАЛАНС ЛИМАНУ ТА ОЦІНКА ЙОГО СКЛАДОВИХ.....	31
2.1 Загальна структура водного балансу Хаджибейського лиману..... 31	31
2.2 Методичні підходи до визначення складових водних балансів Хаджибейського лиману	32
2.2.1 <i>Визначення об'ємів води і площ водної поверхні лиману.....</i>	<i>32</i>
2.2.2 <i>Статистичний аналіз даних по атмосферних опадах та їх внутрішньорічному розподілу.....</i>	<i>33</i>
2.2.3 <i>Річний стік і його визначення для окремих років при відсутності гідрологічних спостережень.....</i>	<i>39</i>
2.2.4 <i>Випаровування з водної поверхні Хаджибейського лиману</i>	<i>43</i>
2.2.5 <i>Надходження води від СБО «Північна» та скиди води до моря ...</i>	<i>43</i>
2.3 Аналіз складових водного балансу Хаджибейського лиману..... 44	44
2.4 Сольовий режим Хаджибейського лиману	47
3 СЦЕНАРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНОГО РЕЖИМУ ХАДЖИБЕЙСЬКОГО ЛИМАНУ ЗА РІЗНИХ УМОВ ЙОГО ІСНУВАННЯ. 51	51
3.1 Довгострокове прогнозування припливу поверхневих вод до лиману у весняний період року та рінявий режим водойми..... 51	51
3.1.1 <i>Оцінка рівневого режиму лиману</i>	<i>51</i>
3.1.2 <i>Методика та результати довгострокового прогнозу поверхневого припливу весняних вод до лиману у 2010 році</i>	<i>54</i>
3.1.3 <i>Прогноз строків початку весняного підйому і настання максимальних рівнів води в лимані у 2010 році</i>	<i>62</i>

3.2	Сценарне моделювання водних балансів лиману	64
3.2.1	<i>Забезпеченість водності років при моделюванні водних балансів .</i>	64
3.2.2	<i>Оцінка пропускної здатності каналу «лиман-море».....</i>	65
3.2.3	<i>Сценарії моделювання водного балансу лиману та аналіз результатів розрахунків.....</i>	66
3.3	Моделювання водного режиму та прогнозування морфометричних характеристик лиману з урахуванням замулення водойми.....	69
4	МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНО-СОЛЬОВОГО РЕЖИМУ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЗАДОВІЛЬНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ТА ГІДРОХІМІЧНОГО СТАНУ ЛИМАНУ У МАЙБУТНЬОМУ.....	74
4.1	Моделювання водно-сольового режиму лиману за період з 1960 по 2010 рр. при відсутності каналу «лиман-море» та скидів води СБО «Північна».....	74
4.2	Моделювання середньорічних значень солоності води та рекомендації по забезпеченню задовільного гідрологічного та гіdroхімічного стану Хаджибейського лиману у майбутньому	79
	ВИСНОВКИ.....	81
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ
ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

WGS – Word geodesic system (Світова геодезична система)
 БС – Балтійська система висот
 вдсх – водосховище, водосховища
 ВО – водний об’єкт, водні об’єкти
 водпост, в/п., в/п – водомірний пост
 ГМО – гідрометеорологічна обсерваторія
 ГМЦ ЧАМ ДГМС МНС України – Гідрометеорологічний центр Чорного та Азовського морів Державної гідрометеорологічної служби Міністерства надзвичайних ситуацій України
 д – доба, доби
 ДВП – дату випуску прогнозу
 ДСП – дата складання прогнозу
 лим. – лиман
 м – метр
 м БС – відмітка поверхні в метрах Балтійської системи висот
 м. – місто
 М. Куяльник – Малий Куяльник
 м/п. – метеорологічний пост
 м/ст. – метеорологічна станція
 млн. – мільйон
 м. р. – модельний рік
 НДР – науково-дослідна робота
 ОДЕКУ – Одеський державний екологічний університет
 півн. ш. – північна широта
 р. – річка, рік
 рр. – річки, роки
 с. – селище, село
 С. Куяльник – Середній Куяльник
 СБО – станція біологічної очистки
 смт – селище міського типу
 тис. – тисяча
 ШВ – штучна водойма
 ШРГВ – штучна рибогосподарська водойма Регіонального дослідно-експериментального комплексу в гирлі р. Свинна
 шт. – штук

ВСТУП

В останнє десятиріччя водний режим Хаджибейського лиману характеризувався як суттєвими підвищеннями рівня води у ньому (наприклад, у 2003 та 2006 рр.), так і маловодними періодами (наприклад, 2007-2009 рр.).

Одним з основних антропогенних чинників підвищення рівнів води в лимані є скидання у водойму стічних вод м. Одеси станцією біологічної очистки (СБО) «Північна», а з природніх – приплив води з водозбірного басейну водойми та атмосферні опади, які випадають на водну поверхню лиману. Тому, навіть на фоні останніх маловодних років, коли рівні води в Хаджибейському лимані були на 2-2,5 м нижче поверхні його греблі (3,1 м БС), за наявності значних водопіль і дощових паводків та скидів СБО «Північна», може виникнути небезпека переповнення лиману та переливу води через дамбу.

В той же час, припинення скидання вод СБО «Північна» в лиман у маловодні роки може привести до значного зменшення об'єму та рівнів води у водоймі, як, наприклад, в період з травня 2006 р. по жовтень 2007 р., коли середньомісячний рівень води за півтора роки знизився майже на один метр (з відмітки 1,47 м БС – у травні 2006 р., до 0,55 м БС – у жовтні 2007 р.).

Беручи до уваги те, що до кінця 2011 р. скидні води СБО «Північна» планувалося повністю відвести до Одеської затоки Чорного моря віддаленим (глибоководним) водовипуском (чотирьохкілометровий трубопровід), необхідно оцінити можливі зміни водно-сольового режиму та гідроекологічний стан Хаджибейського лиману у майбутньому, насамперед – зниження рівнів води та, як наслідок, підвищення її солоності.

Таким чином, мета цієї науково-дослідної роботи полягала в оцінці складових водних балансів Хаджибейського лиману за багаторічний період, здійсненні сценарного моделювання водно-сольового режиму водойми за різних умов її функціонування для розробки науково-обґрунтованих рекомендацій щодо здійснення заходів, спрямованих на забезпечення задовільного гідрологічного та гідрохімічного стану лиману у майбутньому.

Для досягнення мети роботи необхідно було виконати наступні завдання: 1) оцінити природні та антропогенні чинники, які формують гідрологічний режим лиману у сучасний період; 2) здійснити статистичний аналіз даних по опадах та їх внутрішньорічному розподілі; 3) розрахувати щорічні водні баланси лиману; 4) виконати сценарне моделювання різних умов функціонування лиману; 5) розробити рекомендації по забезпеченню задовільного гідрологічного та гідрохімічного стану Хаджибейського лиману.

Робота виконувалась на замовлення Управління освіти і науки Одеської обласної державної адміністрації за рахунок коштів обласного фонду охорони навколишнього природного середовища в 2011 році.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ТА ВОДОГОСПОДАРСЬКИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ЕКОСИСТЕМИ ХАДЖИБЕЙСЬКОГО ЛИМАНУ

Хаджибейський лиман належить до найбільш великих водойм Північно-Західного Причорномор'я (рис. 1.1). Відповідно до фізико-географічного районування він знаходиться на Одеській рівнині, в межах приморського району південної степової підзони [1].

1.1 Загальна фізико-географічна характеристика водозбору лимана

За характером рельєфу район має плоску, слабо розчленовану хвилясту поверхню, з нахилом в сторону моря. Глибина яружної мережі не перевищує 50 м, густина – 0,25-0,5 км на 1 км². Плоскі лесові тераси, розташовані в межах водозбору лиману, представлені подами і степовими блюдцями. Акумулятивні форми рельєфу розвинені лише в місцях впадіння річкових долин у море, які утворюють характерні лиманно-морські акумуляційні формування – пересипи та коси. Тут розвинута еолова морфоструктура у вигляді дюн (кучугурів) [2].

Хаджибейський лиман є замкнутою водоймою. Час відділення лиману від моря відноситься до кінця ХІХ ст. Лиман розташований у районі м. Одеси (долина р. Малий Куяльник). Довжина його, за даними різних джерел [3-7] становить 33-40 км, ширина – 0,5-3,5 км, середня глибина – приблизно 4-5 м, максимальна – до 13-17 м (в середній частині лиману). Площа водного дзеркала змінюється в широких межах, середнє її значення приблизно 86 км², об'єм води при цьому становить 750 млн. м³, площа водозбору – 2,5-2,7 тис. км². Водойма витягнута у північно-західному напрямку при перпендикулярності вісі лиману до берегової лінії моря. Лиман має звивистість берегової лінії, невелику ширину відносно його довжини, крутий правий берег і більш пологий – лівий, велику кількість кіс, балок, ярів. Північна частина його найбільш мілководна і поступово переходить у долину річки, а у південній, наближеній до моря, глибина у водоймі зростає. Від моря Хаджибейський лиман відділений пересипом шириною приблизно 4,5 км і довжиною – 7 км [2, 3].

Дно лиману представлене пісками, які розташовані у верхів'ях і вузькою смугою вздовж берегів та заповнене багатометровою товщею відкладень у вигляді піщаного та глинистого намулу у напрямку глибоководних ділянок. Останні зустрічаються й до найбільших глибин і мають запах сірководню.

Річки, що впадають в Хаджибейський лиман (М. Куяльник та Свинна) мають добре розроблені й глибоко врізані в корінні породи долини, у своїй нижній течії (гирлових ділянках) заповнені солоними водами лиману.



Рисунок 1.1 – Місцезнаходження Хаджибейського лиману

Річки відрізняються малою звивистістю, у верхів'ях V-образні, долини шириною 0,5-1,0 км. Характерною рисою є яскраво виражена асиметрія схилів. Правий берег завжди вищий (50-90 м) і крутіший, ніж лівий, уздовж якого знаходяться тераси.

Схили мають значну порізаність численними короткими ярами. Уздовж корінних берегів річок спостерігаються тераси, які займають верхню частину схилів долини шириною до 1,5 км. Поверхня їх рівна, згладжена [8].

В системі ландшафтного районування України, басейн Хаджибейського лиману розташований в межах таких (по низхідному рангу) таксономічних структур [9]:

- 1) степова зона;
- 2) південна степова підзона з Причорноморсько-Азовською південно-степовою провінцією, куди входить Дністровсько-Бузька область;
- 3) район вододільних рівнин, розчленованих балками, долиною річки з зсувними та ерозійними і флювіального схилами.

Провінція та область територіально збігаються між собою в межах кожної підзони.

Ландшафтний комплекс має такі теплові ресурси:

- 1) річний радіаційний баланс – 0,23 МДж/см²;
- 2) річна сума температур вище 10 °С – 3310;
- 3) річна кількість опадів – 457 мм;
- 4) співвідношення потоків тепла і вологи – 0,5;
- 5) коефіцієнт зволоження – 0,8.

Морфоструктурною основою ландшафтів Дністровсько-Бузької області в межах Причорноморської западини є (з півночі на південь):

- 1) пластові акумулятивно-денудаційні рівнини на відносно занурених плікативно-блокових структурах;
- 2) ерозійно-акумулятивна веєровидна гідрографічна мережа, сполучена з системою порушень мілкоблокових структур.

Переважаючі ландшафти Дністровсько-Бузької області представлені піднесеними еродованими рівнинами з зсувними балками і ярами, врізаними в товщу балтських і неогенових відкладень з чорноземами звичайними.

У результаті агрогенного освоєння території і гідротехнічного будівництва початковий ландшафт змінився:

- 1) природний степовий біогеоценоз, представлений різнотравно-типчачово-ковилловим степом змінився агрокультурно-злаково-лісовим;
- 2) у результаті оранки схилів відбувається процес змиву і розмиву ґрунтів в днищах долин балок, налив опадів і замулення русел;
- 3) будівництво ставків і водосховищ в долині річки сформували озерні і болотно-лугові ландшафти;
- 4) природні пасовища на місці лучно-чорноземних ґрунтів трансформуються під кормові угіддя і загони.

Індекс перетворенні ландшафтів області, куди входить басейн Хаджибейського лиману, становить 0,51-7,4 [10, 11].

1.2 Загальна характеристика геологічної будови та гідрогеологічних умов

Водозбірний басейн Хаджибейського лиману розташований в межах геологічної структури північно-західної частини Причорноморської западини.

В геологічній будові беруть участь архейські, протерозойські утворення та осадова товща крейдяної, палеозойської, неогенової і четвертинної систем.

За гідрогеологічним районуванням, водозбір лиману відноситься до Причорноморського артезіанського басейну пластових вод. Тут поширені водоносні горизонти, пов'язані з відкладами неогену. Глибина залягання обводнених порід змінюється від 5-7 до 50-75 м. Води безнапірні або слабонапірні. На ділянках, де існують сприятливі умови живлення, підземні води неогену успішно використовуються для водопостачання.

Найбільш поширеним у водокористуванні є водоносний неогеновий горизонт з осадами сарматського ярусу з хлоридно-гідрокарбонатно-натрієвими та гідрокарбонатно-хлоридно-натрієвими водами [12, 13].

Окрім неогенової системи водоносні горизонти приурочені до відкладів четвертинної, палеогенової та крейдяної систем. Першим від поверхні регіональним водоупором є глини сарматського ярусу.

До місцевих водоупорів належать:

а) верхньопліоценові глини потужністю до 15 м, поширені на вододільному плато та його схилах, які залягають на глибині від 2 м на схилах до 15 м – на вододілах;

б) прошарки глин понтичних і меотичних відкладень з різною потужністю, які залягають на різних гіпсометричних відмітках [10, 11].

1.3 Ґрунтовий покрив та рослинність в басейні лиману

В басейні Хаджибейського лиману поширені чорноземи південні малогумусові й південні солонцюваті (рис. 1.2). Для цієї зони характерні лучно-чорноземні ґрунти та чорноземи звичайні середньогумусні із важкосуглинковим механічним складом. Вміст гумусу в них незначний і не перевищує 3,7-3,9 %, при потужності гумусового горизонту 55-75 см. Залишкова фізична солонцюватість обумовлює послаблення аерації, зниження водопроникності, утворення кірки, ущільнення в сухому стані й набрякання – у вологому, що утрудняє обробку ґрунту [1].

Уздовж морського узбережжя вузьку смугу займають темно-каштанові ґрунти. Вони сформувалися під незамкнутою рослинністю сухого степу в умовах жаркого літа, сухої теплої осені й помірно теплої вологої зими.

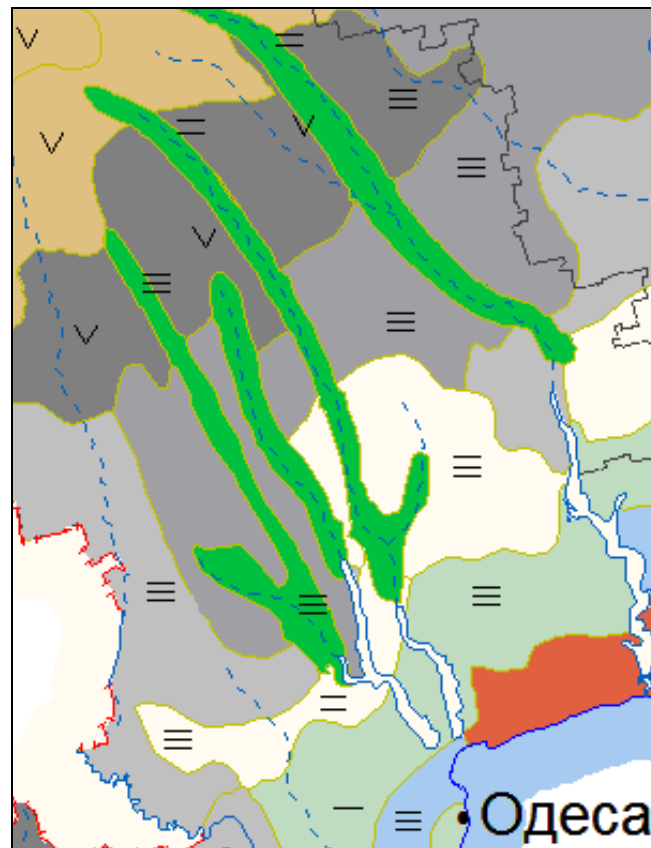


Рисунок 1.2 – Карта-схема ґрунтів басейну Хаджибейського лиману [12]:

ЛУЧНО-ЧОРНОЗЕМНІ ҐРУНТИ ПЕРЕВАЖНО НА ЛЕСОВИХ ПОРОДАХ



Лучно-чорноземні ґрунти

ЧОРНОЗЕМИ ЗВИЧАЙНІ (НЕЗМІТІ ТА ЗМІТІ) НА ЛЕСОВИХ ПОРОДАХ



Чорноземи звичайні глибокі мало- й середньогумусні



Чорноземи звичайні середньогумусні

МЕХАНІЧНИЙ СКЛАД ҐРУНТІВ



Легкосуглинкові



Середньосуглинкові



Важкосуглинкові



Глинисті

Основну частину темно-каштанових ґрунтів становлять слабо- й середньосолонцюваті на лесах, незначну – солонцюваті ґрунти на глинах. У солонцюватих ґрунтах поглинений натрій утримується в незначній кількості, що свідчить про реліктову солонцюватість цих ґрунтів. Потужність їхнього гумусового шару становить 50-65 см при вмісті гумусу 2,1-3,5 %. Ґрунти мають розпиленість верхніх горизонтів і щільність середніх, що призводить до їх набрякання при підвищенні вологості і сильному розтріскуванні – у сухому стані.

Долина Хаджибейського лиману складена неогеновими і четвертинними відкладеннями, а схили її зайняті вапняковими, глинистими і піщано-глинистими відкладеннями.

Басейн Хаджибейського лиману розташовується (згідно районування території України з потенційної небезпеки ерозійних процесів) у ерозійному районі Чорноморсько-Приазовської провінції сильно розвиненою вітровою ерозією ґрунтів. Ступінь прояву ерозії: середній (48,3 % змитих ґрунтів) – середня вітрова ерозія (вітроерозійний індекс 1,0-1,7). Структура ґрунтового покриву обумовлена процесами ерозії. Вплив ерозійних процесів виявляється: 1) у зменшенні потужності гумусного горизонту, запасів гумусу, валових і рухомих форм азоту, фосфору, калію та інших елементів живлення рослин; 2) у розпиленні структури, зменшенні кількості водостійких агрегатів, зменшенні водовбираючої і фільтраційної здатності, посиленні ґрунтової посухи [12].

За геоботанічним районуванням, водозбір Хаджибейського лиману знаходиться у межах південного степу – Приазавсько-Чорноморської підпровінції, Причорноморської степової провінції, Євразійської степової області (рис. 1.3). В минулому рослинність басейну була представлена типчакowo-ковильними видами травостою та степних кущів [1]. Ще на початку ХХ ст. на схилах лиману були розповсюджені чагарникові види клена татарського, дикої груші, береста.

У теперішній час при розвитку землеробства більша частина територій розорана. Степова рослинність зустрічається у вигляді типчака і овсянниці, а з різнотрав'я – панує полин австрійський, молочай Сегюєра, ромашник, деревій, жовтець, цикорій, дельфініум, люцерна жовта й ін. Подекуди зустрічаються кущі шипшини, дерези й бобовника.

Такі рослини, як леонтиця Одеська, горицвіт весняний, пролісок звичайний, дикі тюльпани, шафран сітчастий, брандушка різнобарвна, гіацинт білуватий, адоніс весняний, ряст й ін., а також всі види ковилів, які занесені до Червоних книг України та Одеської області.

З метою захисту земель від ерозії, суховіїв, доріг від снігових заносів, а також для рекреації в межах м. Одеси та Одеської області широко розвинені заходи по насадженню лісосмуг та деревостою у вигляді гаїв та парків, які представлені різними видами дубу, клену, ясенем, в'язом, грецьким горіхом, плодовими та деякими породами кущів [1].

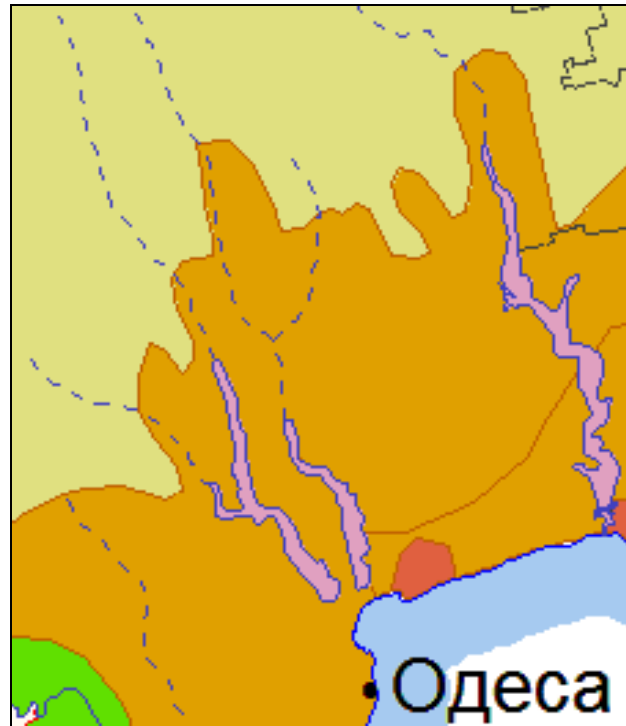
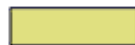


Рисунок 1.3 – Карта-схема рослинності в басейні Хаджибейського лиману [12]:

БАГАТО- І РІЗНОТРАВНО-ТИПЧАКОВО-КОВИЛОВІ СТЕПИ



Сільськогосподарські угіддя на місці:
а) приазовсько-причорноморських;
б) донецько-середньодонських степів

ТИПЧАКОВО-КОВИЛОВІ СТЕПИ



Сільськогосподарські угіддя на місці цих степів:
а) північних;
б) південних

1.4 Випаровування з водної поверхні та його зв'язок з температурою повітря

Випаровування з водної поверхні водойм та з їх водозбірних басейнів багато в чому залежить від температури повітря над ними. Тому оцінка випаровування води та температур повітря на території басейну річки та лиману виконувалася в цьому розділі сумісно. Випаровування з водної поверхні прісних водойм в Північно-Західному Причорномор'ї коливається від 639 до 886 мм за рік, при нормі – 764 мм за рік. Середньорічні температури повітря, за даними м/ст. Одеса – ГМО, коливалися від 8,19 до 12,2 °С, при середньому значенні 10,1 °С. Середньомісячні та середньобогаторічна величини випаровування з водної поверхні в районі Хаджибейського лиману розраховані за даними м/ст. Болград (E_B , мм) на оз. Ялпуг, а середньомісячні та середньобогаторічна температури повітря – за даними м/ст. Одеса – ГМО (T_O , °С) за період з 1960 по 2010 рр. (табл. 1.1, рис. 1.4).

Таблиця 1.1 – Середньомісячні та середньорічні величини випаровування (E_B , мм) та температури повітря (T_O , °С)

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
E_B , мм	0	0	42,8	65,7	105,5	131,6	151,5	139,8	96,6	58,2	25,1	9,9	776,7
T , °С	-0,9	-0,3	3,6	9,7	15,9	20,1	23,4	22,6	16,7	11,4	5,2	0,3	10,6

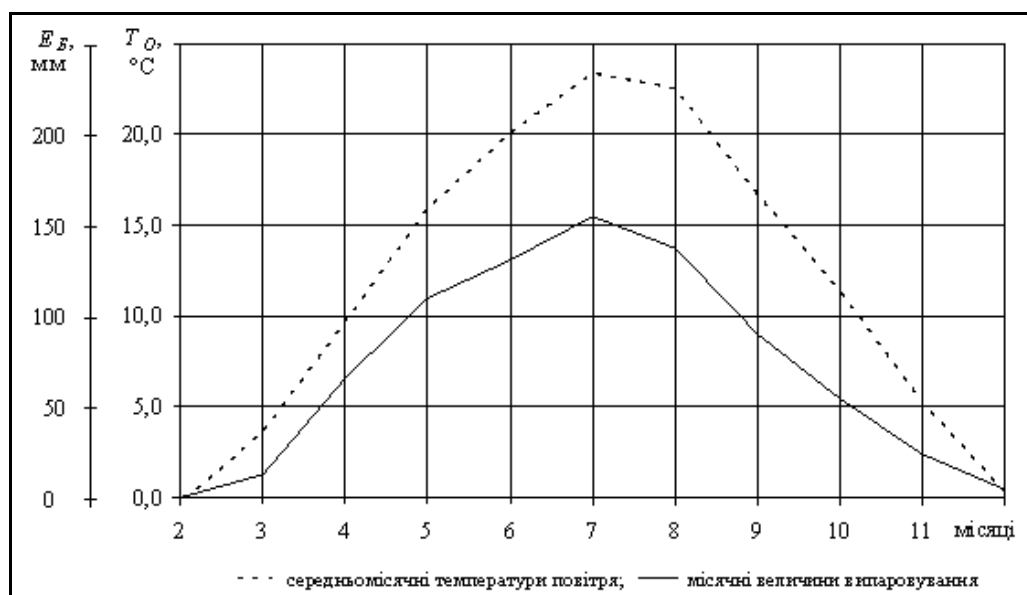


Рисунок 1.4 – Внутрішньорічний розподіл місячних величин випаровування, E_B , мм, (м/ст. Болград, оз. Ялпуг) та середньомісячних температур повітря, T_O , °С, (м/ст. Одеса – ГМО)

Як видно з табл. 1.1, найбільші середньобагаторічні місячні значення випаровування спостерігаються влітку, а саме: у червні – майже 132 мм, у липні – 152 мм та у серпні – 140 мм. За ці ж місяці спостерігалися і найбільші температури повітря: у червні – 20,1 °С, у липні – 23,4 °С та у серпні – 22,6 °С.

Середня за період з 1960 по 2010 рр. річна величина випаровування, за даними м/ст. Болград (на прісному оз. Ялпуг) становить близько 777 мм. Найбільше річне випаровування спостерігалось у 1972 р. і становило 1151 мм, найменше – у 1978 р. і складало 645 мм.

Середньорічна за період з 1960 по 2010 рр. температура повітря, за даними м/ст. Одеса – ГМО, становить 10,6 °С. Найбільша середньорічна температура повітря спостерігалась у 2007 р. і складала 12,5 °С, найменша – у 1984 р. і складала 8,19 °С.

При аналізі внутрішньорічного розподілу випаровування і температур повітря по місяцях (рис. 1.4) можна бачити чіткий зв'язок між ходом температури та випаровування. Графічно зв'язок $E_B = f(T_O)$ для місячних величин випаровування та середньомісячних температур повітря (за період з 1960 по 2010 рр.) показано на рис. 1.5.

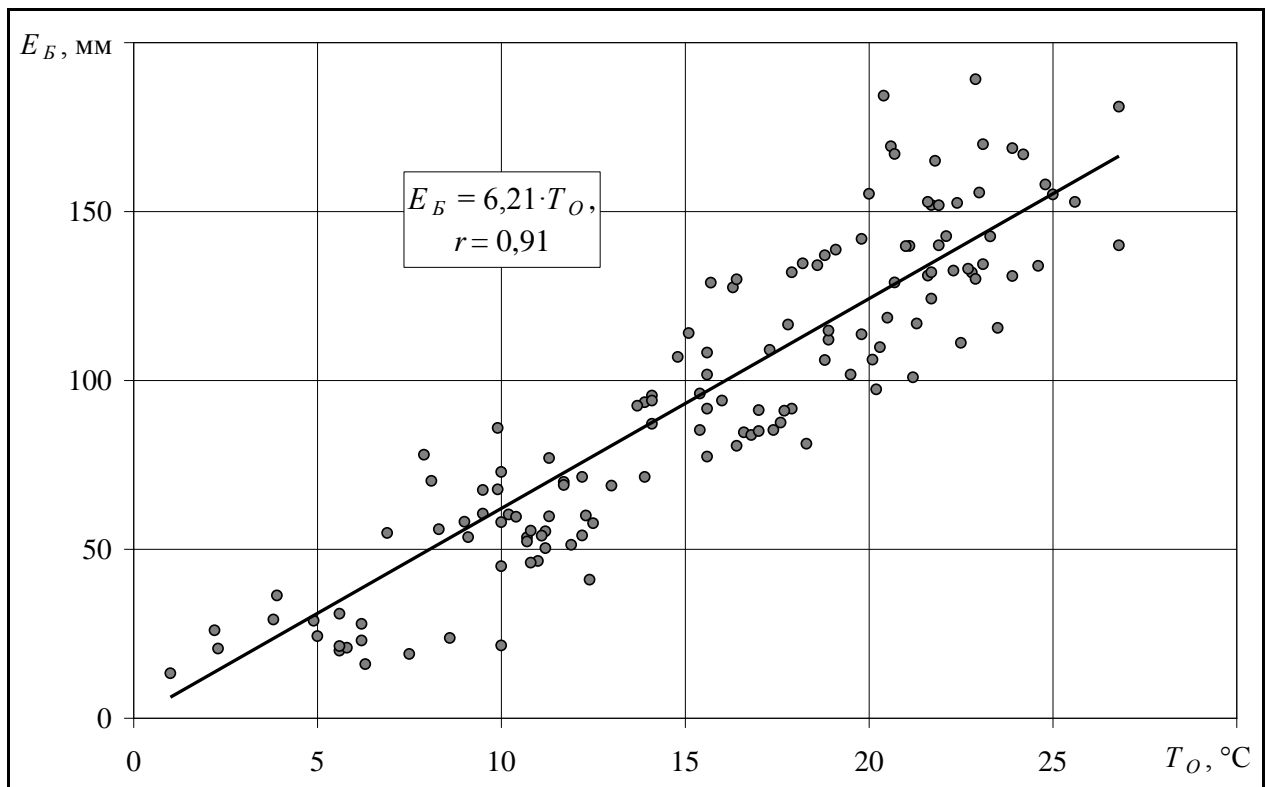


Рисунок 1.5 – Зв'язок місячних величин випаровування E_B , мм (оз. Ялпуг), та середньомісячних температур повітря T_O , °С (м. Одеса) за 1960-2010 рр.

Зв'язок, показаний на рис. 1.5, апроксимується емпіричним рівнянням лінійного типу:

$$E_B = 6,21 \cdot T_O, r = 0,91 \quad (1.1)$$

де E_B – величина випаровування за місяць (м/ст. Болград, оз. Ялпуг), мм;
 T_O – середньомісячна температура повітря (м/ст. Одеса – ГМО), °С;
 r – коефіцієнт кореляції між E_B і T_O .

З використанням залежності $E_B = f(T_O)$, наведеної на рис. 1.5 або рівняння (1.1) можна за даними про T_O розраховувати величини E_B для всіх місяців року (з березня по грудень) на майбутні (модельні) роки.

1.5 Водомірні спостереження та зв'язок рівнів і солоності води в лимані

Стационарні гідрологічні спостереження в Хаджибейському лимані виконуються, починаючи з 09.07.1933 р. (17.12.1944 р.), на водомірному посту в с. Усатове (рис. 1.1), що знаходиться на греблі лиману [14, 15].

Площа водозбірного басейну лимана, яка замикається на в/п. Усатове, дорівнює $F = 2700 \text{ км}^2$.

Середня багаторічна площа водної поверхні (водного дзеркала) лиману складає $F_{\text{оз}} = 33,0 \text{ км}^2$.

Відмітка нуля графіка в/п. Усатове H_0 становить мінус 2,87 м БС (визначена нівелюванням IV класу Геодезичною службою (ГС) у 1955 р.) [14].

Відмітка контрольного репера $H_{\text{Ррб}}$ дорівнює 3,360 м БС (закладений 20.10.1983 р., відмітка перевірена 21.08.2006 р.) [15].

Хаджибейський лиман відокремлений від Чорного моря пересипом, а від пересипу – дамбою. Відмітка поверхні (гребня) дамби (за даними технічної справи поста [15]) становить 2,30-2,70 м БС, а за даними нівелювання IV класу, виконаного ОДЕКУ 07.10.2011 р., в створі в/п. Усатове відмітка дамби в середньому дорівнює 3,00 м БС.

Лиман з'єднується з Чорним морем каналом, який має шлюзи для регулювання рівня води у водоймі [14]. Відмітка дна з'єднувального каналу «лиман-море» (за даними нівелювання, виконаного ОДЕКУ 07.10.2011 р.) в місці витoku каналу з Хаджибейського лиману становить близько 1,00 м БС.

Солоність (мінералізація) води Хаджибейського лиману тісно пов'язана з водним режимом водойми [7, 16]. З урахуванням цього, для визначення розрахунково-прогностичних значень солоності води лиману, побудована емпірична залежність солоності S від рівня води H в лимані (рис. 1.6).

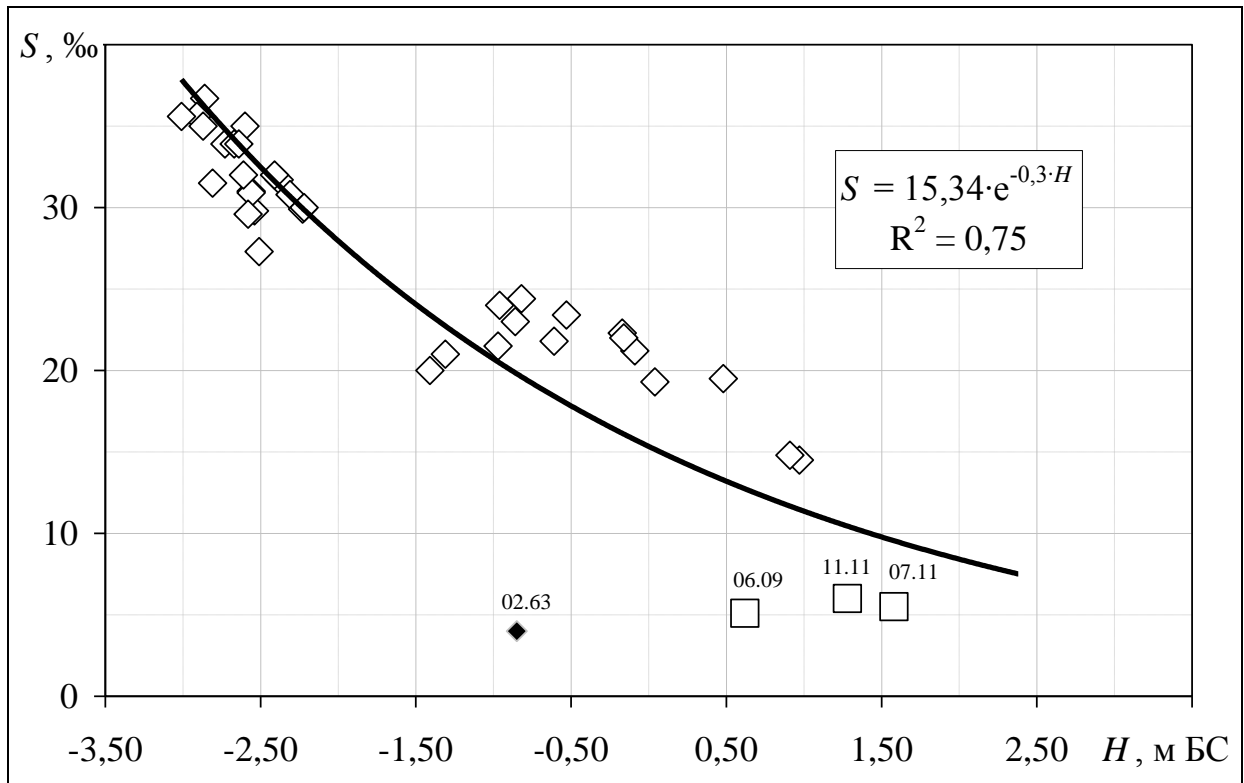


Рисунок 1.6 – Зв’язок солоності та рівнів води Хаджибейського лиману $S = f(H)$, за даними М.Ш. Розенгурта [7] та ОДЕКУ [6, 40, 16]:

- ◇ – середньомісячна солоність води за даними М.Ш. Розенгурта (1950-70 рр.);
- – середньомісячна солоність води в лимані за даними ОДЕКУ (2009-11 рр.);
- ◆ – мінімальна солоність води в лимані після припливу прісних вод з басейну водойми під час екстремального водопілля в лютому 1963 р. [7]

Ця залежність є досить надійною, про що свідчить високе значення детермінанта зв’язку $R^2 = 0,75$, та апроксимується експоненціальним рівнянням вигляду:

$$S = 15,34 \cdot e^{-0,3 \cdot H}, \quad (1.2)$$

де S – солоність (мінералізація) води, ‰ (г/дм³);

H – рівень води в лимані на ділянці в/п. Усатове, м БС.

При дослідженні солоності води Хаджибейського лиману слід звернути увагу на штучну рибогосподарську водойму (ШРГВ) Регіонального дослідно-експериментального комплексу в гирлі р. Свинна (рис. 1.7).

Так, наприклад, в 2011 р. солоність (мінералізація) води Хаджибейського лиману майже не змінювалася і становила в середньому по акваторії водойми 6,5 ‰ – в липні та 6,1 ‰ – в жовтні, але солоність води ШРГВ становила близько 25-30 ‰ – в липні-серпні, та 14-16 ‰ – в жовтні-листопаді 2011 р.

Така значна відмінність (в 3-5 разів) між солоністю води Хаджибейського лиману та ШРГВ викликана відсутністю припливу поверхневих вод з водозбірного басейну р. Свинна та порушенням водообміну між Палійовською затокою Хаджибейського лиману і цією рибогосподарською водоймою.



Рисунок 1.7 – Супутниковий знімок та схема верхньої частини Хаджибейського лиману з штучною ① рибогосподарською водоймою [17]

1.6 Водогосподарські перетворення екосистеми лиману та особливості гідравлічного зв'язку водойми з морем, пересипом і гирловими ділянками річок

За останні 100 років в басейні та акваторії Хаджибейського лиману відбулися значні водогосподарські перетворення, основними з яких є такі:

- регулювання та перехоплення стоку річок ставками, водосховищами, копанями в їх руслах і заплавах;
- спорудження гребель навколо лиману, що перетворили його на водосховище;
- будівництво складної системи «полів фільтрації» та СБО «Північна», яка скидає очищені комунально-побутові стоки м. Одеси в лиман;
- спорудження з'єднувального каналу «лиман-море», через який відбувається витік води з Хаджибейського лиману в Чорне море та інші.

В кінці XIX – на початку XX ст. гідрографічна мережа лиману ще майже не мала водогосподарських перетворень, про що свідчать картографічні матеріали території водозбірного басейну та акваторії Хаджибейського лиману тих років (рис. 1.8 та 1.9). Але з середини XX ст. почалася інтенсивна водогосподарська трансформація гідрографічної мережі та водно-сольового режиму лиману. За даними довідникової літератури та паспортів рр. М. Куяльник та Свинна, які впадають в верхів'я лиману, в 1980-1990 рр. загальна кількість ставків та водосховищ на басейні водойми становила 50 шт., загальним об'ємом приблизно 13,2 млн. м³, з максимальною площею водного дзеркала майже 1 тис. га [5, 10, 11, 18, 19].

Проте, за даними досліджень ОДЕКУ, які виконувалися в 2011 р., тільки перші п'ять штучних водойм (ШВ) в гирловій ділянці р. Свинна (рис. 1.10) мають ємність (при максимальному наповненні $H_{\text{макс}} \approx 3,00$ м БС) приблизно 31,8 млн. м³ та загальну площу водної поверхні майже 12,2 млн. м² (або 1,22 тис. га). При цьому, в верхній водоймі (5) – вище с. Єгорівка, може затримуватися майже весь стік р. Свинна (у середньому 7,2 млн. м³), відмітки гребель ШВ (1)-(4) дорівнюють 3,00-3,50 м БС, а відмітки дна їх водопропускних споруд – близькі до 1,00-1,50 м БС. Тобто, в тих випадках, коли відмітки рівнів води в Хаджибейському лимані перевищують 1,00 м БС, відбувався (відбувається) перетік води з Палійовської затоки в ШВ (1)-(4) доки рівень води в системі цих водойм не зрівняється, як наприклад, між Палійовською затокою та ШВ (1) і (2) з 11 липня по 25 листопада 2011 р.

Одночасно відбувається стік води з лиману в море по з'єднувальному каналу «лиман-море» (рис. 1.11 та 1.12). Відмітка дна каналу, за даними нівелювання, виконаного ОДЕКУ 07.10.2011 р., в створі пішохідного мостика над рибозахисною спорудою (сіткою) – місце витoku каналу з Хаджибейського лиману, становить близько 1,00 м БС (рис. 1.13-1.15).

Станом на 07.10.2011 р. (7⁴⁰), на ділянці з'єднувального каналу між Хаджибейським лиманом та Чорним морем в місці його витoku з лиману, за результатами натурних вимірювань в гідрометричному створі, встановлено:

- 1) рівень води $H = 1,30$ м БС;
- 2) середня глибина $h_{\text{сер}} = 0,30$ м;
- 3) ширина по поверхні води $B_{\text{ств}} = 1,00$ м;
- 4) площа водного перерізу $F_{\text{пер}} = 0,30$ м²;
- 5) напрямок руху води – з лиману в сторону моря;
- 6) витрата води $Q_{\text{вим}} = 0,13$ м³/с;
- 7) середня швидкість течії $V_{\text{сер}} = 0,43$ м/с;
- 8) мінералізація води в каналі $\alpha = 5,50$ г/дм³.

Мінералізація води в скидах СБО «Північна» становила 0,80 г/дм³.

Довжина каналу $L_{\text{кан}}$, визначена за картами та супутниковими знімками, становить 4350 м (рис. 1.11 та 1.12).

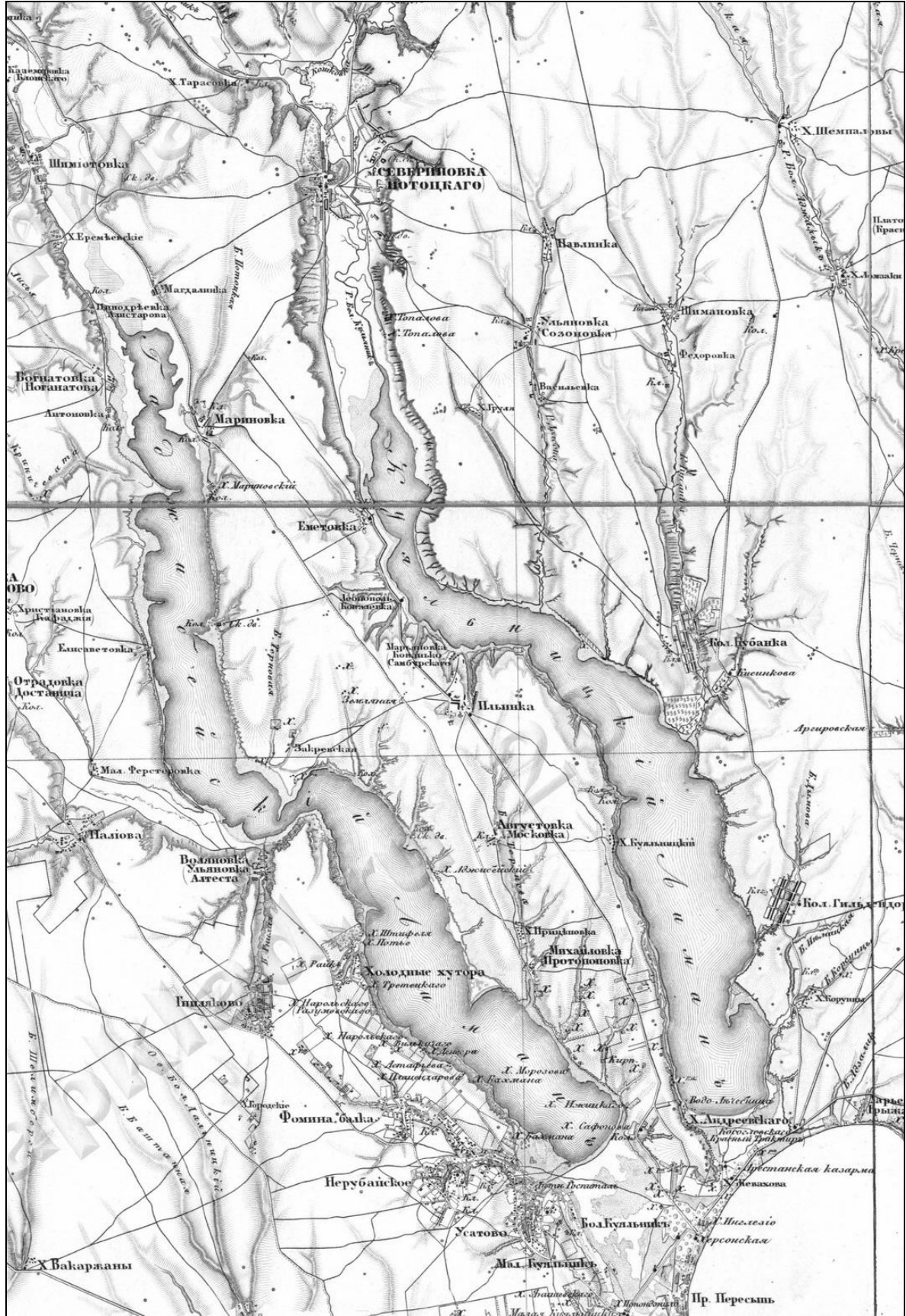


Рисунок 1.8 – Фрагмент карти Шуберта, кінець XIX ст.

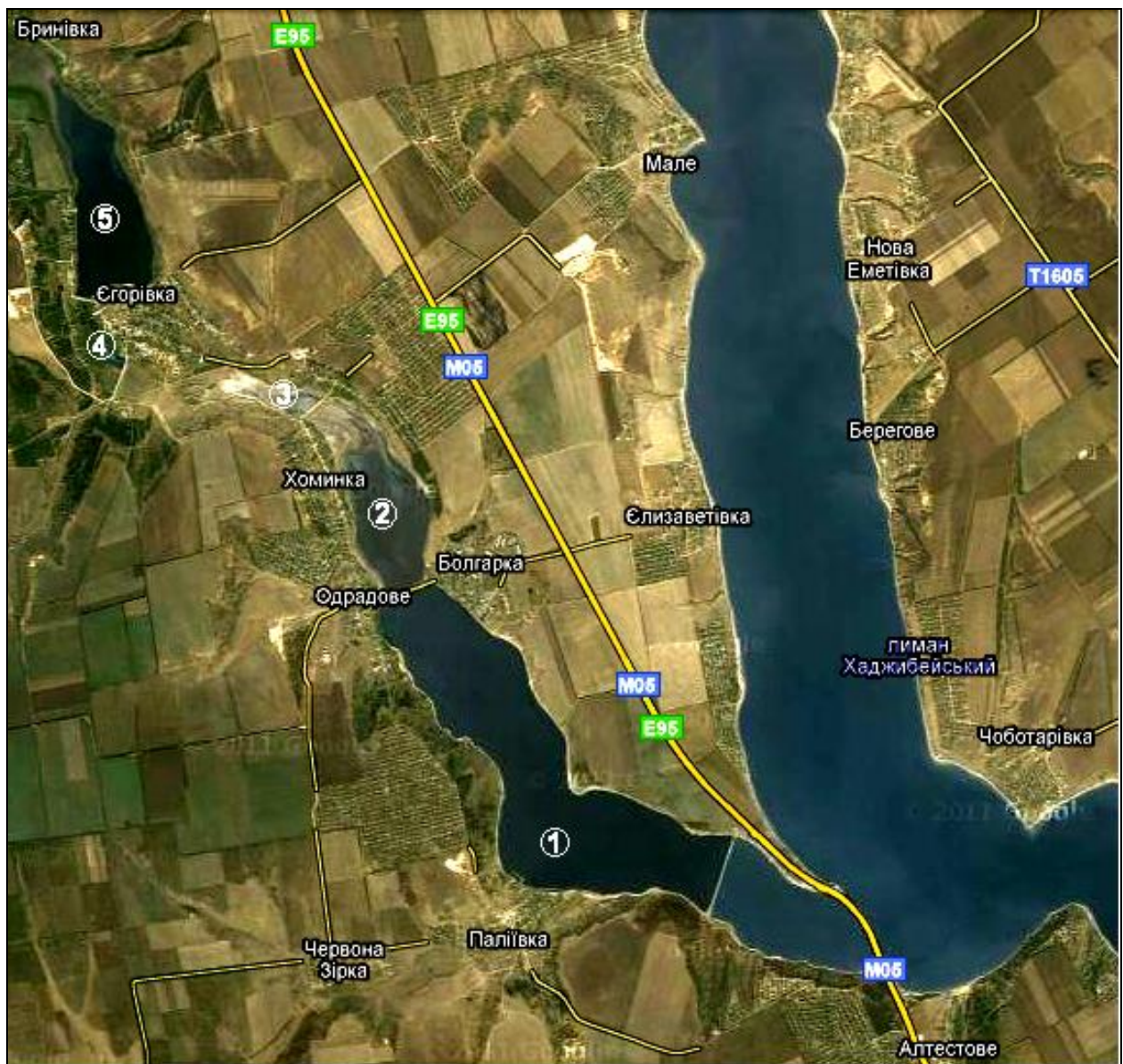


Рисунок 1.10 – Супутниковий знімок верхньої частини Хаджибейського лиману та гирлової ділянки р. Свинна [17]:

- 1 – штучна рибогосподарська водойма (водосховище);
- 2, 3, 4, 5 – штучні водойми (ставки, водосховища, копані)

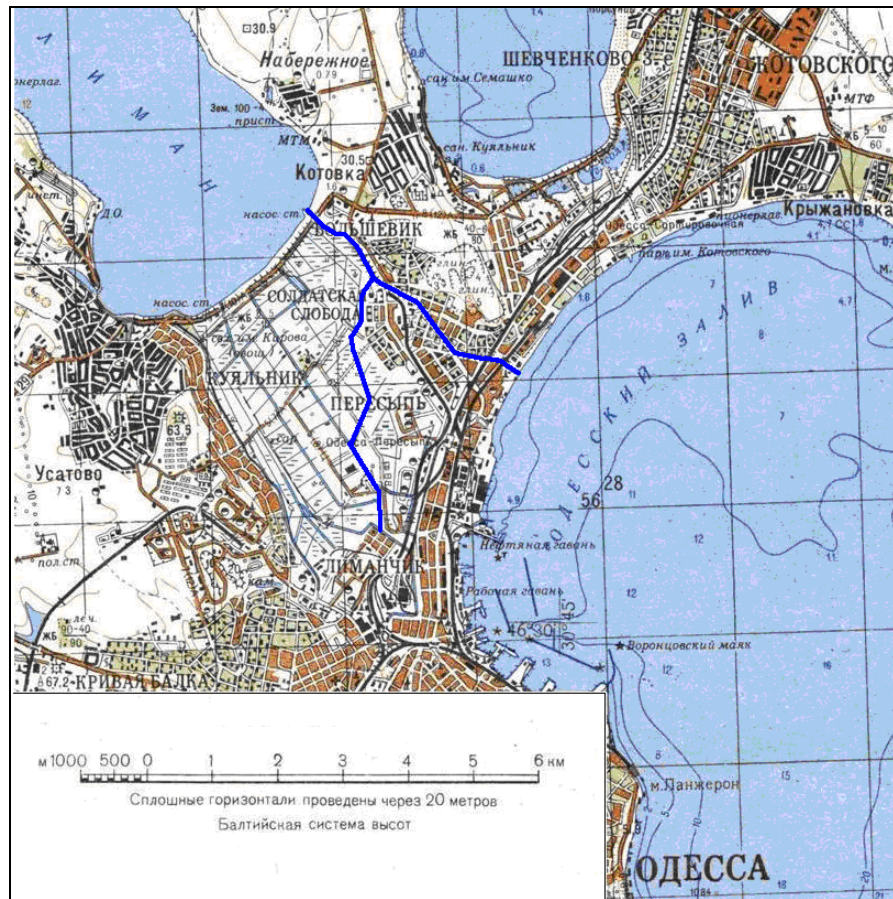


Рисунок 1.11 – Фрагмент карти пересипу між Хаджибейським лиманом та Одеською затокою Чорного моря (станом на 1982 р.) [20]

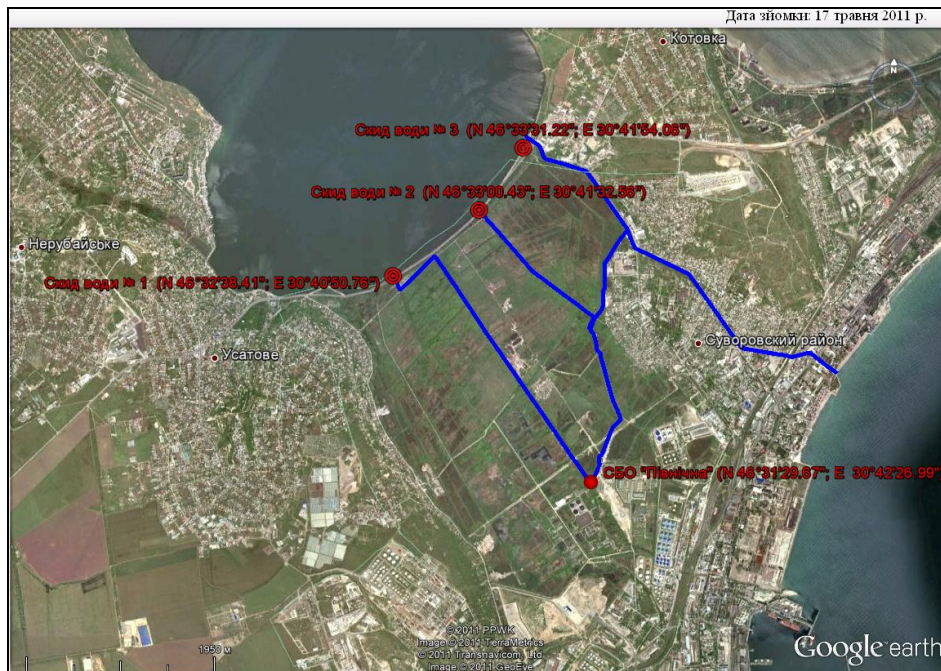


Рисунок 1.12 – Супутниковий знімок пересипу між Хаджибейським лиманом та Одеською затокою Чорного моря (станом на 2011 р.) [17]

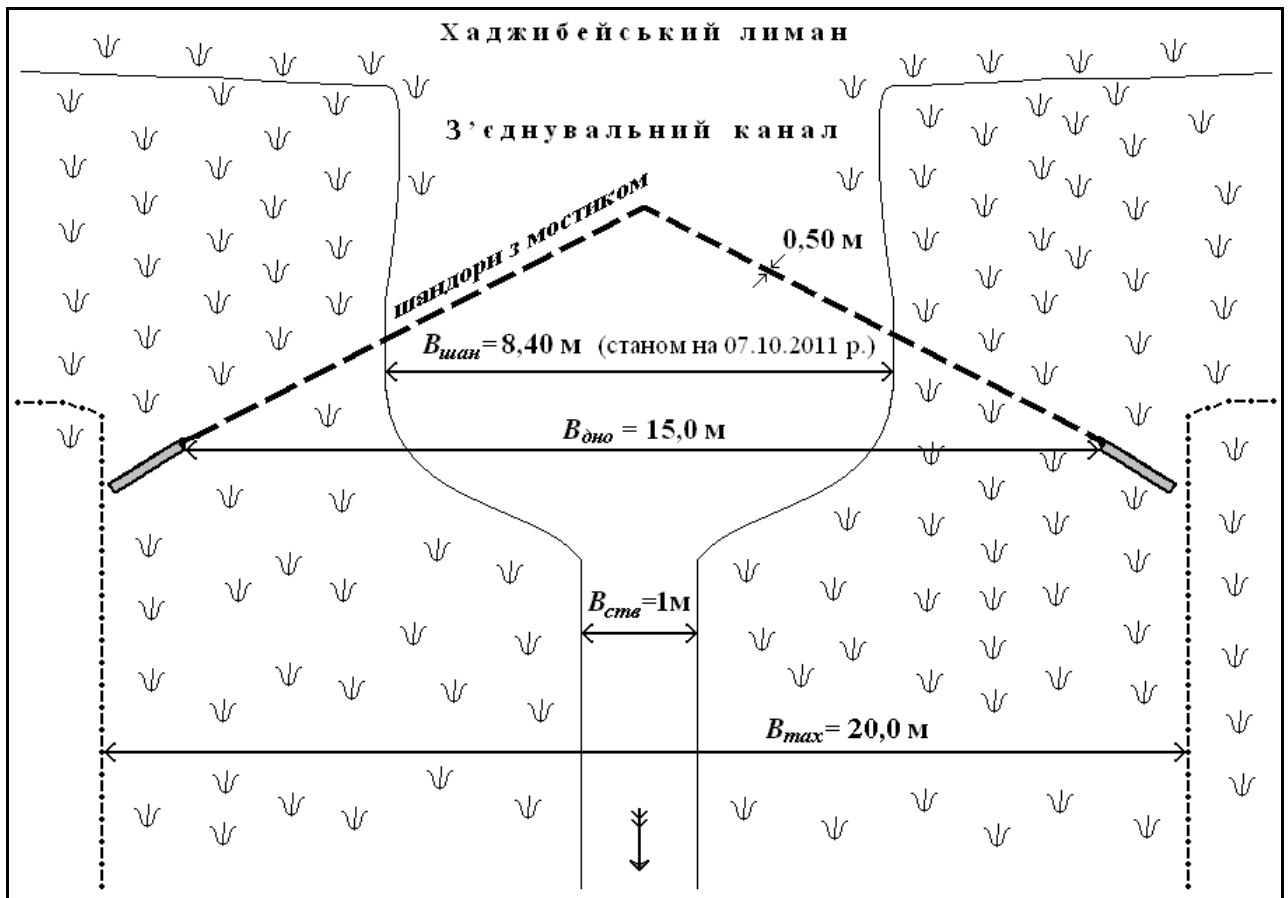


Рисунок 1.13 – План-схема ділянки з'єднувального каналу (місце витоку) між Хаджибейським лиманом та Чорним морем (станом на 07.10.2011 р.):

- – залізобетонні берегові устої металевої рибозахисної сітки та мостика;
- — — — — металева рибозахисна сітка (шандори) з мостиком (шириною 0,50 м);
- ←← — — — — напрямок течії в з'єднувальному каналі;
- — — — — границі урізу води в каналі;
- — границі берегів каналу при максимальному рівні води (лінії бровок);
- ∩ — зарості вищих водяних рослин (очерет, рогіз тощо);
- $B_{шан}$ – ширина каналу по поверхні води на ділянці шандорів (8,40 м);
- $B_{ств}$ – ширина каналу по поверхні води в гідрометричному створі (1,00 м);
- $B_{дно}$ – ширина каналу по дну (15,0 м);
- B_{max} – максимальна ширина каналу (20,0 м)

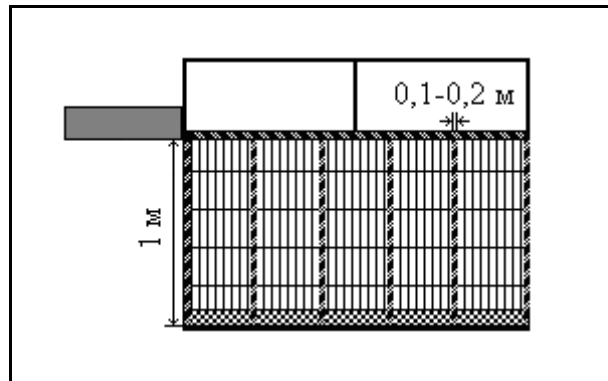


Рисунок 1.14 – Схема фрагменту шандорів (металевої рибозахисної сітки) з мостиком на ділянці витoku з'єднувального каналу між Хаджибейським лиманом та Чорним морем (станом на 07.10.2011 р.):

- – залізобетонні берегові устої металевої рибозахисної сітки та мостика;
- |— – металеві перила мостика на шандорах;
- |— – металевий каркас та вертикальні опори шандорів (0,1-0,2 м);
- ▤ – металева рибозахисна сітка (діаметр прута становить близько 0,01 м);
- ▨ – намул та шар придонної підмостки з гравієм і галькою

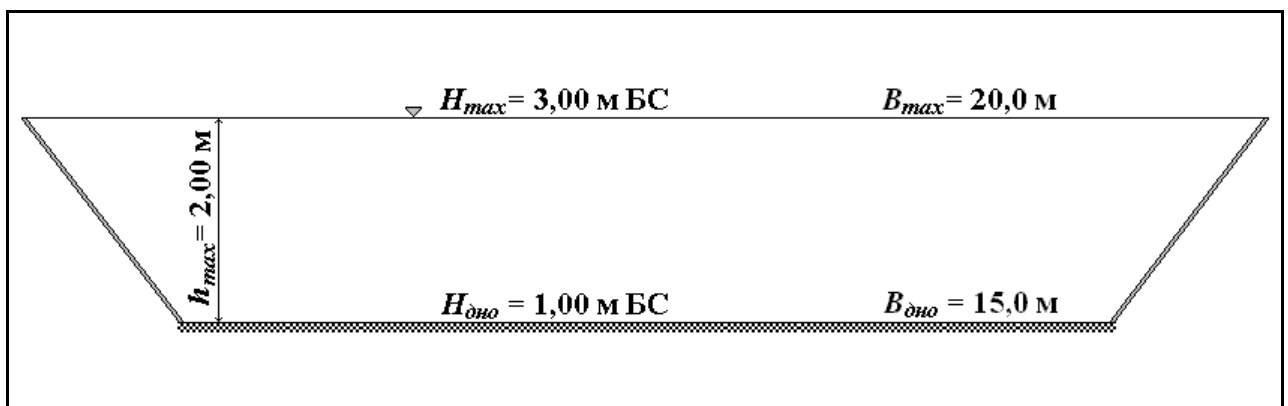


Рисунок 1.15 – Схематичний профіль поперечного перерізу з'єднувального каналу (на ділянці витoku) між Хаджибейським лиманом та Чорним морем (станом на 07.10.2011 р.)

1.7 Оцінка замулення Хаджибейського лиману за період 1975-2009 рр.

За результатами батиметричних зйомок, виконаних ОДЕКУ в 2009 та 2011 рр. [6, 40, 16], побудовані план водойми в ізобатах (рис. 1.16) та криві площ водної поверхні й об'ємів води лиману (рис. 1.17 та 1.18).

Висновок про те, що чаша лиману замулюється, отриманий на підставі зіставлення кривих площ водної поверхні та об'ємів води водойми за 2009 р. [6] та побудованих 35 років назад – в 1974 р. [7].

З рис. 1.17 та 1.18 видно, що за рахунок замулення та внутрішнього перерозподілу донних відкладів відбулося значне зменшення площі водної поверхні та ємності лиману (при однакових рівнях води в 1974 та 2009 рр.), особливо в області мінімальних їх значень. Так, при рівнях води, наближених до мінус 1,00 м БС, площа водної поверхні з 1974 р. по 2009 р. зменшилася на 26,5 млн. м², а ємність лиману – на 225 млн. м³. При сучасних же рівнях води, наближених до тих, які спостерігалися в 2011 р., тобто близьких до 1,50 м БС, площа водної поверхні лиману зменшилася майже на 16 млн. м², а ємність – на 230 млн. м³.

В середньому щорічно ємність чаші Хаджибейського лиману, внаслідок замулювання, зменшувалася на 6,5 млн. м³, що відповідає ємності його Палійовської затоки. Замулювання лиману враховано при розрахунках водних балансів водойми за досліджувальний період.

Замулення чаші лиману відбувалося головним чином за рахунок надходження наносів з річковим і балковим стоком, змиву зі схилів лиману під час зливових опадів та в період весняного сніготанення, а також зі скидними водами СБО «Північна». Зменшення ємності та площ водної поверхні лиману в області мінімальних рівнів води (менше 0 м БС) шляхом замулення чаші водойми могло б також відбуватися за рахунок внутрішнього перерозподілу донних відкладів, завдяки вітровим циркуляціям та за рахунок органічних відкладів (наприклад, відмерлих гідробіонтів).

Отримані результати використані при моделюванні водно-сольових балансів водойми та при розробці рекомендацій щодо здійснення заходів, спрямованих на забезпечення задовільного водного та сольового режимів Хаджибейського лиману після припинення скидів СБО «Північна» у цю водойму.

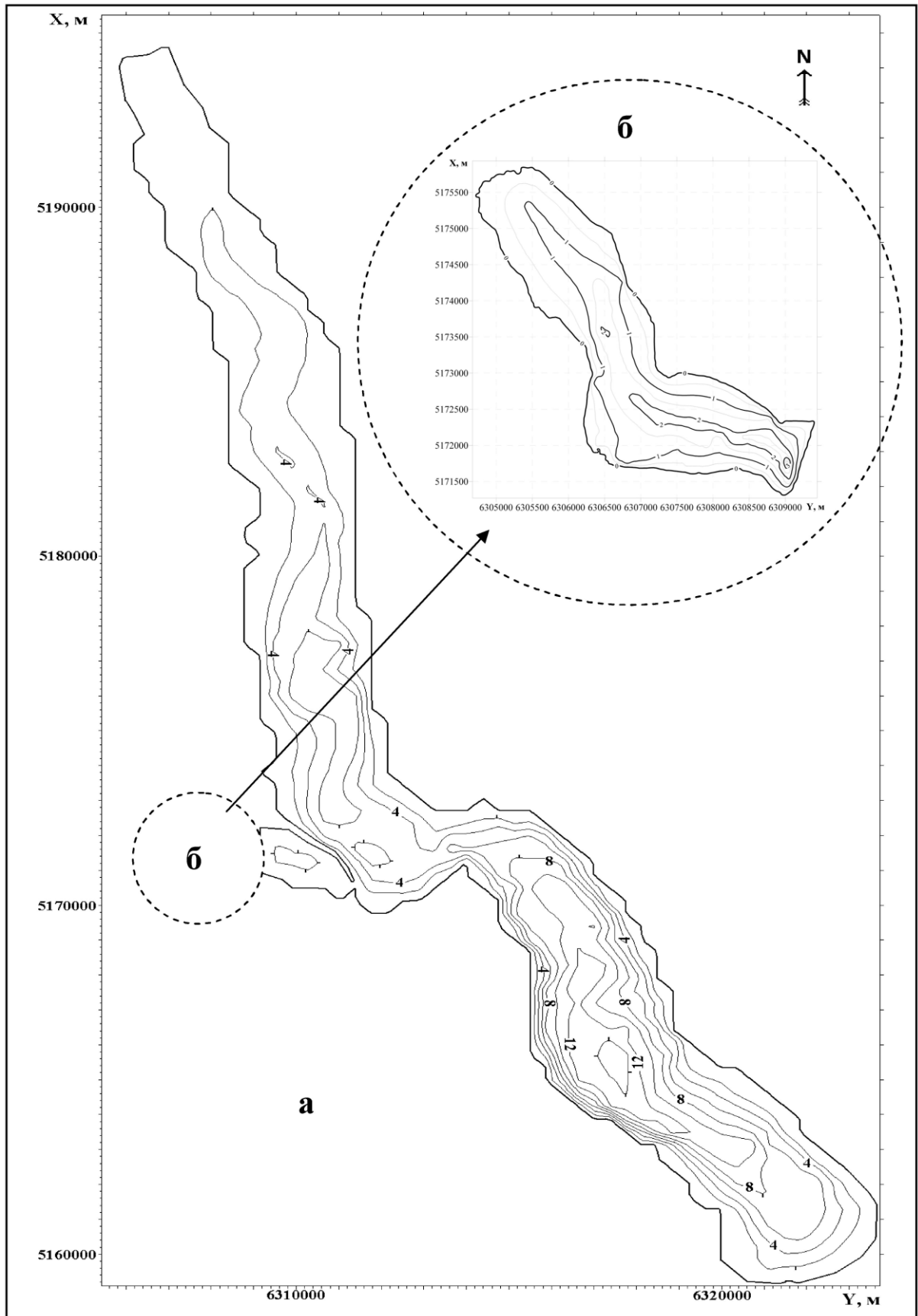


Рисунок 1.16 – Плани батиметричних зйомок Хаджибейського лиману (а – 2009 р.) та ШРГВ (б – 2011 р.) в ізобатах (при рівні води 0,60 м БС) [16]:
 X та Y – прямокутні координати в системі координат WGS-84

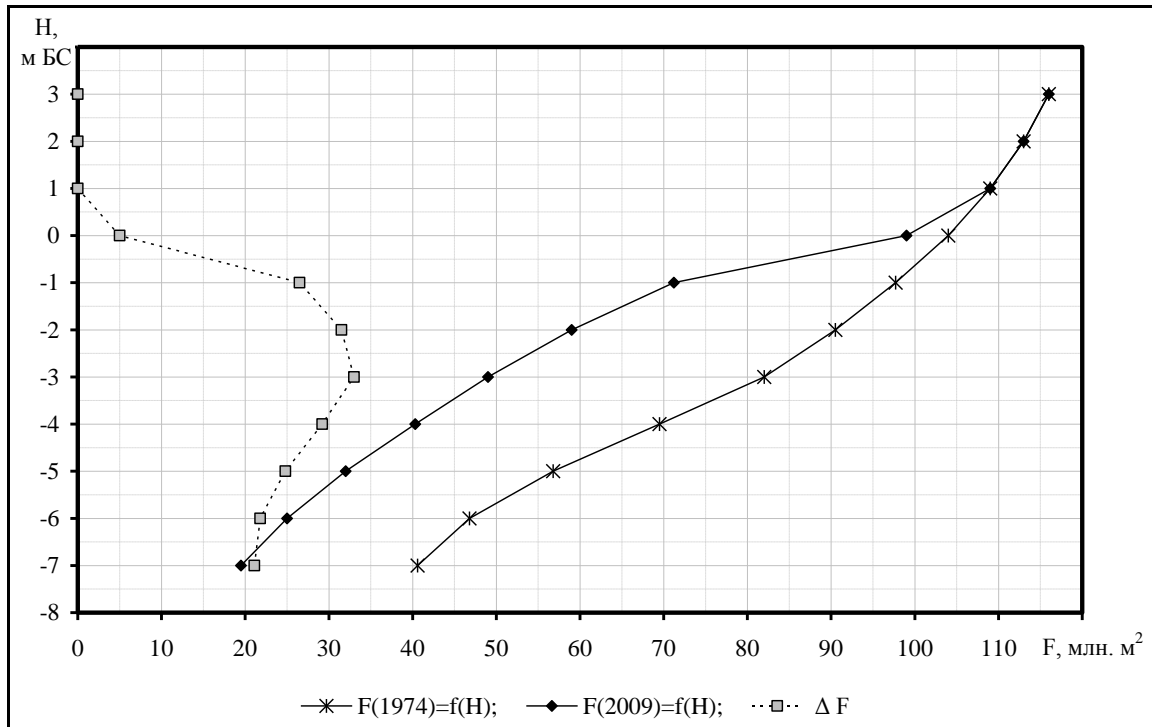


Рисунок 1.17 – Криві площ водної поверхні Хаджибейського лиману за 1974 [7] та 2009 рр. [6] і крива зменшення площ за 1974-2009 рр. [16]

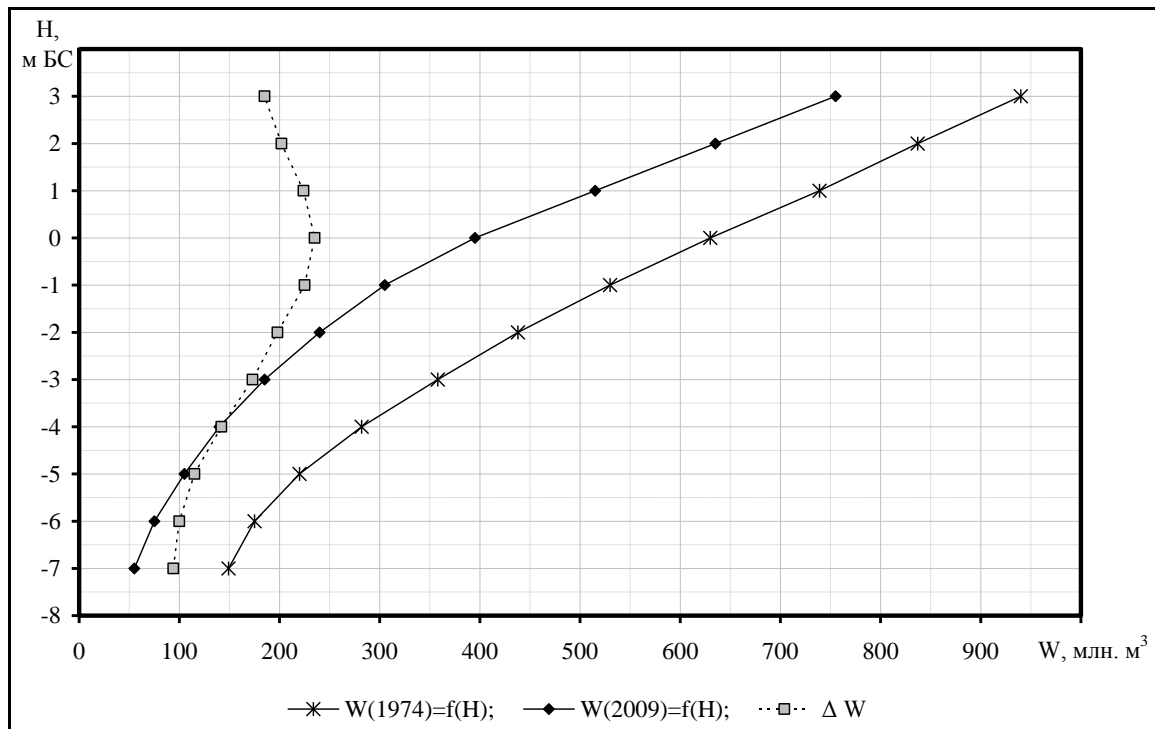


Рисунок 1.18 – Криві об'ємів води Хаджибейського лиману за 1974 [7] та 2009 рр. [6] і крива зменшення об'ємів за 1974-2009 рр. [16]

2 ВОДНО-СОЛЬОВИЙ БАЛАНС ЛИМАНУ ТА ОЦІНКА ЙОГО СКЛАДОВИХ

Водний баланс внутрішніх водойм, який визначається процесами надходження та витрат води, є головною характеристикою їхнього гідрологічного режиму. На основі водного балансу визначаються водообмін, фізичні та хімічні процеси, що відбуваються у водоймах, а також оцінюються ефекти заходів, які спрямовані на можливе господарське використання водних ресурсів.

2.1 Загальна структура водного балансу Хаджибейського лиману

Рівняння водного балансу Хаджибейського лиману у загальному вигляді можна представити як:

$$\sum_{\Pi} V_i = \sum_B V_i \pm \Delta W_i \pm \Delta V_{ni}, \quad (2.1)$$

де $\sum_{\Pi} V_i$ – прихідна частина водного балансу;

$\sum_B V_i$ – витратна частина водного балансу;

ΔW_i – зміни об'ємів води в лимані за розрахункові періоди;

ΔV_{ni} – нев'язки рівняння водного балансу.

До прихідної частини водного балансу Хаджибейського лиману входять: атмосферні опади, приплив поверхневих вод річок Малий Куяльник і Свинна, які впадають у лиман, та надходження скидних вод СБО «Північна». До витратної частини входять: випаровування з водної поверхні, скиди води з лиману в Чорне море по каналу «лиман-море» та перетік води з Палійовської затоки Хаджибейського лиману в штучну рибогосподарську водойму (ШРГВ) Регіонального дослідно-експериментального комплексу в гирлі р. Свинна. Тоді рівняння водного балансу (2.1) набуває вигляду:

$$V_{Pi} + V_{ri} + V_{CBO} + V_{zp} = V_{ESi} + V_{Ci} \pm \Delta W_i \pm \Delta V_{ni}, \quad (2.2)$$

де V_P – атмосферні опади;

V_r – річковий стік;

V_{zp} – підземні води (за довідниковою літературою – незначний [41, 42]);

V_{CBO} – надходження стічних вод СБО «Північна»;

V_{ES} – випаровування з водної поверхні (з урахуванням мінералізації води);

V_C – скиди води з лиману до Чорного моря та перетік води до ШРГВ.

2.2 Методичні підходи до визначення складових водних балансів Хаджибейського лиману

2.2.1 Визначення об'ємів води і площ водної поверхні лиману

Для розрахунку водних балансів в якості вихідних матеріалів використані об'єми води в водоймі на початок (W_1) і кінець (W_2) кожного місяця. Зміна об'ємів за місяць ΔW становить

$$\Delta W = W_2 - W_1. \quad (2.3)$$

Величини W_1 і W_2 визначались за допомогою залежності об'ємів води від рівнів води в водоймі за даними батиметричних зйомок 1974 і 2009 рр., при цьому шляхом інтерполяції враховувався рівень замулення Хаджибейського лиману за останні 35 років (див. розділ 1).

Площа водного дзеркала $F_{\text{оз}}$ для розрахунку надходження атмосферних опадів і випаровування визначалась в залежності від рівнів води у водоймі та розрахункового року (див. розділ 1). Багаторічний хід середньомісячних рівнів води Хаджибейського лиману за 1960-2010 рр. представлений на рис. 2.1.

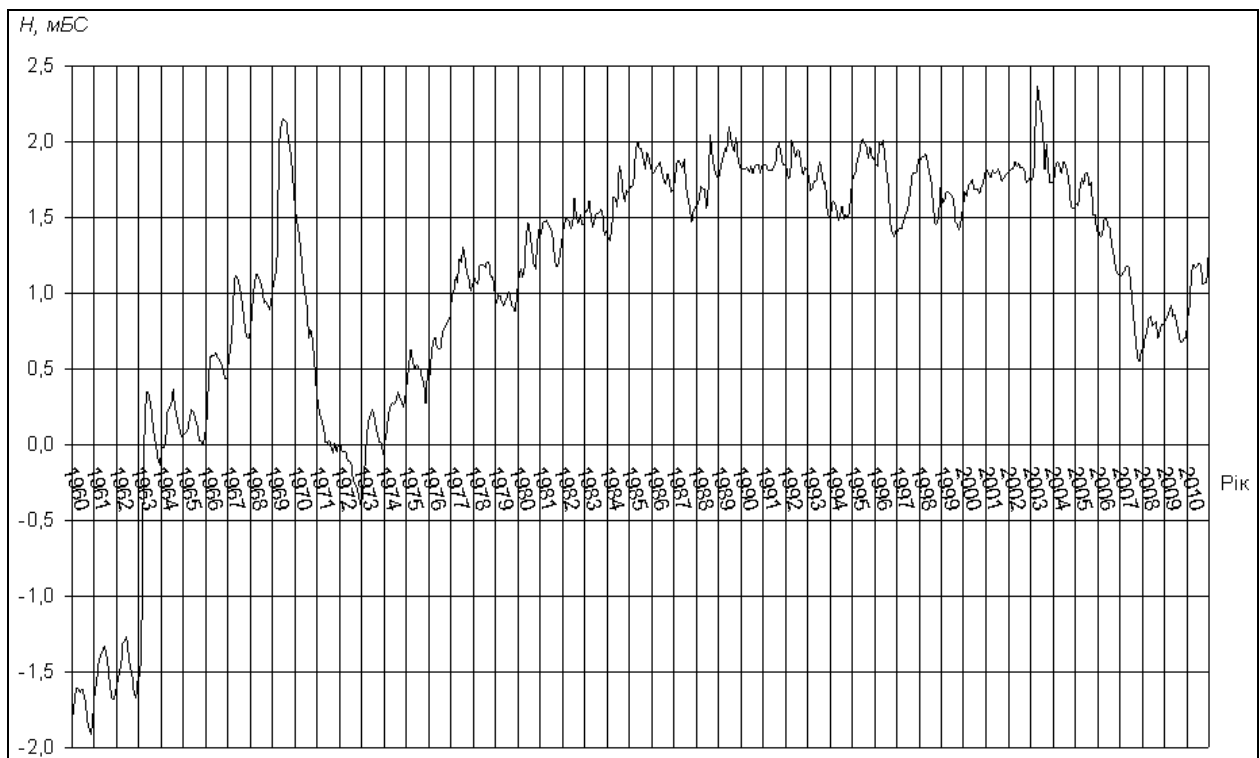


Рисунок 2.1 – Багаторічний хід середньомісячних рівнів води Хаджибейського лиману за період з 1960 по 2010 рр.

Як видно з рис. 2.1, значний підйом рівнів води спостерігався у 1963 і 1969 рр., у 1970-1972 рр. – відбулося зниження рівня за допомогою введеного в експлуатацію каналу для скидів води з лиману до моря [6].

З 1973 по 1983 рр. рівень води поступово щороку підвищувався і в 1984 р. середня відмітка поверхні води в лимані становила близько 1,80 м БС, яка трималася до 2004 р.

В 2003 р., за рахунок значного припливу води з водозбірного басейну водойми в період «дружного» зимово-весняного водопілля, середньомісячні рівні води в Хаджибейському лимані досягали відмітки 2,30 м БС.

З 2005 р. рівень води у лимані почав зменшуватись, досягнувши в 2007 р. відмітки близько 0,60 м БС (при відсутності скидів води з СБО «Північна»).

В 2010 р., за рахунок весняного водопілля та відновлення скидів води з СБО «Північна», рівень води в лимані підвищився до відмітки 1,00 м БС, а в 2011 р. – 1,50-1,60 м БС.

Більш детально рівневий режим Хаджибейського лиману розглядатиметься у наступних розділах.

2.2.2 Статистичний аналіз даних по атмосферних опадах та їх внутрішньорічному розподілу

Роль у водному балансі надходження води за рахунок опадів, які випадають на дзеркало водойми, головним чином визначається ступенем проточності водойми. Зі зменшенням проточності збільшується роль опадів в загальному надходженні води. Географічне положення водозбору та його розміри впливають на співвідношення поверхневого припливу та опадів, однак визначаючою є їхня проточність.

У великих водосховищах, які серед внутрішніх водойм відрізняються підвищеною проточністю, опади в загальному припливі води відіграють незначну роль і складають декілька відсотків або навіть тільки частку відсотка від його величини.

У слабопроточних водоймах роль опадів у водному балансі досить значна, тому їх урахування повинне проводитись за більш повними даними, включаючи й специфічні умови опадоутворення на прилеглих територіях.

У межах водозбірного басейна Хаджибейського лиману, у тому числі рр. М. Куяльник і Свинна, які впадають у лиман, атмосферні опади вимірюються на декількох метеорологічних станціях і постах.

В роботі було виконано статистичний аналіз даних спостережень за атмосферними опадами м/ст. Одеса – ГМО, м/п. Усатове та м/ст. Затишся.

Для виявлення статистичного зв'язку між величинами атмосферних опадів, виміряних на м/ст. Одеса – ГМО, м/п. Усатове та м/ст. Затишшя, були розраховані відповідні кореляційні матриці. Результати розрахунків представлені на рис. 2.2.

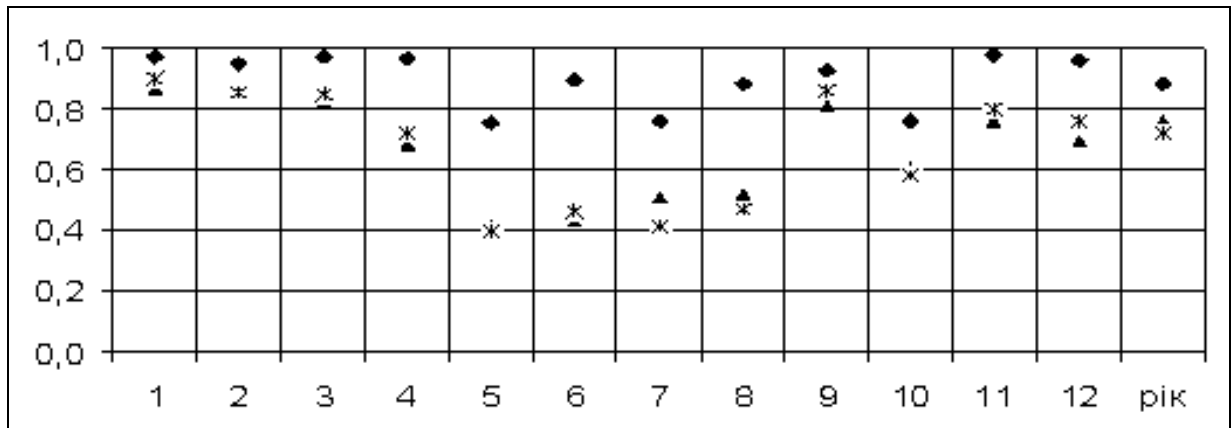


Рисунок 2.2 – Зміна коефіцієнтів парної кореляції місячних сум атмосферних опадів за даними м/ст. Одеса – ГМО (1), м/п. Усатове (2) та м/ст. Затишшя (3):
◆ – 1-2; ▲ – 1-3; * – 2-3

Зв'язок між станціями представлений для кожного місяця і для річної суми опадів. Як видно з рисунку, найбільш тісний зв'язок між коефіцієнтами кореляції опадів, виміряних на різних метеостанціях, прослідковується з дев'ятого по четвертий місяці, найменший – у літні місяці. Найбільш імовірно це пов'язано з локальним характером опадів у цей період. Найкращий зв'язок прослідковується між м/ст. Одеса – ГМО та м/п. Усатове, що знаходиться найближче до Хаджибейського лиману. Найбільш повна інформація та найдовший ряд наявні по м/ст. Одеса – ГМО, які й були детальніше проаналізовані та у подальшому задіяні при розрахунках водних балансів Хаджибейського лиману.

Використані дані по опадах, які вимірювались на м/ст. Одеса – ГМО в період з 1894 по 2010 рр. За цими матеріалами для ранжирування ряду річних сум за убутанням були розраховані емпіричні забезпеченості атмосферних опадів за формулою:

$$P_m = m / (n + 1) \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

де m – порядковий номер членів убутуючого ряду;

n – загальна тривалість ряду.

Крива забезпеченості опадів представлена на рис. 2.3.

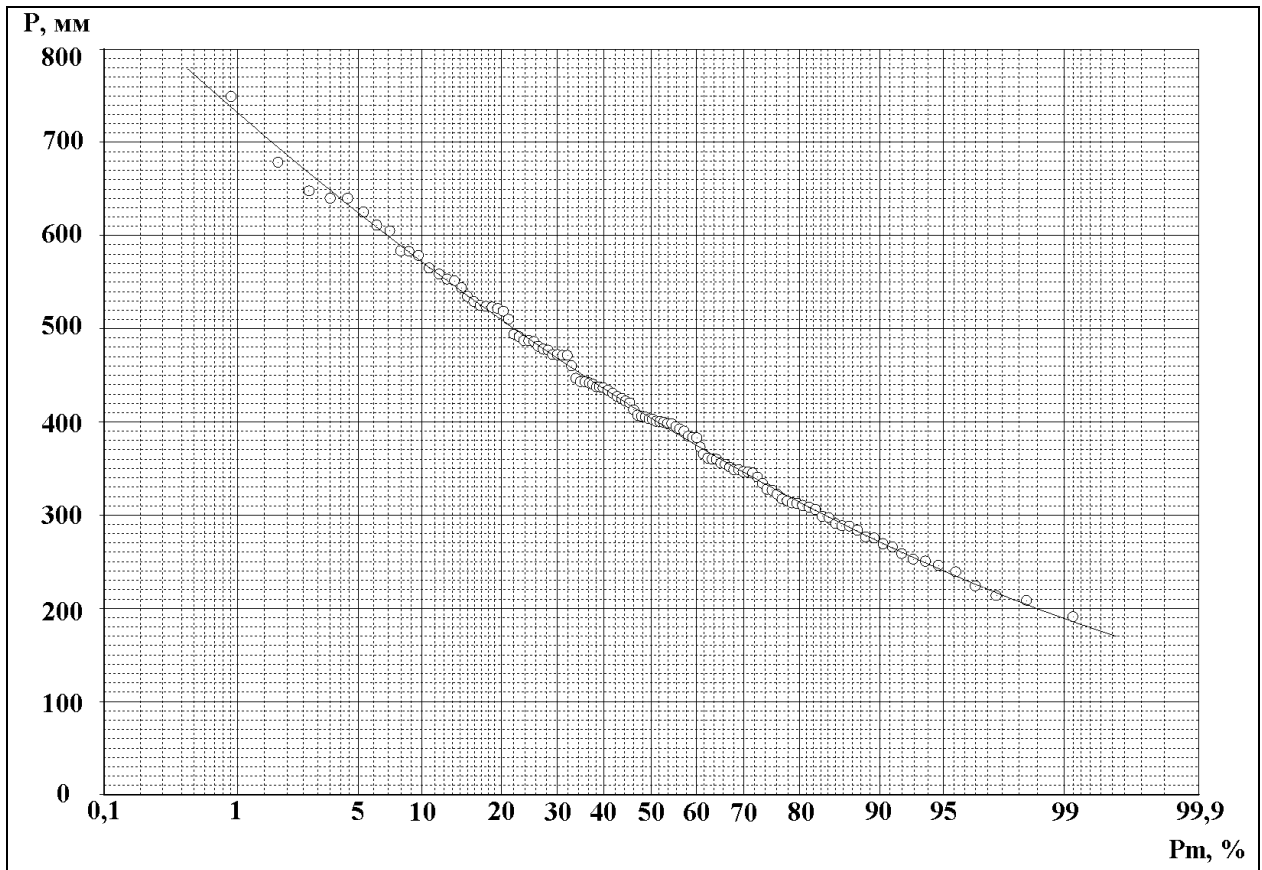


Рисунок 2.3 – Крива забезпеченості річних сум атмосферних опадів
(за даними м/ст. Одеса – ГМО)

Статистичний аналіз по опадах м/ст. Одеса – ГМО був проведений за період з 1894 по 2010 рр. Для цього періоду були розраховані також місячні значення, за якими визначені середньомісячні величини \bar{P} , коефіцієнти варіації C_v та відношення C_s/C_v .

Для розрахунку опадів різної ймовірності P_p застосований метод найбільшої правдоподібності.

Походження цього методу пов'язане з використанням функції правдоподібності до визначення статистичних параметрів трипараметричного гама-розподілу С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля [21]. За оцінку невідомого значення параметра щільності ймовірності в цьому методі приймається те його значення, при якому функція правдоподібності досягає свого максимуму для даної вибірки випадкових величин.

Результати статистичної обробки (коефіцієнти варіації C_v та відношення C_s/C_v) часового ряду річних опадів по м/ст. Одеса – ГМО за період з 1894 по 2010 рр. представлені на рис. 2.4 та 2.5.

Коефіцієнти варіації внутрішньорічного розподілу опадів (рис. 2.4) змінюються від 0,6 – у червні, до 0,99 – у вересні.

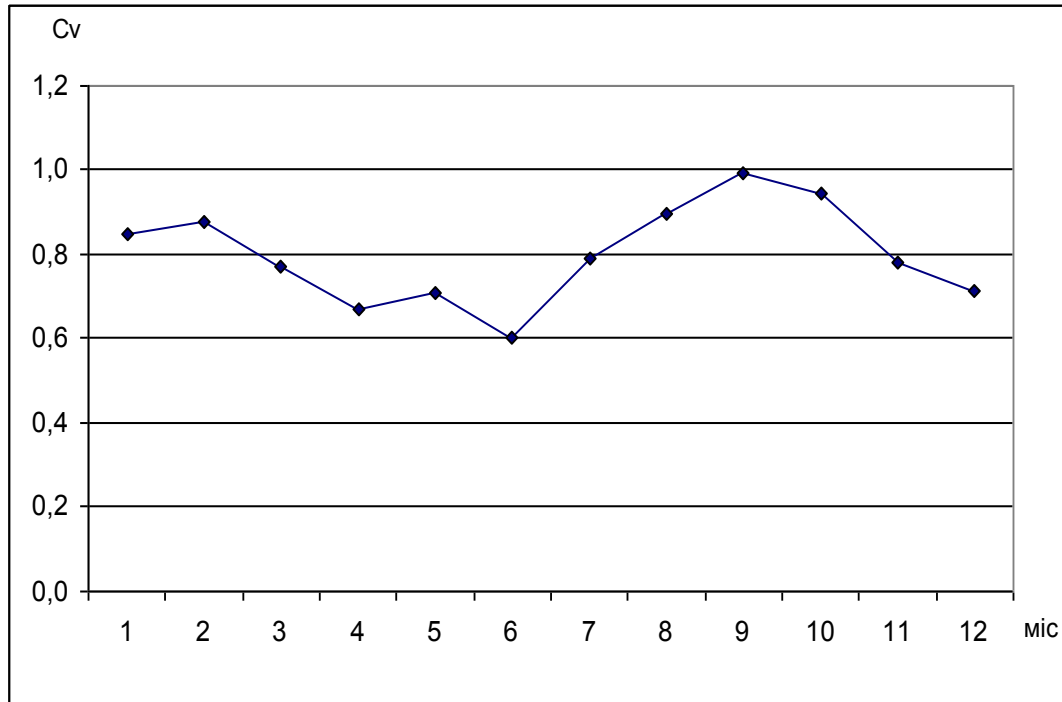


Рисунок 2.4 – Внутрішньорічний розподіл коефіцієнтів варіації C_v атмосферних опадів (за даними м/ст. Одеса – ГМО)

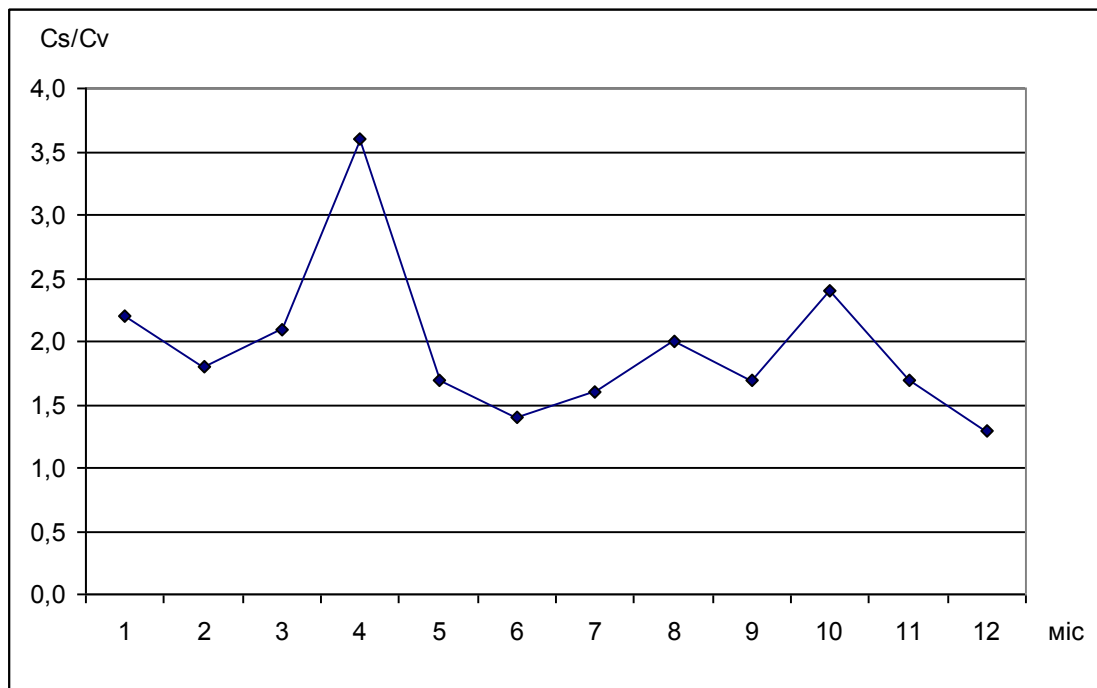


Рисунок 2.5 – Внутрішньорічний розподіл співвідношення C_s/C_v атмосферних опадів (за даними м/ст. Одеса – ГМО)

Значення внутрішньорічного розподілу співвідношення C_s/C_v (рис. 2.5) коливаються у межах від 1,4 до 2,4, за виключенням квітня, коли C_s/C_v становило 3,6.

Внутрішньорічний розподіл атмосферних опадів м/ст. Одеса – ГМО за 1894-2010 рр. представлений на рис. 2.6.

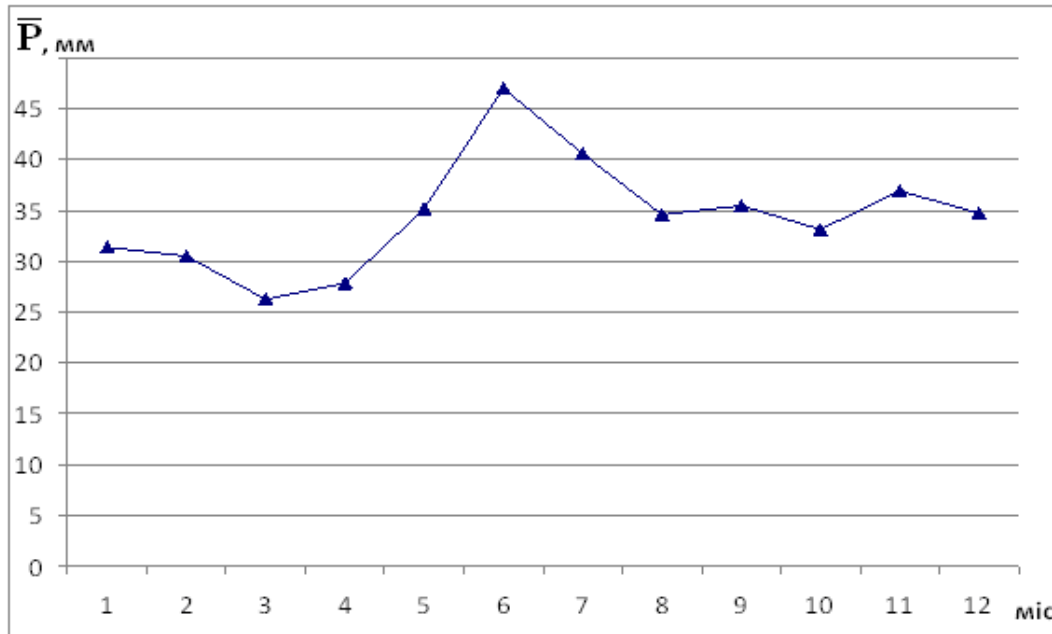


Рисунок 2.6 – Внутрішньорічний розподіл атмосферних опадів \bar{P} (за даними м/ст. Одеса – ГМО)

Для опадів за групами водності (середньоводна, багатоводна і маловодна) середньомісячні величини (\bar{P}), коефіцієнти варіації (C_v) та відношення C_s/C_v представлені на рис. 2.7-2.9 [22].

Як видно з рис. 2.7, середні місячні значення опадів майже однотипні за внутрішньорічним розподілом. Особливо це відноситься до першої половини року. У другій половині року ця закономірність виражена дещо слабше.

У внутрішньорічному розподілу коефіцієнтів варіації (рис. 2.8) у перше півріччя, незалежно від водності року, по місяцях C_v майже не змінюється і знаходиться на рівні 0,65. З червня і по вересень (включно) коефіцієнти варіації дещо збільшуються (до 0,8-1,1), а потім знову зменшуються до значень, які мали місце у першу половину року.

Співвідношення C_s/C_v (рис. 2.9) у середньому для всіх періодів внутрішньорічного розподілу опадів знаходиться на рівні двох, але зі значними коливаннями як в одну, так і в іншу сторону.

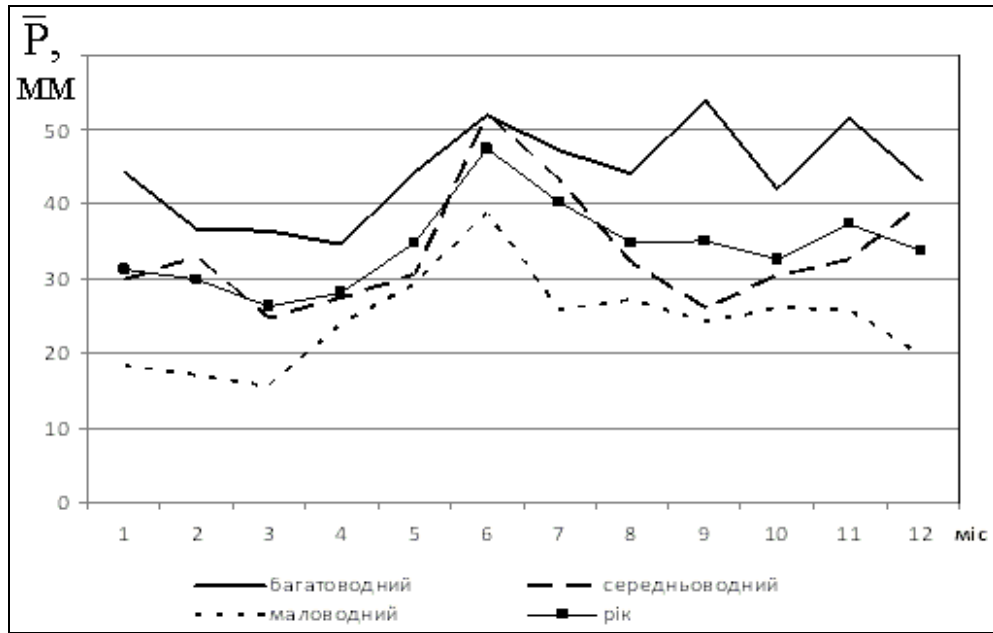


Рисунок 2.7 – Внутрішньорічний розподіл атмосферних опадів \bar{P} за групами водності (за даними м/ст. Одеса – ГМО)

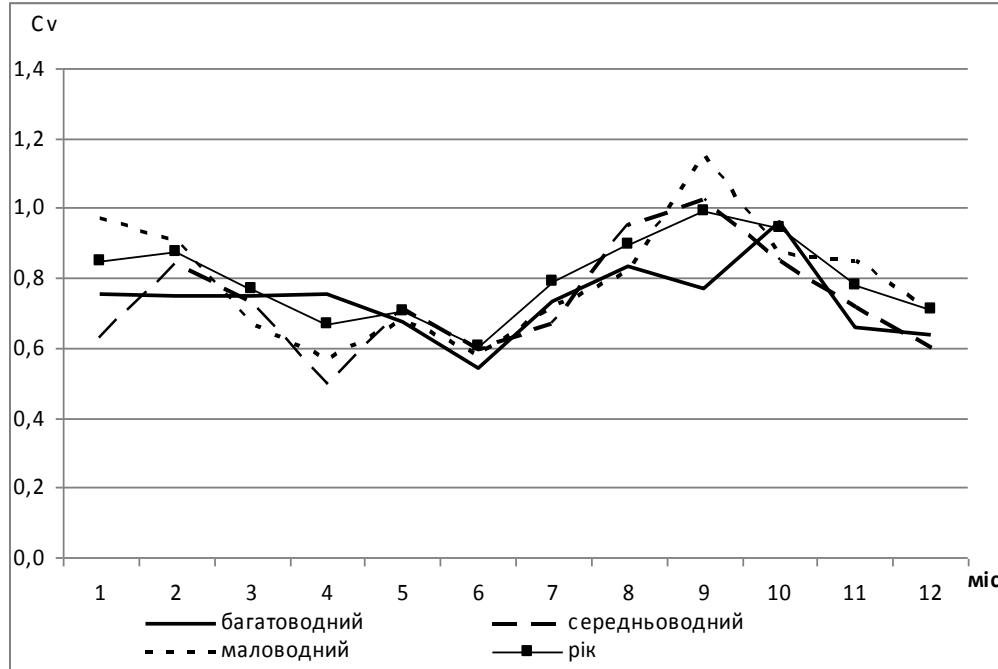


Рисунок 2.8 – Внутрішньорічний розподіл коефіцієнтів варіації C_v атмосферних опадів за групами водності (за даними м/ст. Одеса – ГМО)

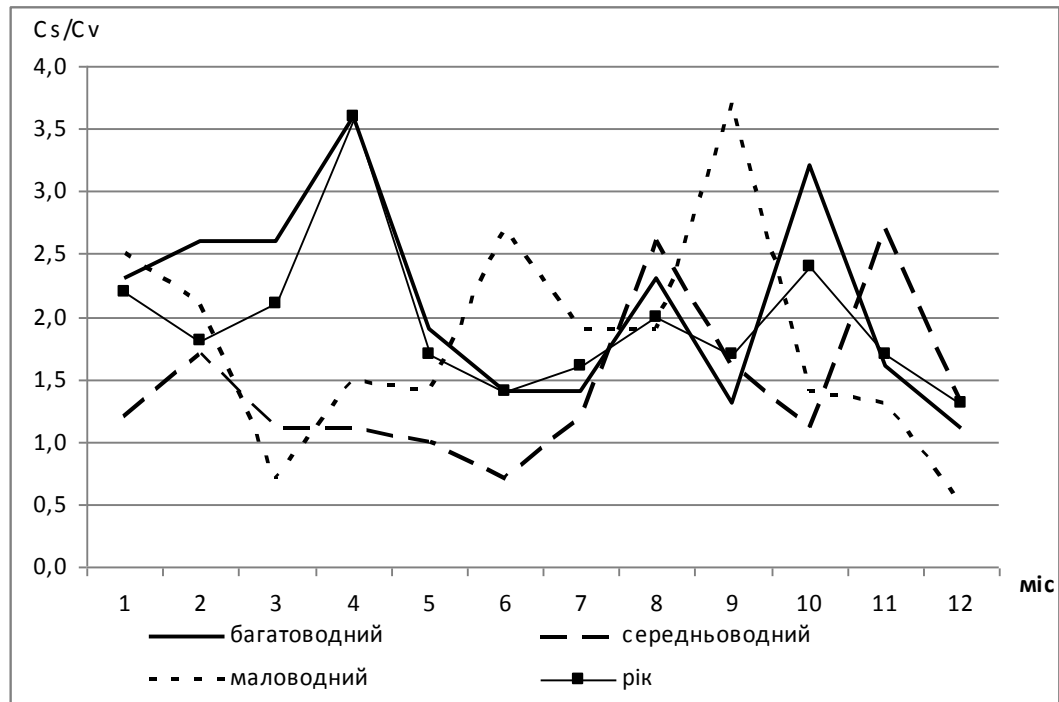


Рисунок 2.9 – Внутрішньорічний розподіл співвідношення C_s/C_v атмосферних опадів за групами водності (за даними м/ст. Одеса – ГМО)

2.2.3 Річний стік і його визначення для окремих років при відсутності гідрологічних спостережень

Гідрографічна мережа Північно-Західного Причорномор'я представлена невеликими річками, режим яких цілком визначається місцевими фізико-географічними умовами.

Керуючись діючим в Україні нормативним документом СНіП 2.01.14-83 [23], визначення розрахункових гідрологічних характеристик здійснюється за наступними схемами:

- 1) за наявністю гідрометричних спостережень – безпосередньо за цими даними;
- 2) при недостатності гідрометричних спостережень – шляхом приведення їх до багаторічного періоду по даних річок-аналогів з більш тривалими рядами спостережень;
- 3) за відсутності гідрометричних спостережень – за формулами або інтерполяцією, заснованою на сукупності спостережень всієї мережі гідрометричних станцій та постів того чи іншого району або більшої території, включаючи матеріали інженерно-гідрометричних досліджень.

При цьому застосовуються методи просторової інтерполяції параметрів річкового стоку з використанням карт гідрологічних характеристик. При належному обґрунтуванні допускається використання й інших методів, але розрахунку з оцінкою їх надійності та точності [23].

До Хаджибейського лиману надходять води річок Малий Куяльник і Свинна, площа водозборів яких становить 1540 і 871 км², відповідно. На жаль, систематичні спостереження за їх стоком не відбуваються. Тому у роботі для розрахунку надходження до водойми поверхневого стоку використані карти середнього річного стоку річок (л/(с·км²)) та коефіцієнтів варіації, які побудовані в масштабі 1:10000000 та наводяться у нормативному документі СНіП 2.01.14-83 [23]. Середні багаторічні значення стоку за картами встановлюються для геометричних центрів водозборів шляхом лінійної інтерполяції між ізолініями стоку та розраховуються за формулою:

$$\bar{Q} = \frac{\bar{q} \cdot F}{10^3}, \quad (2.4)$$

де \bar{Q} – середня багатолітня витрата води (норма стоку), м³/с;

\bar{q} – модуль стоку, л/(с·км²);

F – площа водозбору, км².

Для водозборів рр. М. Куяльник і Свинна модуль стоку \bar{q} становить 0,35 л/(с·км²), коефіцієнт варіації $C_v = 0,95$, співвідношення $C_s/C_v = 2,0$.

За допомогою цих параметрів є можливість розраховувати стік забезпеченістю $p\%$, тобто,

$$q_{p\%} = \bar{q} \cdot k_{p\%}, \quad (2.5)$$

де $q_{p\%}$ – модуль річного стоку забезпеченістю $p\%$;

\bar{q} – норма річного стоку, л/(с·км²);

$k_{p\%}$ – модульний коефіцієнт, який визначався (для забезпеченості $p\%$, $C_v = 0,95$ та $C_s/C_v = 2,0$) за таблицею трипараметричного гама-розподілу.

Щоб визначити для кожного року об'єм стоку забезпеченістю $p\%$, при визначенні величин річного стоку V_r , використовувалася крива забезпеченості атмосферних опадів (рис. 2.3), причому забезпеченість $p\%$, знаходиться по величинах річних опадів з цієї кривої, тобто допускається, що забезпеченість річкового стоку співпадає з забезпеченістю атмосферних опадів, взятих по м/ст. Одеса – ГМО.

Однак, систематичні гідрологічні спостереження в басейні Хаджибейського лиману не проводились. Тому стокові характеристики, включаючи й внутрішньорічний його розподіл, безпосередньо визначити неможливо.

В гідрологічній практиці вирішення подібних задач здійснюється за допомогою річок-аналогів [24], по яких накопичені багаторічні ряди спостережень.

В якості аналогу при визначенні внутрішньорічного розподілу стоку використана р. Тараклія – смт Тараклія (ліва притока р. Ялпуг). За матеріалами спостережень, здійснивши ранжирування річних величин стоку, виділені групи водності (багатоводні, середньоводні, маловодні) та розраховані типові схеми (у %) внутрішньорічного розподілу поверхневого стоку (табл. 2.1, рис. 2.10).

Таблиця 2.1 – Внутрішньорічний розподіл поверхневого стоку р. Тараклія – смт Тараклія (у %)

Водність \ Місяці	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Багатоводний	1,8	24,0	15,7	4,5	3,1	6,8	5,0	15,7	8,1	7,3	4,4	3,5
Середньоводний	3,3	8,1	13,2	6,3	7,8	6,6	10,7	14,8	6,6	6,9	7,6	8,1
Маловодний	9,2	14,6	7,3	5,6	11,8	5,6	12,5	3,8	9,3	5,4	7,0	7,9

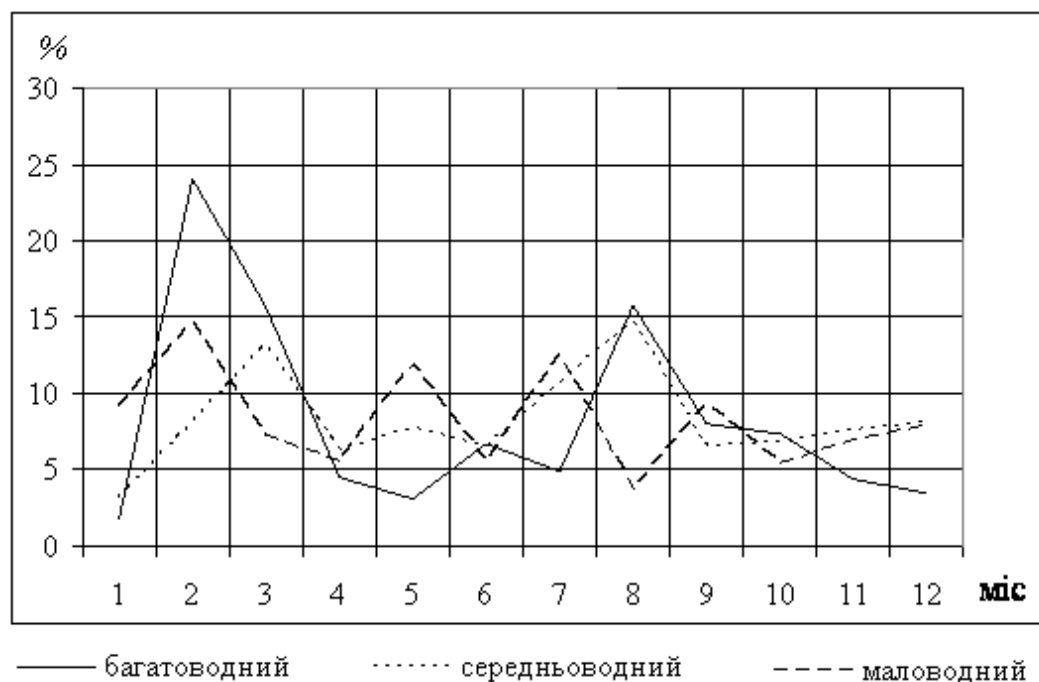


Рисунок 2.10 – Розподіл річкового стоку в басейні Хаджибейського лиману по місяцях року

З рис. 2.10 видно, що загальною рисою є те, що найбільш багатководним є весняний період (лютий і березень), хоча й в інші місяці має місце підвищена водність річок, що впадають у Хаджибейський лиман. Це, зокрема, стосується середньоводного і багатководного років, коли на серпень припадає біля 15 % від річної суми. У багатководні роки найбільш низький стік спостерігається у квітні-травні та у листопаді, грудні та січні.

Часовий хід сумарного річного стоку в басейні Хаджибейського лиману за період з 1960 по 2010 рр. наведений на рис. 2.11.

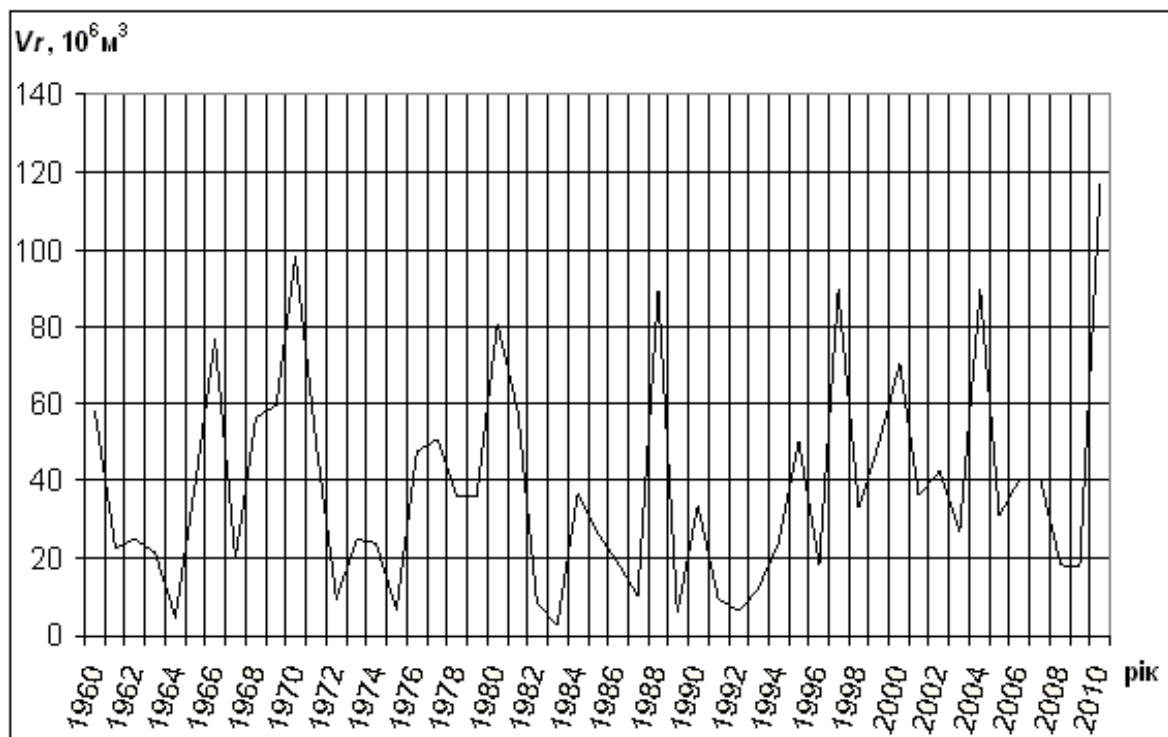


Рисунок 2.11 – Часовий хід сумарного річного стоку в басейні Хаджибейського лиману

Як видно з рис. 2.11, за період з 1960 по 2010 рр. розрахункові об'єми сумарного річного стоку в басейні Хаджибейського лиману змінювався від 3 до 117 млн. м³, в залежності від водності року.

Площа водозбору Хаджибейського лиману, за виключенням рр. М. Куяльник і Свинна, складає 289 км², тобто 11 % від загальної площі водозбору. Однак, відомо, що у зв'язку з наявністю водосховищ на річках, які впадають у Хаджибейський лиман, частина стоку утримується. На жаль, достовірних даних про ці величини немає. У роботі прийнято, що об'єми бічного припливу та утримання води у водосховищах на малих річках взаємокомпенсуються.

2.2.4 Випаровування з водної поверхні Хаджибейського лиману

Випаровування є не лише головною складовою витратної частини водного балансу водойм, подібних за гідрологічним режимом Хаджибейському лиману, але й усього балансу в цілому.

Для розрахунку водних балансів Хаджибейського лиману використані дані про випаровування з водної поверхні оз. Ялпуг, які виміряні на м/ст. Болград. При цьому враховувалась мінералізація води лиману. Відомо, що інтенсивність випаровування з поверхні солоних водойм залежить від концентрації їх розсолів та складу солей. Для порівняння величин випаровування розсолів різної концентрації користуються коефіцієнтом випаровуваності, який є відношенням величин випаровування розсолу тієї чи іншої концентрації до величини випаровування прісної води. Він завжди менше одиниці та зменшується з підвищенням концентрації солей в водах. В діапазоні від 0 до 60 ‰ середні значення перехідних коефіцієнтів наводяться у роботі Боброва С.М. (за матеріалами досліджень на Каспійському морі) [22] та представлені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Перехідні коефіцієнти для розрахунку величини випаровування з водної поверхні солоних водойм

S, ‰	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Сер.
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
20	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
40	0,87	0,87	0,88	0,88	0,97	0,90	0,86	0,87
60	0,81	0,81	0,83	0,83	0,89	0,85	0,80	0,82

2.2.5 Надходження води від СБО «Північна» та скиди води до моря

Враховуючи, що надійних даних надходження води з СБО «Північна» та безпосередніх вимірювань скидів з лиману до моря немає, ці величини розраховувались зворотнім шляхом з рівняння водного балансу. У цьому випадку вони включатимуть і нев'язку водного балансу. В результаті розрахунків щомісячних водних балансів додатні значення нев'язок були віднесені до складової надходження скидних вод СБО «Північна», від'ємні – до складової стоку води з лиману до моря по існуючому з'єднувальному каналу.

У місяці, коли одночасно працювали скидний канал СБО "Північна" та канал скиду води з лиману до моря, можна говорити про перевищення одних об'ємів над іншими. На рис. 2.12 представлені надходження скидних вод СБО «Північна» та стоку води з лиману до Чорного моря.

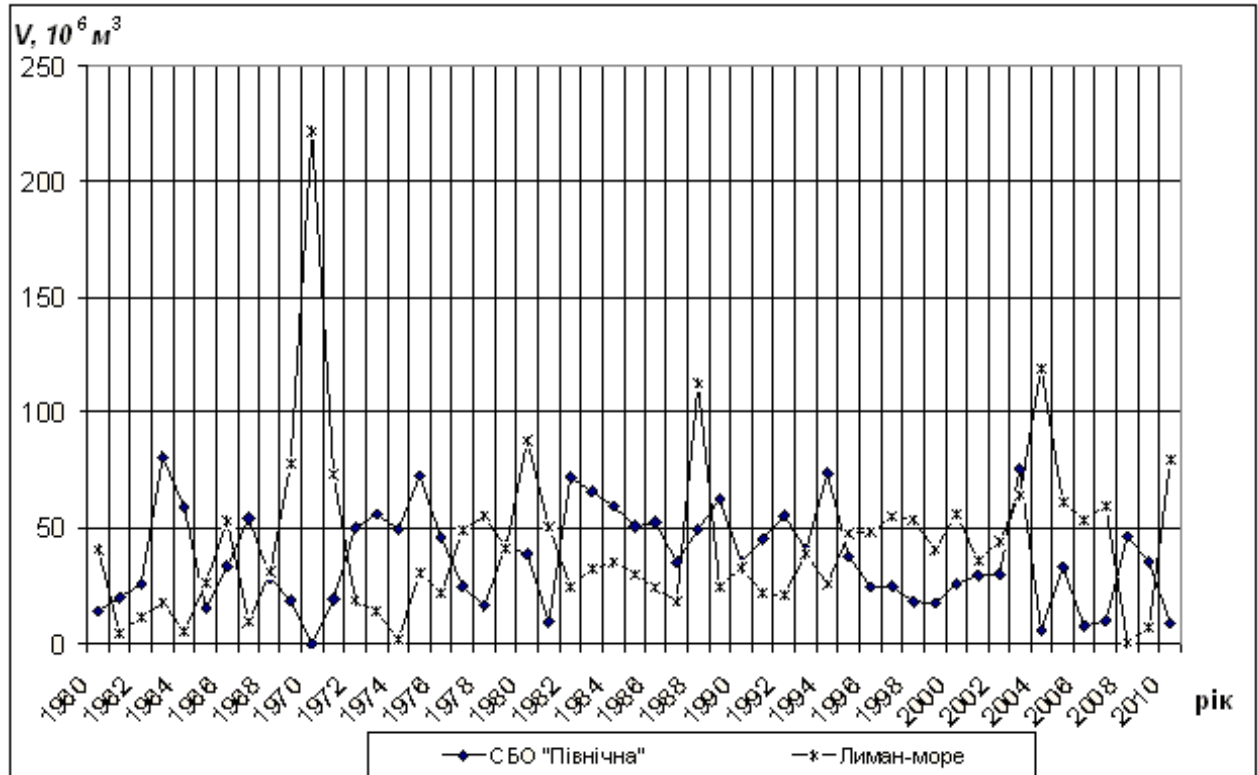


Рисунок 2.12 – Надходження води до Хаджибейського лиману від СБО «Північна» та стік з лиману до моря і ШРГВ (за період з 1960 по 2010 рр.)

Як видно з рис. 2.12, об'єми надходження води зі скидними водами СБО «Північна» за період з 1960 по 2010 рр. складають до 81 млн. м³ на рік. Найбільші об'єми скидів з лиману до Чорного моря (220 млн. м³) спостерігались у 1970 р. (після побудови каналу «лиман-море» у 1969 р.).

2.3 Аналіз складових водного балансу Хаджибейського лиману

Багаторічна мінливість складових прихідної частини водних балансів Хаджибейського лиману за 1960-2010 рр. (у млн. м³ та у %) представлена на рис. 2.13 та 2.14, витратної частини – на рис. 2.15 та 2.16, відповідно.

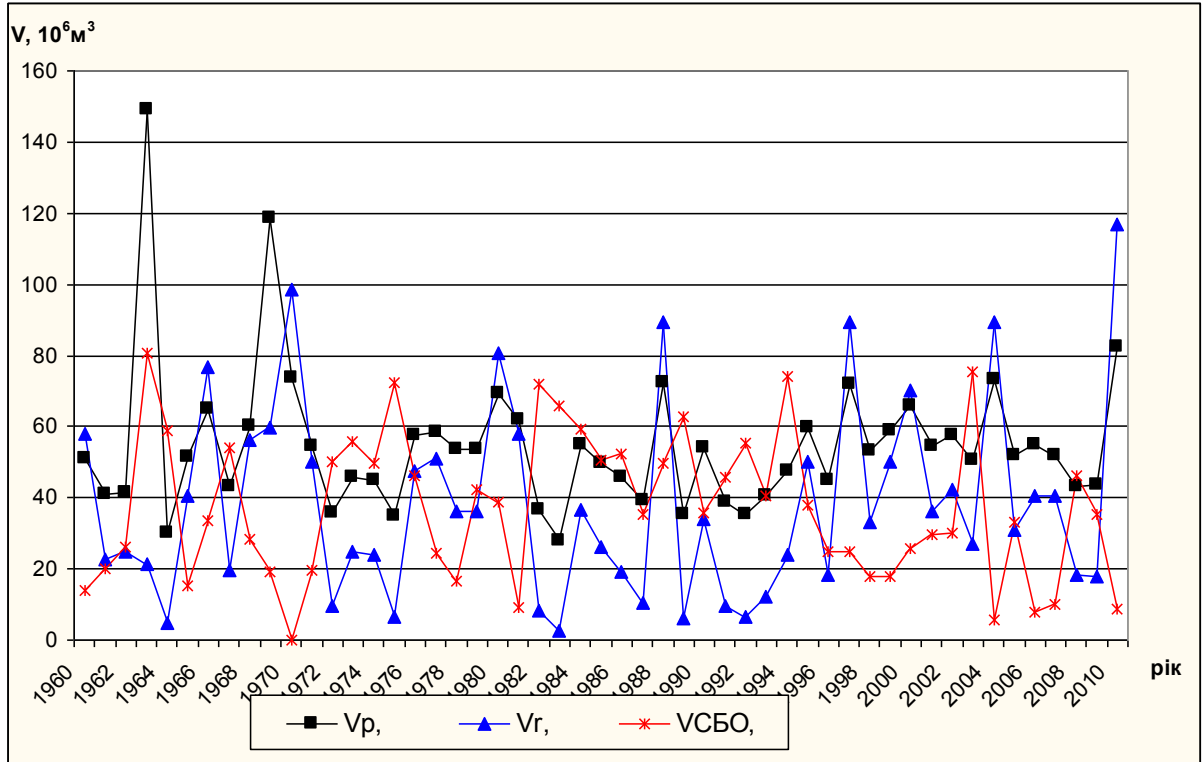


Рисунок 2.13 – Багаторічний хід складових прихідної частини водного балансу Хаджибейського лиману (у млн. м³)

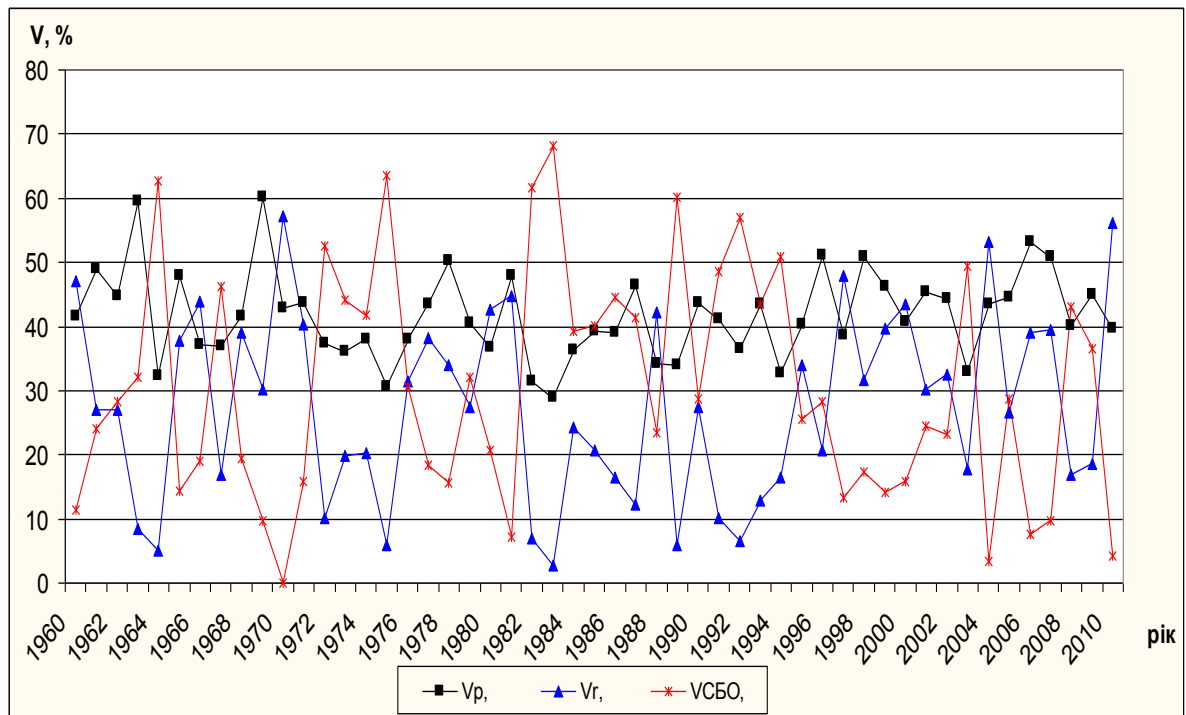


Рисунок 2.14 – Багаторічний хід складових прихідної частини водного балансу Хаджибейського лиману (у %)

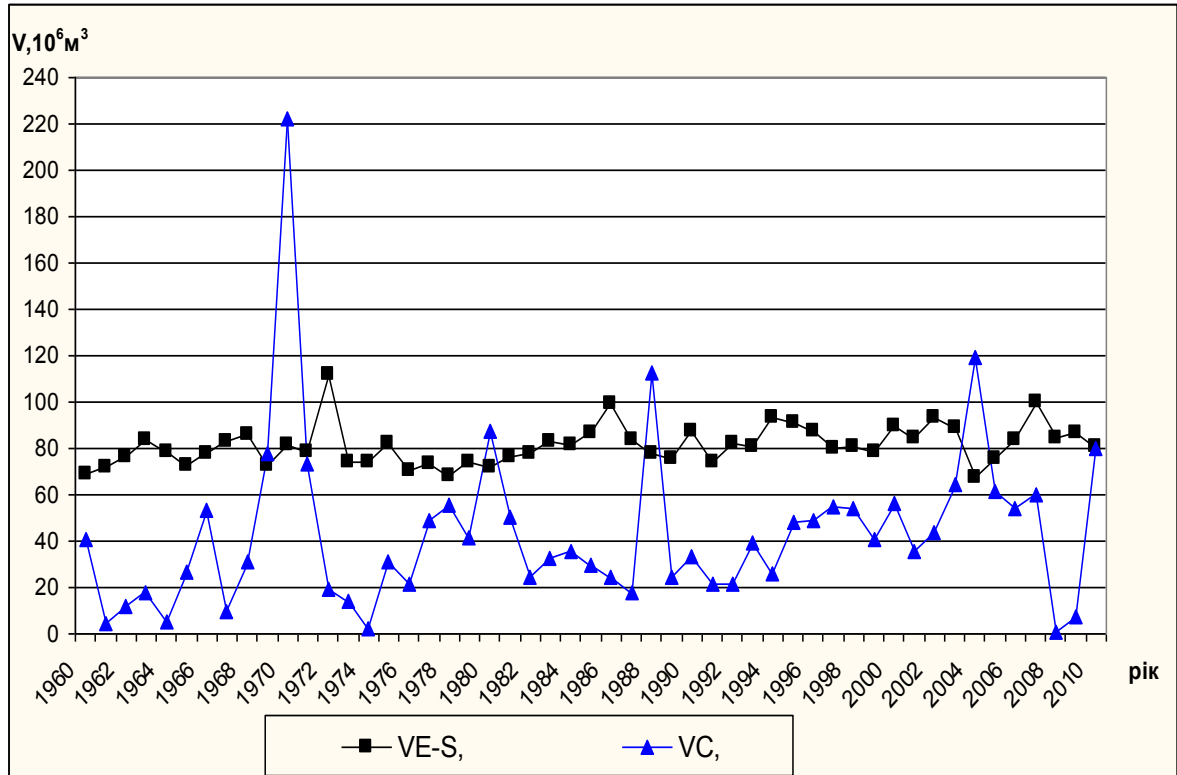


Рисунок 2.15 – Багаторічний хід складових витратної частини водного балансу Хаджибейського лиману (у млн. m^3)

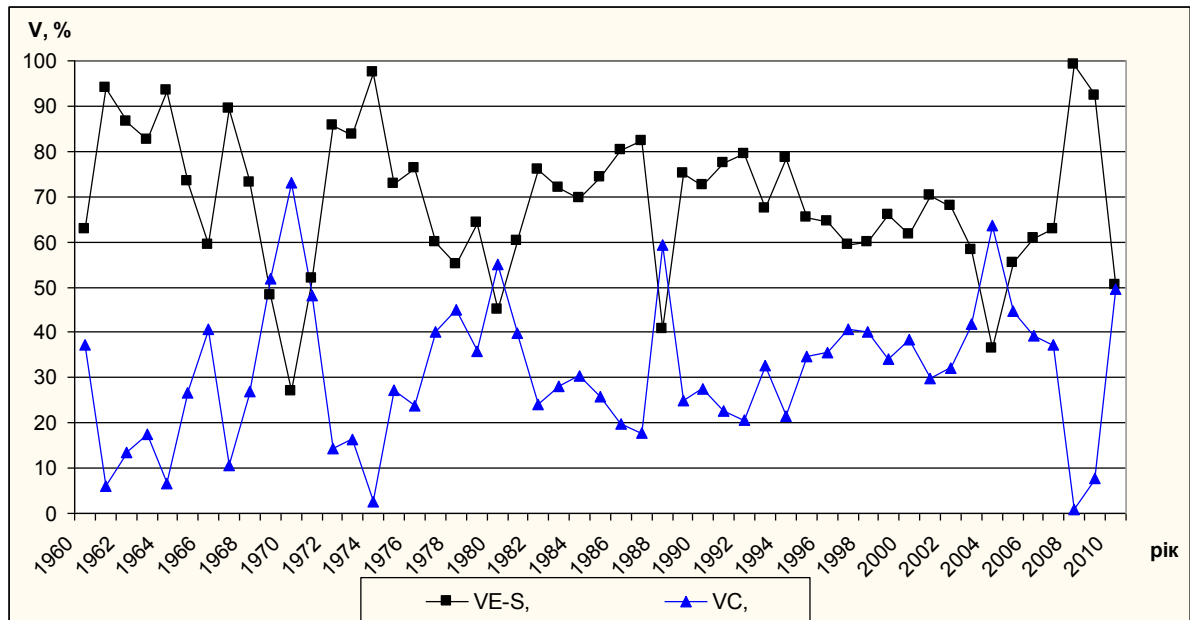


Рисунок 2.16 – Багаторічний хід складових витратної частини водного балансу Хаджибейського лиману (у %)

Прихідну частину водних балансів, як видно з рис. 2.13 та 2.14, у найбільшій мірі визначають опади на водну поверхню водойми (від 30 до 60%). Найвищі значення надходження води за рахунок атмосферних опадів спостерігались у 1963 та 1969 рр. та склали 149 і 118 млн. м³, відповідно. Це пов'язано з тим, що до величин V_p у лютому-березні 1963 і 1969 рр. додані об'єми надходження опадів, які випали за зимовий період на промерзлий ґрунт водозбора лиману [7, 25 й ін.], під час танення снігу. В ці періоди витрати води рр. М. Куяльник та Свинна, які впадають у верхів'я Хаджибейського лиману, сягали 110-200 м³/с, а рівні води у водоймі за 15-30 діб підвищилися на 1,5-2 м.

Надходження води разом з річковим стоком рр. М. Куяльник і Свинна складає від 3 до 57 %. Об'єми надходження води разом зі скидами очисних вод СБО «Північна» складають до 70 % у маловодні роки, коли незначний прихід води за рахунок опадів.

У витратній частині більшості водних балансів Хаджибейського лиману за період 1960-2010 рр. (рис. 2.15 та 2.16) найбільший відсоток складає випаровування (до 100 %). Стік води з лиману до моря та ШРГВ складають у середньому 30 %. Найбільші об'єми та відсоток стоку води з лиману до моря спостерігались у 1969-1972 рр. – після введення в експлуатацію з'єднувального каналу «лиман-море» [6].

2.4 Сольовий режим Хаджибейського лиману

Рівняння сольового балансу Хаджибейського лиману у загальному вигляді можна представити як:

$$\Delta R = R_{ХЛ,i+1} - R_{ХЛ,i} = R_{P,i} + R_{r,i} + R_{СБО,i} - R_{C,i}, \quad (2.6)$$

де $R_{ХЛ,i}$ та $R_{ХЛ,i+1}$ – кількість солей в лимані, відповідно, на початку i -го та наступного $i+1$ -го року, тис. т;

$R_{P,i}$ – кількість солей, яка надійшла в лиман з атмосферними опадами в продовж i -го року, тис. т;

$R_{r,i}$ – кількість солей, яка надійшла в лиман з річковим стоком в продовж i -го року, тис. т;

$R_{СБО,i}$ – кількість солей, яка надійшла в лиман зі скидами СБО «Північна» в продовж i -го року, тис. т;

$R_{C,i}$ – кількість солей, яка винесена з лиману до моря та ШРГВ в продовж i -го року, тис. т.

Прихідну частину сольового балансу лиману $R_{прих,i}$ складають: $R_{P,i}$, $R_{r,i}$ та $R_{СБО,i}$, а витратну $R_{випр,i}$ – тільки $R_{C,i}$.

Обчислення середньорічної кількості солей в лимані $R_{ХЛ,1960}$ на початок розрахункового періоду (1960 р.) виконувалося за рівнянням:

$$R_{ХЛ,1960} = V_{ХЛ,1960} \cdot S_{ХЛ,1960}, \quad (2.7)$$

де $R_{ХЛ,1960}$ – середньорічна кількість солей в лимані в 1960 р., 14,2 млн. т;

$V_{ХЛ,1960}$ – середньорічний об'єм води в лимані в 1960 р., 462,2 млн. м³;

$S_{ХЛ,1960}$ – середньорічна солоність води в лимані в 1960 р., 34,0 ‰ [7].

Для наступних років розрахункового періоду середньорічна кількість солей в лимані $R_{ХЛ,i+1}$ визначалась за рівнянням:

$$R_{ХЛ,i+1} = R_{ХЛ,i} + R_{P,i} + R_{r,i} + R_{СБО,i} - R_{C,i}. \quad (2.8)$$

Кількість солей, яка надійшла в лиман з атмосферними опадами $R_{P,i}$, в продовж i -го року, визначалась за рівнянням:

$$R_{P,i} = V_{P,i} \cdot \bar{S}_p, \quad (2.9)$$

де $V_{P,i}$ – об'єм атмосферних опадів, які випали на водне дзеркало лиману в продовж i -го року, млн. м³;

\bar{S}_p – середня багаторічна солоність (мінералізація) води атмосферних опадів, за даними м/ст. Одеса – ГМО, 0,035 ‰ [26].

Кількість солей, яка надійшла в лиман з річковим стоком $R_{r,i}$, в продовж i -го року, визначалась за рівнянням:

$$R_{r,i} = V_{r,i} \cdot \bar{S}_r, \quad (2.10)$$

де $V_{r,i}$ – об'єм річкових вод, які надійшли до лиману в продовж i -го року, млн. м³;

\bar{S}_r – середня багаторічна солоність (мінералізація) річкових вод в гирлах рр. М. Куяльник та Свинна, за даними паспортів цих річок, 1,966 ‰ [10, 11].

Кількість солей, яка надійшла в лиман зі скидами СБО «Північна» $R_{СБО,i}$, в продовж i -го року, визначалась за рівнянням:

$$R_{СБО,i} = V_{СБО,i} \cdot \bar{S}_{СБО}, \quad (2.11)$$

де $V_{СБО,i}$ – об'єм скидних вод СБО «Північна», які надійшли до лиману в продовж i -го року, млн. м³;

$\bar{S}_{СБО}$ – середня багаторічна солоність (мінералізація) скидних вод СБО «Північна», за даними вимірювань ОДЕКУ, 1,000 ‰.

Для визначення кількості солей, яка винесена з лиману до моря та ШРГВ $R_{C,i}$ в продовж i -го року, використовувалося емпіричне рівняння:

$$R_{C,i} = V_{C,i} \cdot \left(\frac{3}{4} S_{ХЛ,i} + \frac{1}{2} \bar{S}_{СБО} \right), \quad (2.12)$$

де $V_{C,i}$ – об'єм води, яка скинутої води з лиману до моря та ШРГВ, в продовж i -го року, млн. м³.

Середньорічна солоність води в лимані $S_{ХЛ,i}$, ‰, визначалась за рівнянням:

$$S_{ХЛ,i} = R_{ХЛ,i} / V_{ХЛ,i}. \quad (2.13)$$

Результати обчислення сольових балансів Хаджибейського лиману у вигляді багаторічного ходу середньорічних рівнів H_i , м БС та солоності води $S_{ХЛ,i}$, ‰ за період з 1960 по 2010 рр. наведені на рис. 2.17.

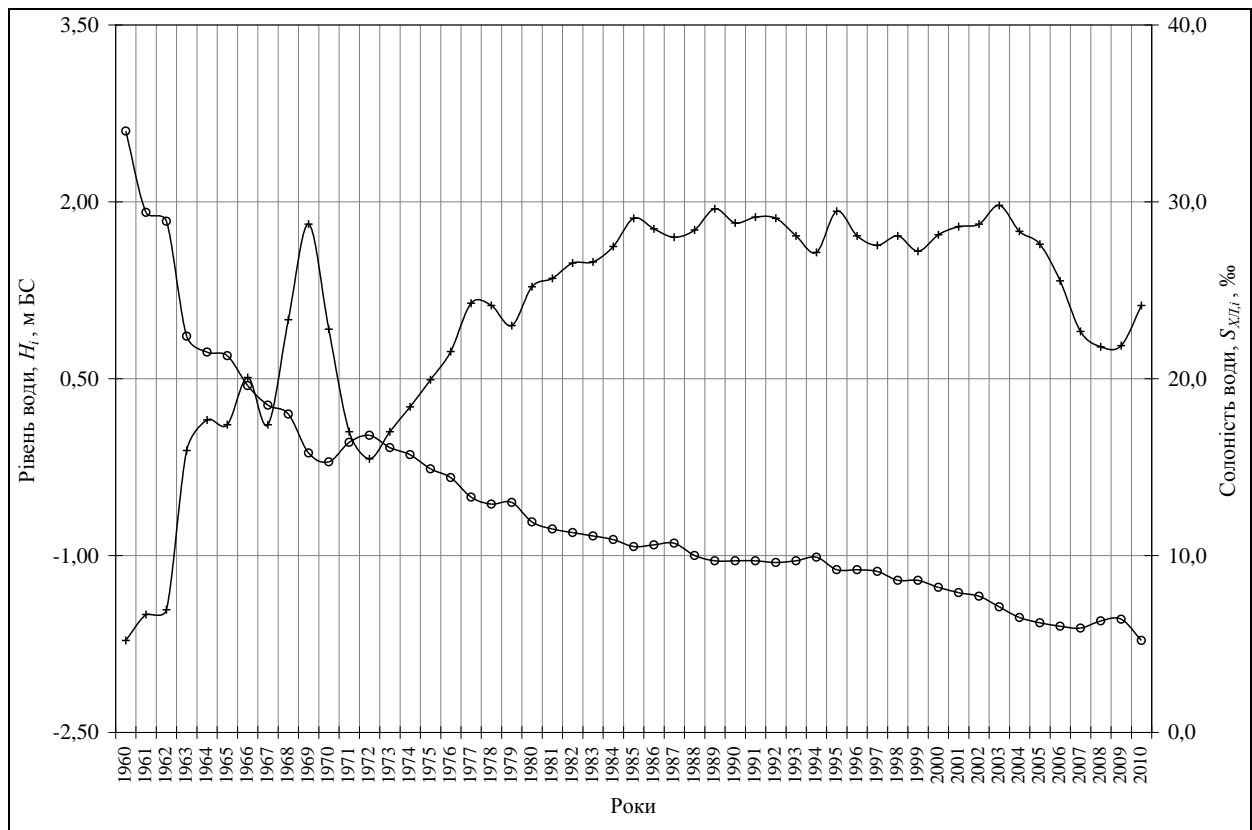


Рисунок 2.17 – Багаторічний хід середньорічних рівнів та солоності води Хаджибейського лиману за період з 1960 по 2010 рр.:

—+ H_i , м БС; —⊗ $S_{ХЛ,i}$, ‰

Для перевірки достовірності обчислення річних сольових балансів Хаджибейського лиману за період з 1960 по 2010 рр. була побудована залежність між розрахованими ($S_{розр}$, ‰) та фактичними ($S_{факт}$, ‰) значеннями солоності води в лимані (рис. 2.18).

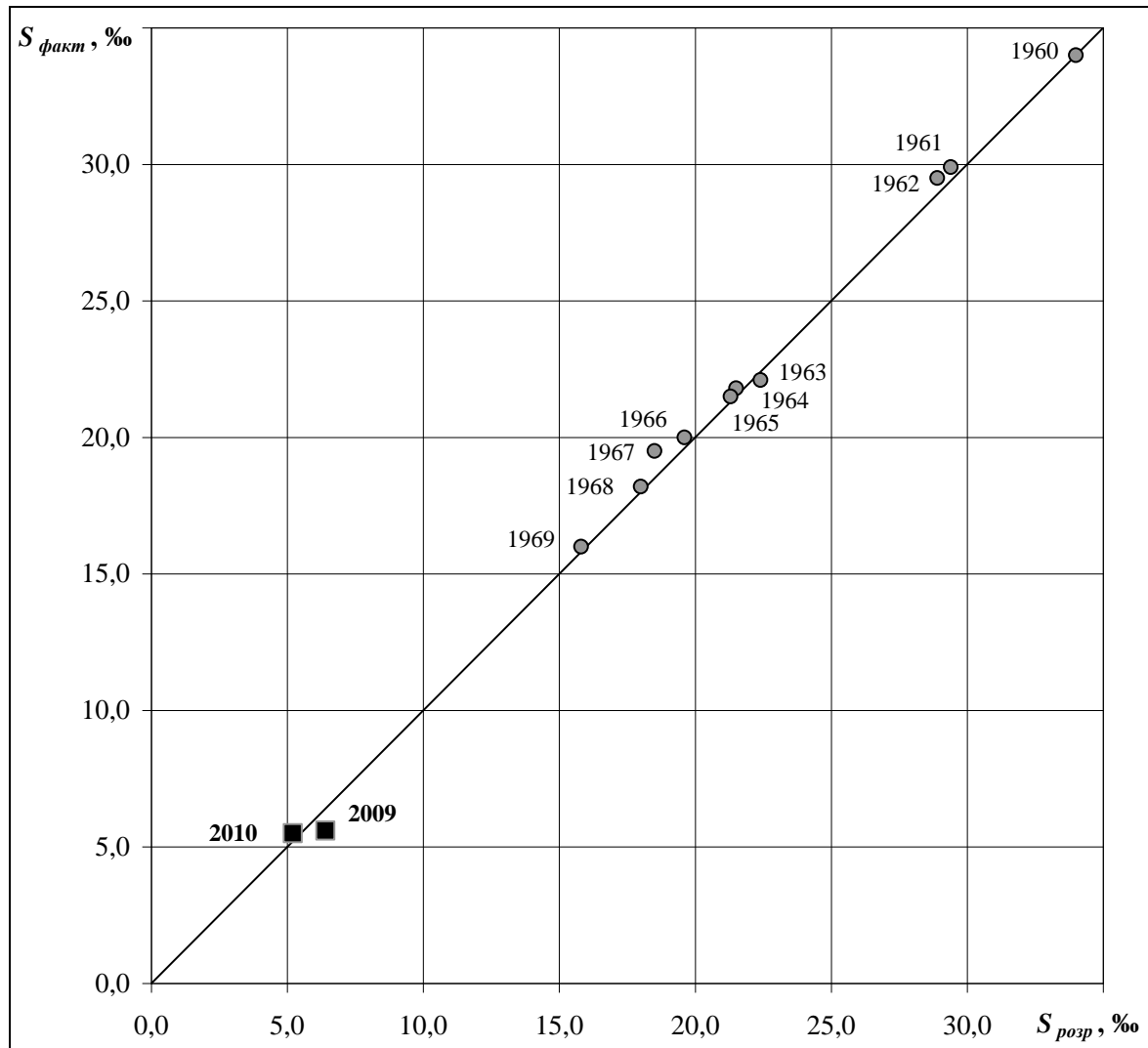


Рисунок 2.18 – Залежність між розрахованими ($S_{розр}$, ‰) та фактичними ($S_{факт}$, ‰) значеннями солоності води Хаджибейського лиману:

1960-1969 рр. – за даними М.Ш. Розенгурта [7];

2009-2010 рр. – за даними ОДЕКУ [6, 40, 16]

З рис. 2.18 видно, що розраховані та фактичні величини солоності води знаходяться на лінії рівних значень, що свідчить про високу точність розрахунку водних і сольових балансів.

3 СЦЕНАРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНОГО РЕЖИМУ ХАДЖИБЕЙСЬКОГО ЛИМАНУ ЗА РІЗНИХ УМОВ ЙОГО ІСНУВАННЯ

На сьогодні гідроекологічний стан Хаджибейського лиману головним чином обумовлений водним режимом водойми, який формується як природними, так і антропогенними чинниками. Тому для забезпечення задовільного гідрологічного та гідрохімічного стану Хаджибейського лиману шляхом управління його водним режимом розглянуто декілька сценаріїв функціонування водойми та оцінено можливість наповнення (переповнення) лиману у весняний період року.

3.1 Довгострокове прогнозування припливу поверхневих вод до лиману у весняний період року та ріннявий режим водойми

Приплив поверхневих вод до Хаджибейського лиману у весняний період року головним чином обумовлений гідрологічним режимом річок, які живлять водойму – М. Куяльник (площа водозбору F становить 1540 км^2) та Свинна ($F = 871 \text{ км}^2$), і тимчасових водотоків, що впадають в лиман [3]. Найбільш багатоводна фаза водного режиму рр. М. Куяльник та Свинна спостерігається у період весняного водопілля.

Крім природних чинників на водний режим водойми впливають антропогенні фактори, які пов'язані з господарською діяльністю як в басейні лиману, так і акваторії водойми (див. розділ 1, пп. 1.6). Найбільш значущим з антропогенних чинників є інтенсивне скидання в лиман вод СБО «Північна», що призвело до суттєвого підвищення рівнів води в ньому, особливо у катастрофічні за водністю роки, зокрема, як це було весною у 1963, 1969, 2003 та 2006 рр. В зв'язку з цим актуальною є проблема розрахунків і прогнозів гідрологічних характеристик весняного водопілля Хаджибейського лиману у зв'язку з необхідністю регулювання водного режиму водойми.

3.1.1 Оцінка рівневого режиму лиману

Особливістю рівневого режиму Хаджибейського лиману є циклічність у часовому ході рівнів води у ньому, пов'язаних з замкненістю водойми при періодичному надходженні річкових вод, невеликій кількості атмосферних опадів і високій випаровуваності [2, 4].

Ще століття тому рівні води в ньому знаходилися на відмітці на 3,81 м нижче рівня моря (статичний рівень моря мінус 0,38 м БС), тобто лиман був у стані висихання. Пізніше у зв'язку зі скидами трансформованих стічних вод з полів зрошення рівні води в лимані зросли до небезпечних позначок (близько 2,21 м БС), а потім були знижені при побудові (у 1942 р.) та реконструкції (у 1969 р.) з'єднувального (скидного) каналу «лиман-море», який відновив гідравлічний зв'язок лиману з морем [6].

У роботі досліджено багаторічний хід рівнів води Хаджибейського лиману за період з 1960 р. і по теперішній час. На рис. 3.1 представлений сумісний хронологічний графік середніх за місяці та рік рівнів води в лимані.

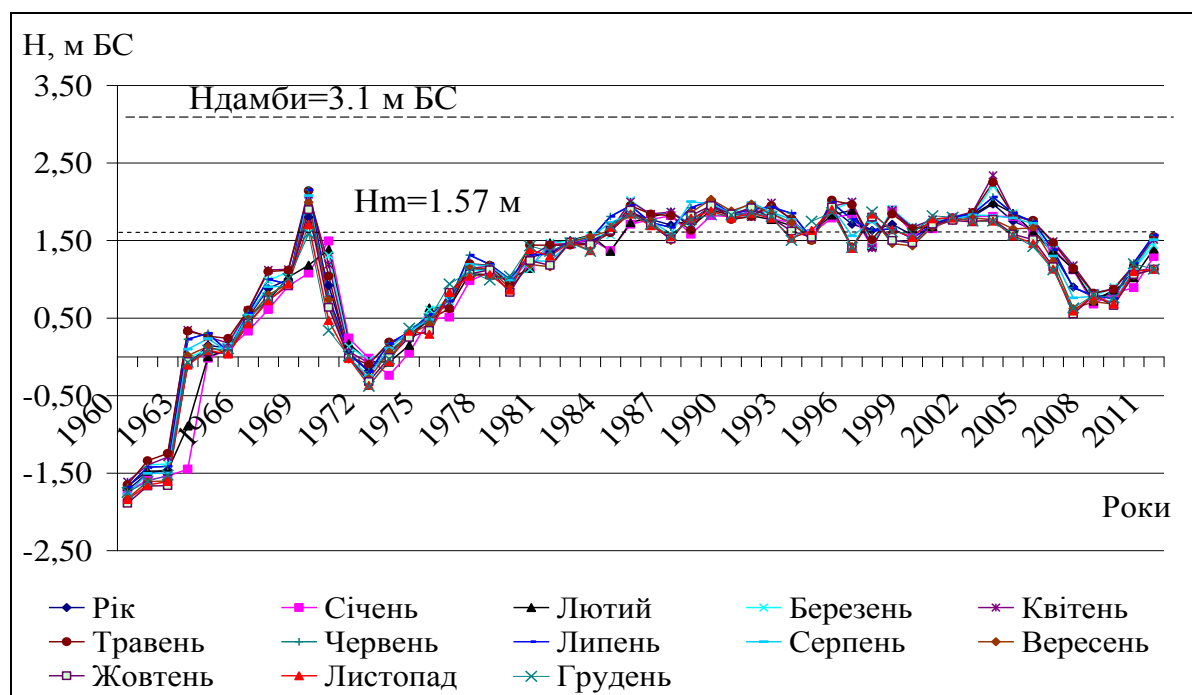


Рисунок 3.1 – Хронологічний хід середніх за рік та місяці року рівнів води, лим. Хаджибейський – с. Усатове, 1960-2011 рр. (період весняного водопілля)

Так, при незначному їх коливанні для різних місяців і року, з початку 1963 р. рівень води досягнув позначки 0,41 м БС, а до 1969 р. – підвищився до критичних відміток (2,21 м БС). При цьому створилася загроза руйнування дамби, яка відокремлювала лиман від пересипу та Чорного моря. У зв'язку з цим, в 1969 р. за інженерним проектом спеціалістів одеського філіалу «УкрПівденДІПроводГосп» введений в експлуатацію гідротехнічний вузол для скидання води з лиману в море, потужністю близько $7,0 \text{ м}^3/\text{с}$, з напірним трубопроводом і водовипуском до моря. Це дозволило знизити рівень води в лимані в період до 1972 р. на 2 м, тобто до відмітки мінус 0,40 м БС.

За підтримки нормального рівневого режиму в лимані був обмежений максимальний рівень води в ньому на відмітці близько 1,57 м БС, а для безпечного функціонування автомобільного шляху, прокладеного по дамбі, відповідно до будівельних норм при вітро-хвильових процесах призначена відмітка гребеня на рівні 3,10 м БС [6].

Після 1973 р. рівень води в ньому знов доволі інтенсивно почав зростати і утримувався на високих позначках (1,57-1,94 м БС) протягом майже двадцяти років експлуатації водосховища, досягаючи й небезпечних відміток – до 2,02-2,09 м БС і, навіть, до плюс 2,38 м БС (у період високого весняного водопілля 2003 р.). На фоні маловодності останніх років рівні води в лимані утримуються на позначках в середньому 0,60-1,50 м БС. Незважаючи на це, загроза критичного підвищення рівнів води в Хаджибейському лимані при виникненні високих весняних водопіль або дощових паводків існує, а ситуація може бути небезпечною. Щоб оцінити важливість проблеми, в роботі [27] обґрунтована розрахункова схема визначення можливих значень відміток води в Хаджибейському лимані за умови проходження водопіль і паводків рідкісної ймовірності настання в багаторічному періоді (наприклад, при $P = 1\%$).

На рис. 3.2 показаний багаторічний хід максимальних за місяці та рік H_m і розрахункових максимальних рівнів води весняного водопілля $H_{1\%}$.

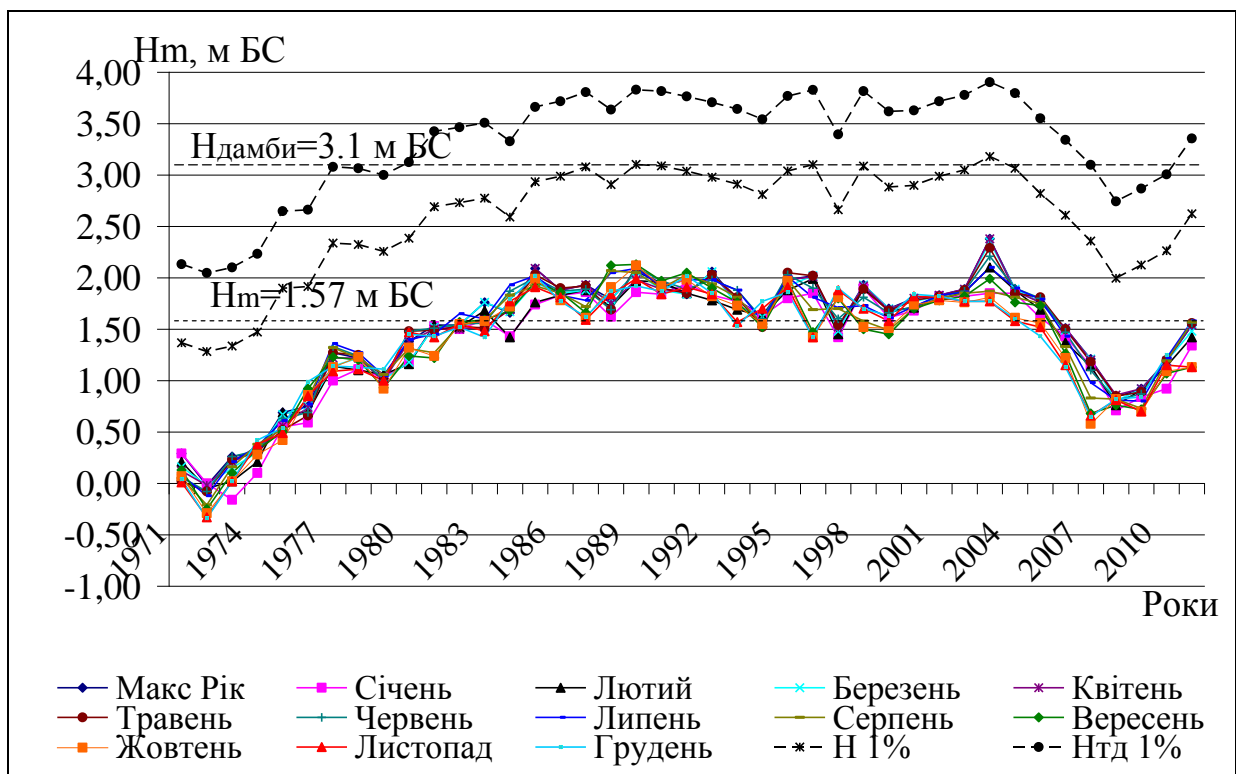


Рисунок 3.2 – Сумісний багаторічний хід максимальних за місяці та рік (H_m) Хаджибейського лиману і розрахункових максимальних рівнів води весняного водопілля та дощового паводку забезпеченістю $P = 1\%$

Так, за призначеною проектною відміткою дамби Хаджибейського лиману (3,01 м БС) в деякі роки (1987, 1990, 1996, 1998, 2004 рр.) при проходженні весняного водопілля виняткової (1%-ї ймовірності перевищення), рівні води у лимані досягали б критичних відміток дамби, а у 2003 р. – перевищили б їх ($H_{1\%} = 3,18$ м БС).

За виникнення катастрофічної ситуації, коли в лимані в період проходження високих рівнів води весняного водопілля ($H_{1\%}$) в квітні-травні могли б пройти ще й дощі тієї ж ймовірності перевищення $P = 1\%$, розрахункові рівні води у ньому $H_{\text{гд}1\%}$ досягли б ще більш небезпечних позначок – 3,80-3,90 м БС, причому майже впродовж усього двадцятирічного періоду. В такі роки критичне підвищення рівнів води в лимані може бути небезпечним і призвести до переливу води, руйнування дамби і затоплення автомобільної дороги та житлової території.

3.1.2 Методика та результати довгострокового прогнозу поверхневого припливу весняних вод до лиману у 2010 році

Для ефективного регулювання водного режиму Хаджибейського лиману запропонована методика прогнозу наповнення водойми у весняний період року на базі довгострокового прогнозу об'ємів стоку весняного водопілля на річках його водозбірного басейну [28, 29]. Ця методика дозволяє для весняного періоду року на основі довгострокового прогнозу визначити шар стоку весняного водопілля в басейні лиману та оцінити можливе підвищення рівнів води у водоймі.

За обмеженості рядів гідрологічних спостережень в басейнах лиманів, як і майже в межах всієї території Причорномор'я, обґрунтування наукового методу територіального довгострокового прогнозування шарів стоку весняного водопілля в регіоні ведеться на основі відновлення полів як гідрометеорологічних факторів весняного водопілля, так і представлення прогнозних величин та їх забезпеченості [30].

Слід зауважити, що для цього були залучені матеріали спостережень по інших річках Північно-Західного Причорномор'я за багаторічний період (1960-2000 рр.) [6].

Методика прогнозу поверхневого припливу весняних вод до лиманів базується на встановленні для опорних гідрологічних створів (що мають часові ряди стокових спостережень) регіональних залежностей шарів весняного стоку від сумарних запасів вологи на водозборах (виражених у модульних коефіцієнтах) у вигляді

$$\frac{Y_m}{Y_0} = \frac{(S_m + X_1 + X_2)}{(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0})}, \quad (3.1)$$

де Y_m і Y_0 – шар стоку весняного водопілля та його середньобаторічна величина, мм;

S_m і S_0 – середні на водозборі максимальні снігозапаси та їх середньобаторічна величина, мм;

X_1 і X_{1_0} – дощові опади періоду весняного сніготанення та їх середньобаторічна величина;

X_2 і X_{2_0} – дощові опади періоду спаду водопілля та їх середньобаторічна величина.

Рівняння для розрахунку максимальних запасів води в сніговому покриві має наступний вигляд [6 та ін.]

$$S_m + X_1 + X_2 = S_m + X'_1 + X'_2. \quad (3.2)$$

Для отримання середніх на водозборі максимальних снігозапасів S_m були залучені дані їх вимірів на метеостанціях та гідрологічних постах ГМЦ ЧАМ ДГМС МНС України.

Визначення середньобаторічних величин максимальних снігозапасів S_0 може здійснюватися по картосхемі їх зміни по території, яка представлена для території півдня України (рис. 3.3).

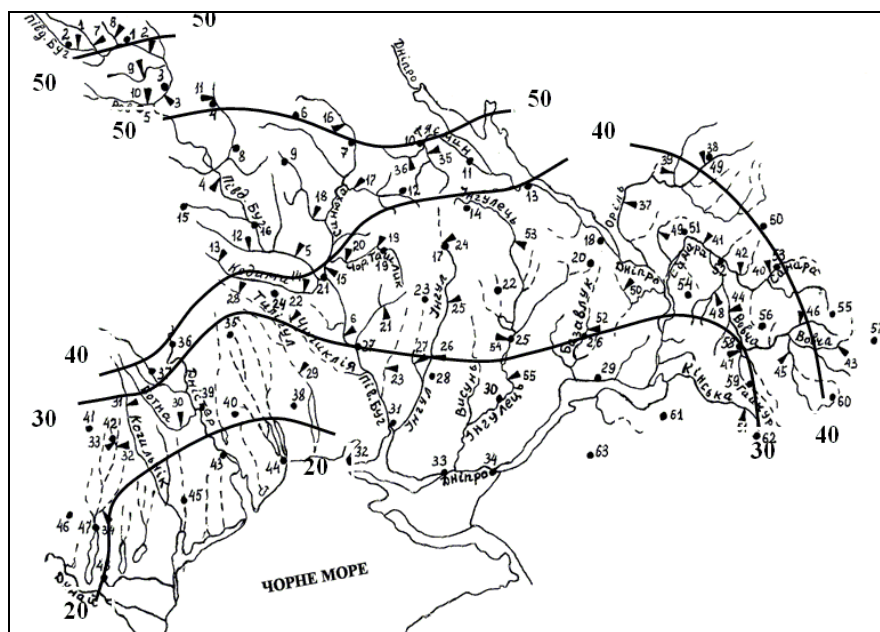


Рисунок 3.3 – Розподіл по території середніх багаторічних запасів води в сніговому покриві, мм [6]

Значення опадів (X_1 та X_2) на період завчасності прогнозу можуть бути оцінені за нормою або, орієнтуючись на метеорологічний прогноз, як опади вище норми, біля або нижче норми [6 та ін.].

Регіональні залежності (3.1) дають можливість прогнозу модульних коефіцієнтів шарів стоку водопілля в басейні Хаджибейського лиману

$$k_Y = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X^2 + b_3 k_X^3, \quad (3.3)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти поліному, які визначаються за [6 та ін.];

k_X – середньобогаторічні величини максимальних запасів води в сніговому покриві, які накопичилися на басейні до початку весняного сніготанення і весняні опади

$$k_X = \frac{S_m + X_1 + X_2}{S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}}. \quad (3.4)$$

Прогнозні значення очікуваних величин шарів стоку весняного водопілля Y_m встановлюються за співвідношенням

$$Y_m = k_Y \cdot Y_0, \quad (3.5)$$

де Y_0 – середньобогаторічна величина шару весняного стоку, мм, яка визначається для басейну Хаджибейського лиману за визначеним для Причорноморського регіону рівнянням в залежності від географічного положення водозборів [6 та ін.]

$$Y_0 = 5,62 \cdot (\varphi^\circ - 50) + 28,2. \quad (3.6)$$

Вплив місцевих факторів (залісеності та заболоченості водозборів) на середньобогаторічні величини шарів стоку весняного водопілля у межах Причорноморської низовини слабо відчутний.

Забезпеченість прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля лиману встановлювався за кривою трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького та М.Ф. Менкеля, при $C_s/C_v = 2,5$ [23].

Запропонована методика довгострокового прогнозування шарів стоку і характерних дат проходження весняного водопілля апробована для багатосніжної весни 2010 р.

Схема складання прогнозів шарів весняного стоку та встановлення ймовірності їх настання наведена в роботі [28].

Гідрометеорологічні величини для багатосніжного 2010 р. визначалися відповідно до рекомендацій по їх розрахунку при обмеженості даних спостережень у регіоні [30].

Для басейну Хаджибейського лиману морфометричні характеристики, які використовуються в прогнозній схемі включають:

- а) площу водозбору лиману – $F = 2700 \text{ км}^2$;
- б) криву об'ємів води лиману $W = f(H)$ за 2009 р. (рис. 1.18);
- в) криву площ водної поверхні лиману $F_{\partial z} = f(H)$ (рис. 1.17);
- г) відмітку нуля графіка водомірного поста – мінус 2,87 м БС;
- д) географічну широту геометричного центру водозбору лиману – φ° , яка дорівнює $46^\circ 40'$ півн. ш. або $46,67^\circ$ – в частках градуса широти.

Через відсутність багаторічних рядів спостережень в басейні лиману середньобагаторічні гідрометеорологічні характеристики і фактори весняного водопілля в своїй більшості підлягають відновленню, яке виконане за рекомендаціями та регіональними формулами [28]. Значення цих характеристик наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Середньобагаторічні характеристики весняного водопілля в басейні Хаджибейського лиману

S_0 , мм	X_{1_0} , мм	X_{2_0} , мм	X_0 , мм	L_0 , см	$(Q_{не})_0$, $\text{м}^3/\text{с}$ (в січні)	Y_0 , мм	$(C_v)Y$	$\delta_{дон}$, мм
23	21	15	59	54	3.51	11	1.35	12

Середньобагаторічні величини максимальних запасів води в сніговому покриві S_0 – встановлюються за картосхемою їх розподілу по території для геометричних центрів водозборів (див. рис. 3.3).

Розрахунок середньобагаторічних сумарних запасів вологи на басейні X_0 , що приймають участь у формуванні весняного водопілля ведеться за рівнянням

$$X_0 = S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}, \quad (3.7)$$

В рівнянні (3.7) значення X_{1_0} та X_{2_0} приймаються за [33].

Середньобагаторічні величини глибин промерзання ґрунтів на водозборах L_0 за відсутності даних вимірів отримуються по їх залежностях від географічної широти φ° (в частках $^\circ$)

$$L_0 = 65,6 + 3,56 \cdot (\varphi^\circ - 50). \quad (3.8)$$

Середньобагаторічні величини середньомісячних витрат води перед весняним водопіллям для річок, по яких не ведуться спостереження за стоком, встановлюються за їх залежністю від площ водозборів річок F , що мають тривалі часові ряди стокових спостережень в межах південної частини України.

Такі регіональні рівняння, наприклад, для січня та лютого отримані при коефіцієнтах кореляції 0,89 та 0,96, відповідно:

$$(Q_{01})_0 = 0,0013 \cdot F \quad (3.9)$$

та

$$(Q_{02})_0 = 0,0021 \cdot F. \quad (3.10)$$

Середньобагаторічний шар стоку весняного водопілля Y_0 за відсутності гідрологічних спостережень на річках, що живлять Хаджибейський лиман, визначаються за формулою

$$Y_0 = 33,0 \cdot \exp[0,32 \cdot (\varphi^\circ - 50)]. \quad (3.11)$$

Допустима похибка прогнозів шарів весняного стоку по річках, на яких стокові спостереження не відбуваються, отримується по залежності $\delta_{дон}$, мм від широти геометричних центрів водозборів φ° (в частках $^\circ$)

$$\delta_{дон} = 1,95 \cdot (\varphi^\circ - 50) + 18. \quad (3.12)$$

Збір оперативної гідрометеорологічної інформації і отримання факторів весняного водопілля 2009-2010 р. виконувався у наступній послідовності.

Використані дані снігомірних зйомок на метеорологічних станціях і постах, які розташовані у межах або поблизу басейну лиману (Затиштя, Сербка і Роздільна). Можливий варіант у вигляді картосхем розподілу по території запасів води в сніговому покриві, які складаються у ГМЦ України.

Зимом 2010 р. максимальні запаси води в сніговому покриві накопичилися на дату 10 лютого (при середньому значенні в басейні 31 мм). Але на фоні танення цього снігу в першій декаді березня випало ще 19 мм твердих опадів. Тому в прогнозній схемі шарів весняного стоку прийнято, що $S_m = 50$ мм. Середня на водозборі глибина промерзання ґрунтів, за даними по тих же самих метеостанцій наприкінці зими (на 20 лютого) 2010 р., складала 20 см.

При прогнозуванні шарів стоку весняного водопілля розрахунок гідрометеорологічних факторів весняного водопілля (при обмеженості даних спостережень) виконувався відповідно до рекомендацій [30].

Прогнозна величина шару стоку тало-дощових вод у 2010 р. дорівнює 15 мм, при ймовірності його настання у багаторічному періоді – 20-25 %.

Розрахунок припливу тало-дощових вод до лиману здійснювався по прогнозних величинах шарів стоку у період весняного водопілля 2009-2010 рр., які були перераховані в об'єми води (W , млн. м³) за кривою об'ємів Хаджибейського лиману (рис. 1.18), станом на 2009 р. [6, 40], а потім й в рівні води в лимані.

При визначенні сумарного надходження весняних вод до лиману, враховуючи прогнозний шар припливу тало-дощових вод з його басейну, припускалося, що опади на дзеркало водойми компенсуються випаровуванням з її водної поверхні під час весняного водопілля.

Результати прогнозів припливу поверхневих вод до Хаджибейського лиману в період весняного водопілля 2009-2010 рр., а також спостережені величини представлені в табл. 3.2 та на діаграмі (рис. 3.4).

З рис. 3.4 можна бачити, що у період весняного водопілля 2009-2010 рр. для Хаджибейського лиману очікуваний об'єм припливу весняних вод становив 40 млн. м³, при спостереженому – 36 млн. м³.

Таблиця 3.2 – Результати прогнозу припливу тало-дощових вод до Хаджибейського лиману визначення очікуваного максимального рівня води весняного водопілля 2009-2010 рр.

Величина	Прогнозна	Спостережена
Початковий рівень води у водоймі $H_{поч}$ на ДВП 10.02.2010 р.	–	384 см над «0» в/п (0,97 м БС)
Початковий об'єм води у водоймі $W_{поч}$ на ДВП 10.02.2010 р.	–	500 млн. м ³ (за рис. 3.4)
Зміна об'єму води у водоймі ΔW за період весняного водопілля	40 млн. м ³	36 млн. м ³
Об'єм води у водоймі W за період весняного водопілля	540 млн. м ³	536 млн. м ³
Прогнозний максимальний рівень води у водоймі H_m (за рис. 3.5)	407 см над «0» в/п (1,20 м БС)	406 см над «0» в/п (1,19 м БС)
Зміна рівня води у водоймі ΔH від початкового до максимального за весняне водопілля	23 см (0,23 м)	22 см (0,22 м)

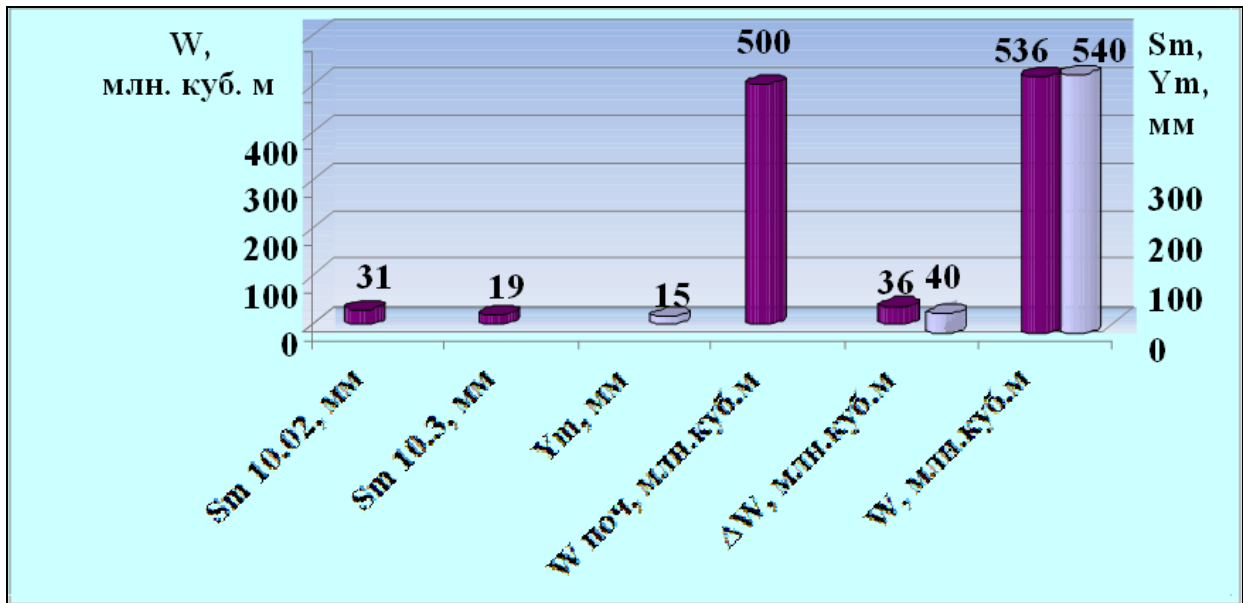


Рисунок 3.4 – Приплив поверхневих вод у весняний період 2010 р. до Хаджибейського лиману, млн. м³:

S_m 10.2; S_m 10.03 – величини максимальних снігозапасів на дати їх накопичення і відповідно дату випуску прогнозу (ДВП) шарів стоку;

Y_m – прогнозна величина шару стоку весняного водопілля 2009-2010 рр.;

$W_{поч}$ – початковий об'єм води у водоймі на ДВП (10.02.2010р.);

ΔW – зміна об'єму води у водоймі за весняне водопілля;

W – величина об'єму води у водоймі водопілля за весняне водопілля;

■ – фактичні величини;

□ – прогнозні величини

На основі прогнозних об'ємів стоку весняного водопілля 2009-2010 рр. визначені й очікувані максимальні рівні води в Хаджибейському лимані, які становили 1,20 м БС, тобто були нижчими за обмежені проектні максимальні рівні при ймовірності їх настання $P = 20-25\%$ (рис. 3.5).

При проходженні небезпечно-високих весняних водопілля в басейні Хаджибейського лиману частина води може скидатися по каналу «лимани-море» і за допомогою насосної станції, загальною потужністю 7 м³/с [6].

Порядок розрахунків зниження рівнів води у Хаджибейському лимані при роботі насосної станції з урахуванням прогнозних величин шарів стоку у період весняного водопілля 2010 р. наведений нижче.

За передпаводковим рівнем води у лимані (прийнятий рівень води у лимані на дату випуску прогнозу 10 лютого (H_{II}) за даними в/п с. Усатове) за кривою площ водної поверхні лиману $F_{дз} = f(H)$, станом на 2009 р. (рис. 1.17), визначається площа водного дзеркала лиману: для 2010 р. при $H_{II} = 384$ см (0,97 м БС) отримаємо $F_{дз} = 110$ км².

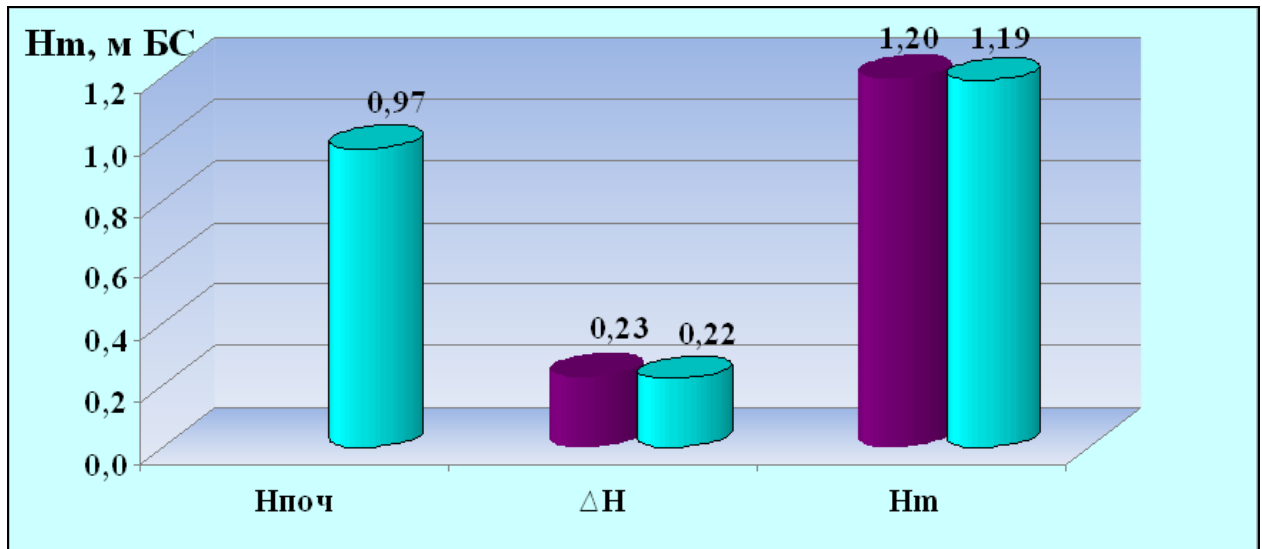


Рисунок 3.5 – Рівні води Хаджибейського лиману у весняний період 2010 р.
($H_{дамби} = 3,10$ м БС), м БС:

$H_{поч}$ – початковий рівень води у водоймі на ДВП (10.02.2010 р.);

ΔH – величина зміни рівня води у водоймі від початкового до максимального за весняне водопілля;

H_m – величина максимального рівня води у водоймі;

■ – фактичні величини;

□ – прогнозовані величини

Шар стоку, який може скидатися у весняний період року за допомогою насосів і по каналу «лиман-море» ($Y_{кан}$) може бути розрахований (для 2010 р.) як за добу, так і за місяць:

$$\text{а) за добу} \quad Y_{кан} = \frac{Q \cdot T}{F_{оз} \cdot 10^3} = \frac{7 \cdot 86,4}{110} = 5,5 \text{ мм} = 0,55 \text{ см}; \quad (3.13)$$

$$\text{б) за місяць} \quad Y_{кан} = \frac{Q \cdot T \cdot 30}{F_{оз} \cdot 10^3} = \frac{7 \cdot 86,4 \cdot 30}{110} = 165 \text{ мм} = 16,5 \text{ см}. \quad (3.14)$$

В (3.13) та (3.14) T – число секунд у добі, яке дорівнює 86400.

Таким чином, при скиданні води по каналу «лиман-море» на протязі всього періоду водопілля 2010 р. (наприклад, місяця) зниження рівня води може досягати 16,5 см. При цьому відмітки рівня води у лимані можна встановити за рівняннями:

– при H у см над «0» графіка водомірного поста в с. Усатове

$$H = H_{II} + \Delta H - Y_{кан} = 384 + 23,0 - 16,5 = 390 \text{ см}; \quad (3.15)$$

– при H у м БС

$$\begin{aligned} H &= [H_{II} + (-2,87)] + \Delta H - Y_{кан} = \\ &= [3,84 + (-2,87)] + 0,23 - 0,16 = 1,04 \text{ м БС}. \end{aligned} \quad (3.16)$$

В (3.15) та (3.16) H_{II} – початковий рівень води у водоймі на ДВП (10.02.2010 р.).

Отже, при роботі каналу «лиман-море» при скиданні води з лиману до моря протягом місяця рівні води у водоймі залишаться практично на їх позначках перед весняним водопіллям.

3.1.3 Прогноз строків початку весняного підйому і настання максимальних рівнів води в лимані у 2010 році

Не менш важливим завданням при оцінці наповнення водойм, а для Хаджибейського лиману і можливого переливу води через дамбу (в багатоводні весни), є прогноз строків початку розвитку весняного припливу тало-дощових вод до річкової мережі і настання максимальних рівнів води в лимані під час весняного періоду. З цією метою обґрунтована регіональна методика завчасного визначення цих дат на основі синоптичного прогнозу середньодекадних температур повітря, враховуючи географічне положення і площу басейну лиману. Основні положення методу прогнозу строків водопілля викладені в роботах [31-33].

При аналізі строків проходження весняного водопілля у Хаджибейському лимані встановлено, що початок водопіль спостерігається в різні дати після строків накопичення максимальних снігозапасів на водозборі. Це залежить в основному від температурних умов розвитку весни кожного року.

Строки проходження максимальних витрат води водопіль визначаються погодними умовами зимово-весняного сезону: щільністю снігового покриву, інтенсивністю та тривалістю сніготанення, кількістю та інтенсивністю опадів у цей період, а також розрізняються для різних за розмірами та географічним положенням водозборів.

Прогноз строків настання максимуму весняного водопілля у кожному році складається за даними метеорологічного прогнозу температури повітря, а завчасність прогнозів – за результатами розрахунку тривалості підйому водопілля [6 та ін.].

Результати прогнозування строків початку весняного водопілля в басейні Хаджибейського лиману у 2009-2010 рр. представлені в табл. 3.3, а прогнозу дат настання максимальних рівнів води у водоймі – в табл. 3.4.

Таблиця 3.3 – Прогноз дат початку весняного водопілля 2009-2010 р. в басейні Хаджибейського лиману

Дата складання прогнозу (ДСП), D_{S_m}	Температура повітря, $\theta_1, ^\circ\text{C}$	Очікувана тривалість водовіддачі снігу, $t'_{\epsilon}, \text{д}$ за (3.28)	Дата початку весняного водопілля за прогнозом D'_{ϵ} за (3.29)	Дата початку весняного водопілля за даними водомірних спостережень, D_{ϵ}	Забезпеченість $D'_{\epsilon}, P, \%$
10.02	-0,3	7	16.02	13.02	68

Таблиця 3.4 – Прогноз дат максимальних рівнів води весняного водопілля 2009-2010 рр. в басейні Хаджибейського лиману

Дата початку водопілля, D'_{ϵ}	Температура повітря, $\theta_2, ^\circ\text{C}$	Очікувана тривалість підйому водопілля, $t'_{n}, \text{д}$ за (3.31)	Дата максимального рівня води водопілля за прогнозом, D''_{Hm} за (3.33)	Дата максимального рівня води водопілля за даними водомірних спостережень, D_{Hm}	Забезпеченість $D''_{Hm}, P, \%$
16.02	-3,0	21	09.03	10.03	64

Визначення тривалості періоду основного надходження тало-дощових вод до Хаджибейського лиману в період весняного водопілля 2009-2010 рр. виконувалося як в період від дати початку весняного підйому рівнів води в лимані плюс середньобаторічна тривалість весняного водопілля, яка для басейну лиману в середньому складає близько 40 діб. Тобто розрахунковий період прийнятий з 16 лютого по 28 березня. Але у весняний період 2010 р. при поверненні морозів і затримки танення снігу цей період був дещо більшим.

3.2 Сценарне моделювання водних балансів лиману

В основу сценарного моделювання водного режиму Хаджибейського лиману на наступні роки покладені складові водних балансів, які визначені за період з 1982 по 2001 рр. (20 років).

3.2.1 Забезпеченість водності років при моделюванні водних балансів

Вибраний двадцятирічний період (з 1982 по 2001 рр.) включає майже у рівному ступені маловодні, середньоводні та багатоводні роки. Забезпеченість цих років визначена за допомогою кривої забезпеченості атмосферних опадів (див. розділ 2, рис. 2.3) та для модельних років наведена у табл. 3.9

Таблиця 3.9 – Забезпеченість років моделювання водних балансів

Модельні роки	Забезпеченість, P_m , %
1 (1982 р.)	76
2 (1983 р.)	93
3 (1984 р.)	25
4 (1985 р.)	38
5 (1986 р.)	50
6 (1987 р.)	70
7 (1988 р.)	3
8 (1989 р.)	82
9 (1990 р.)	28
10 (1991 р.)	72
11 (1992 р.)	81
12 (1993 р.)	66
13 (1994 р.)	42
14 (1995 р.)	16
15 (1996 р.)	52
16 (1997 р.)	3
17 (1998 р.)	29
18 (1999 р.)	16
19 (2000 р.)	7
20 (2001 р.)	26

За двадцятирічний період до групи маловодних років відносяться 1-2, 5-6, 8, 10-12 і 15 модельні роки, до середньоводних – 3-4, 9, 13, 17 і 20, до багатоводних – 7, 14, 16 і 18-19 модельні роки. Також при моделюванні враховувалось, що відсутні скиди води до лиману з СБО «Північна».

3.2.2 Оцінка пропускної здатності каналу «лиман-море»

Для оцінки можливостей регулювання водно-сольового режиму Хаджибейського лиману, з урахуванням з'єднувального каналу «лиман-море», була визначена його пропускна здатність при різних відмітках дна (1,00; 0,00; мінус 0,50; мінус 1,00 м БС) та інших гідравліко-морфометричних характеристиках. В розрахунках приймалося, що відмітка рівня води Одеської затоки Чорного моря приблизно дорівнює його середньобагаторічному значенню – мінус 0,40 м БС.

В зв'язку з тим, що стаціонарні спостереження за витратами води в каналі «лиман-море» не виконуються, то об'єми припливу-стоку води через цей з'єднувальний канал обчислювалися з використанням гідравлічної формули Шезі-Маннінга [34, 35, 36]:

$$Q = F \cdot V_{сер} = \frac{F}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}, \quad (3.34)$$

де F – площа водного перерізу каналу, м²;

R – гідравлічний радіус русла каналу (приблизно дорівнює середній глибині каналу $h_{сер}$), м;

I – п'єзометричний уклон водної поверхні в каналі (в частках від одиниці);

n – коефіцієнт шорсткості русла каналу [34, 35, 36].

Площа водного перерізу каналу F залежить від рівня води в лимані (морі), $H_{ХЛ,i}$, м БС, та визначається за рівнянням

$$F = B_{сер} \cdot h_{сер}, \quad (3.35)$$

де $B_{сер}$ – середня ширина каналу, м.

В розрахунках прийнято, що гідравлічний радіус русла каналу R приблизно дорівнює середній глибині каналу $h_{сер}$, яка головним чином залежить від рівня води в лимані, $H_{ХЛ,i}$, м БС, рівня води в морі, $H_{ЧМ,i}$ (мінус 0,40 м БС) та відмітки дна каналу, $H_{дно}$, м БС:

$$\text{а) при } H_{ХЛ,i} > H_{дно} > H_{ЧМ,i}, h_{сер} = H_{ХЛ,i} - H_{дно}, \quad (3.36)$$

$$\text{б) при } H_{ХЛ,i} \leq H_{дно} \geq H_{ЧМ,i}, h_{сер} = 0 \text{ м}, \quad (3.37)$$

$$\text{в) при } H_{ХЛ,i} < H_{дно} < H_{ЧМ,i}, h_{сер} = H_{ЧМ,i} - H_{дно}, \quad (3.38)$$

П'езометричний уклон водної поверхні в каналі l визначається за наступним рівнянням:

$$I = \frac{H_{ХЛ, i} - H_{ЧМ, i}}{l}, \quad (3.39)$$

де l – довжина русла каналу, м ($l \approx 4350$ м).

Коефіцієнт шорсткості русла каналу n , при вільному з'єднанні Хаджибейського лиману та Чорного моря, у відповідності до довідникової літератури з річкової гідравліки [34, 35, 36], приймався експертним шляхом:

а) при сучасному стані каналу – 0,160, тобто значення, яке приймається для русел і заплав з заростями вищих водяних рослин (наприклад, очерету), валунами та стволами дерев (у даному випадку – опори мостів, інші конструкції), місцями – з майже відсутнім рухом води;

б) при умові розчищення русла – 0,040, тобто значення, яке приймається для чистих русел тимчасових водотоків, русел і заплав частково зайнятих кущами, валунами або стволами дерев (у даному випадку – опори мостів, інші конструкції), з бурхливим рухом води.

Річний об'єм припливу-стоку води по каналу «лиман-море» визначався шляхом перемноження розрахованої витрати води (при заданих умовах) на кількість секунд в році.

Перевірка витрат води, обчислених за формулою Шезі-Маннінга (3.34), з фактичними, виконувалося за даними вимірювань ОДЕКУ від 7 жовтня 2011 р. За даними вимірювань поверхневими поплавцями, витрата води в каналі 07.10.2011 р. склала 0,13 м³/с (див. розділ 1, пп. 1.7), а обчислена – 0,14 м³/с. Різниця між виміряною та обчисленою витратами води становить 7,7 %, тобто знаходиться в межах точності вимірювання витрати води поверхневими поплавцями (10 %).

Криві залежності витрат води Q , м³/с, від середніх глибин $h_{сер}$, м, в каналі «лиман-море», при вільному з'єднанні Хаджибейського лиману та Чорного моря, за різних умов функціонування та гідравліко-морфометричних характеристиках (відміток дна каналу, рівнях води в лимані та морі, гідравлічному радіусі, шорсткості русла тощо) наведені на рис. 3.8.

3.2.3 Сценарії моделювання водного балансу лиману та аналіз результатів розрахунків

Для моделювання водних балансів Хаджибейського лиману було обрано п'ять сценаріїв, при цьому початковий рівень води у водоймі (для всіх сценаріїв) прийнятий 1,24 м БС – рівень води в лимані станом на 01.01.2011 р.

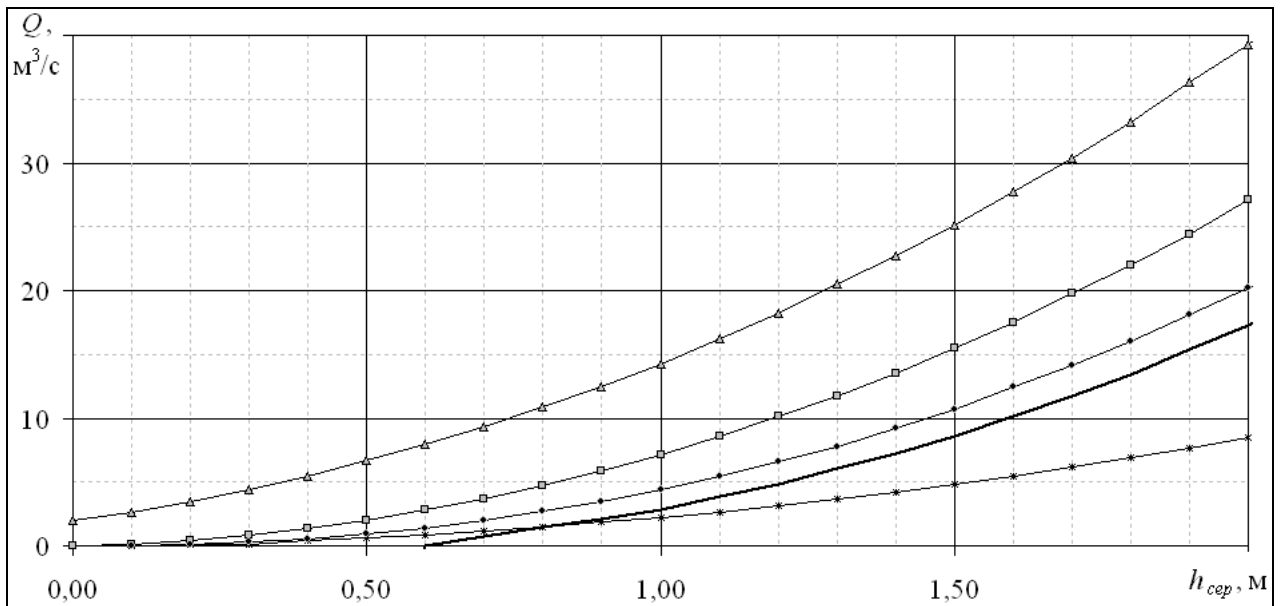


Рисунок 3.8 – Криві залежності витрат води Q , $\text{м}^3/\text{с}$ від середніх глибин $h_{\text{сеп}}$, м , в каналі «лиман-море» при вільному з'єднанні лиману та моря, різних умовах функціонування та гідравліко-морфометричних характеристиках (3.36)-(3.39):

- $\text{---}^* \text{---}$ $H_{\text{дно}} = 1,0$ м БС – сучасний стан; $\text{---}\square\text{---}$ $H_{\text{дно}} = 1,0$ м БС – розчищений;
 $\text{---}\triangle\text{---}$ $H_{\text{дно}} = 0$ м БС; $\text{---}\bullet\text{---}$ $H_{\text{дно}} = -0,5$ м БС; --- $H_{\text{дно}} = -1,0$ м БС;

Сценарій 1. Моделювання здійснювалось за умови водного режиму Хаджибейського лиману при відмітці дна з'єднувального каналу «лиман-море» $H_{\text{дно}} = 1,0$ м БС та сучасних гідравліко-морфометричних характеристиках (відносно наявності водної рослинності та замулення).

Сценарій 2. Моделювання здійснювалось за умови водного режиму Хаджибейського лиману при відмітці дна каналу $H_{\text{дно}} = 1,0$ м БС, але вже розчищеного від заростей вищих водяних рослин та мулу.

Сценарій 3. Моделювання здійснювалось за умови водного режиму Хаджибейського лиману при відмітці дна розчищеного каналу $H_{\text{дно}} = 0$ м БС.

Сценарій 4. Моделювання здійснювалось за умови водного режиму Хаджибейського лиману при відмітці дна розчищеного каналу $H_{\text{дно}} = -0,5$ м БС.

Сценарій 5. Моделювання здійснювалось за умови водного режиму Хаджибейського лиману при відмітці дна розчищеного каналу $H_{\text{дно}} = -1,0$ м БС.

Результати моделювання представлені у вигляді комплексного графіку часового ходу рівнів води (рис. 3.9).

Для кожного зі сценаріїв можна відмітити коливання рівня води протягом року, його підвищення у весняний період та зниження – у літній.

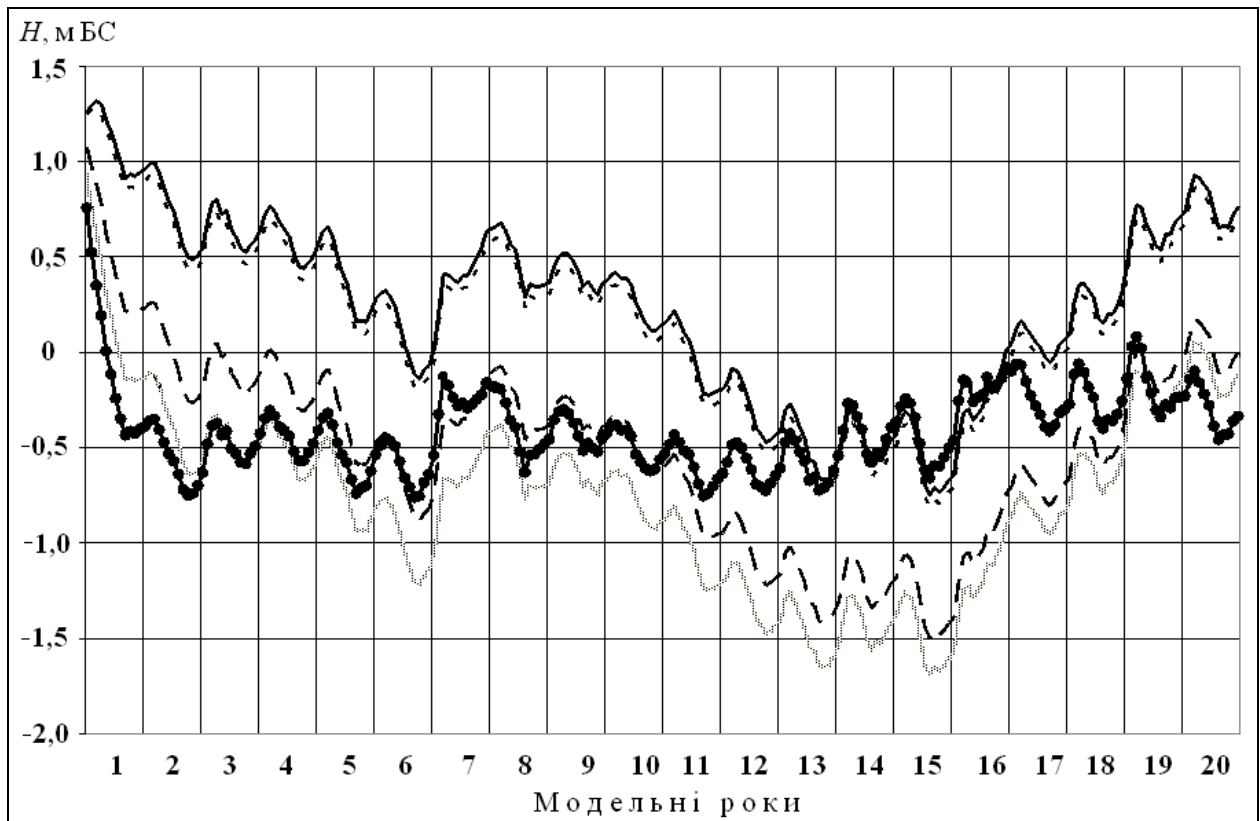


Рисунок 3.9 – Часовий хід середньомісячних рівнів води Хаджибейського лиману за різних умов функціонування водойми:

— $H_{дно} = 1,0$ м БС – сучасний стан; - - - $H_{дно} = 1,0$ м БС – розчищений;
 - - - $H_{дно} = 0$ м БС; $H_{дно} = -0,5$ м БС; —●— $H_{дно} = -1,0$ м БС

Як видно з рис. 3.9, за сценарієм 1 (крива $H_{дно} = 1,0$ м БС – сучасний стан), рівень води зменшується у перші шість модельних років з відмітки 1,25 до мінус 0,1 м БС. У наступні роки дещо підвищується та коливається з сьомого по десятий модельні роки біля відмітки 0,4 м БС. З восьмого по тринадцятий роки можна відмітити наявність від'ємного тренду, рівень води зменшується до мінус 0,6 м БС. Рівень води у 13-15 модельних роках коливається біля мінус 0,5 м БС в залежності від пори року. У наступні п'ять років спостерігається додатний тренд, рівень води підвищується до 0,9 м БС – у квітні двадцятого модельного року. При цьому скиди води з лиману до моря (при $H_{дно} = 1,0$ м БС) можливі лише у першій модельний рік.

За сценарієм 2 (крива $H_{дно} = 1,0$ м БС – розчищений) витрати води каналу дещо більші, але це мало впливає на змодельований хід рівнів води у Хаджибейському лимані. Відмінність рівнів води за сценаріями 1 і 2 складає усього 0,06 м.

За сценаріями 3 і 4 хід рівнів (криві $H_{\text{дно}} = 0$ м БС і $H_{\text{дно}} = -0,5$ м БС, відповідно) у модельні роки характеризується, як і за першими двома сценаріями, наявністю від'ємного тренду у перші шість років, при цьому рівень води зменшується до мінус 0,9 м БС (сценарій 3) і мінус 0,2 м БС (сценарій 4). Дещо підвищуються рівні води наприкінці шостого та у сьомому модельних роках (до мінус 0,2 м БС – за сценарієм 3, і до мінус 0,5 м БС – за сценарієм 4). Наступний період характеризується від'ємним трендом, рівні води за сценаріями 3 і 4 знижуються до мінус 1,41 та мінус 1,64 м БС, відповідно. До двадцятого року рівні води підвищуються і коливаються біля 0,0 м БС. Вплив каналу «лиман-море» на водний режим лиману у сценаріях 3 і 4 незначний через малі витрати води при цих відмітках рівнів води. Розрахункові об'єми надходження води з моря (при середньому рівні моря мінус 0,40 м БС) до лиману за сценарієм 4 не перевищують 0,2 млн. м³ за місяць і 2,4 млн. м³ на рік.

Результати моделювання за сценарієм 5 (крива $H_{\text{дно}} = -1,0$ м БС) свідчать про те, що завдяки надходженню води з моря до лиману (при низьких відмітках води у лимані) рівень води, як видно з рис. 3.9, коливається від мінус 0,7 м БС до 0,0 м БС в залежності від водності та пори року. Об'єми надходження морської води при цьому за розрахунками складають до 30 млн. м³ на рік. Об'єми стоку води з лиману до моря у перший модельний рік становлять 162,5 млн. м³, у наступні роки (за умови вищого рівня у лимані) не перевищують 30 млн. м³.

3.3 Моделювання водного режиму та прогнозування морфометричних характеристик лиману з урахуванням замулення водойми

Для моделювання водного режиму Хаджибейського лиману з урахуванням замулення розглядалися умови функціонування водойми за сценарієм 1 (див. пп. 3.2). При цьому прийнято, що ємність чаші лиману на початок 1 м. р. відповідає об'єму водойми у 2009 р., а щорічне замулення лиману становить в середньому 6,5 млн. м³ (див. розділ 1, пп. 1.8). Такі умови характерні для акумулятивних водойм (за класифікацією по водообміну) [37], у тому числі закритих (безстічних) лиманів, коли замулення водойми відбувається за рахунок як надходження наносів з річковим і балковим стоком, змиву зі схилів лиману під час зливових опадів і в період весняного сніготанення, інших джерел, так і за рахунок внутрішнього перерозподілу донних відкладів і завислих речовин, у тому числі органічного походження (наприклад, відмерлих гідробіонтів – фіто- та зоопланктону тощо).

Результати моделювання водного режиму лиману представлені у вигляді часового ходу рівнів води без урахування замулення водойми – сценарій 1, та з урахуванням замулення лиману – сценарій 1' (рис 3.10).

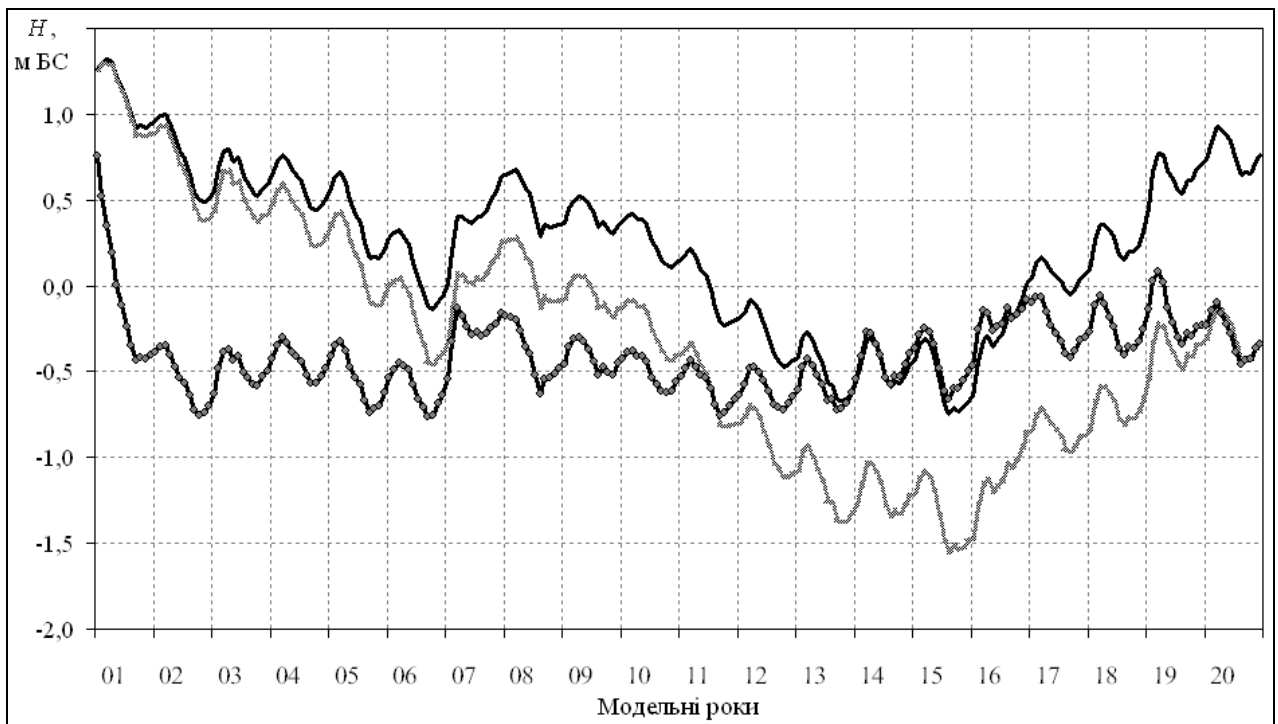


Рисунок 3.10 – Часовий хід середньомісячних рівнів води Хаджибейського лиману за різних умов функціонування водойми:

- сценарій 1 (без урахування замулення лиману);
- сценарій 1' (з урахуванням замулення лиману);
- ◆— сценарій 5 (при вільному з'єднанні лиману та моря)

На рис. 3.10 також представлено водний режим лиману за сценарієм 5 – при вільному водообміні лиману та Чорного моря по з'єднувальному каналу «лиман-море» ($H_{дно} = -1,0$ м БС). Вважається, що при вільному водообміні між лиманом та морем (умови функціонування водойми за сценарієм 5) замулення ємності чаші Хаджибейського лиману майже не відбувається, за водообміном водойма класифікується як акумулятивно-транзитна [37], а об'єми стоку води по каналу «лиман-море» майже дорівнюють об'ємам припливу води у лиман з його водозбірного басейну та з моря (рис. 3.11). За умов функціонування водойми за сценарієм 5, незначне замулення можливе у верхів'ї лиману – на ділянці впадіння в лиман р. М. Куяльник. Замулення за рахунок стоку р. Свинна виключається, в зв'язку з майже повним перехопленням річкового стоку ставками та водосховищами (див. розділ 1, пп. 1.7).

З рис. 3.10 видно, що часовий хід рівнів води за сценарієм 1' майже синхронно повторює хід рівнів за сценарієм 1, але починаючи вже з 2 м. р., рівні води за сценарієм 1' стають меншими ніж за сценарієм 1, а з другої половини 11 м. р. – меншими ніж за сценарієм 5. Найменший рівень води за сценарієм 1' спостерігається в жовтні 15 м. р. і становить мінус 1,54 м БС.

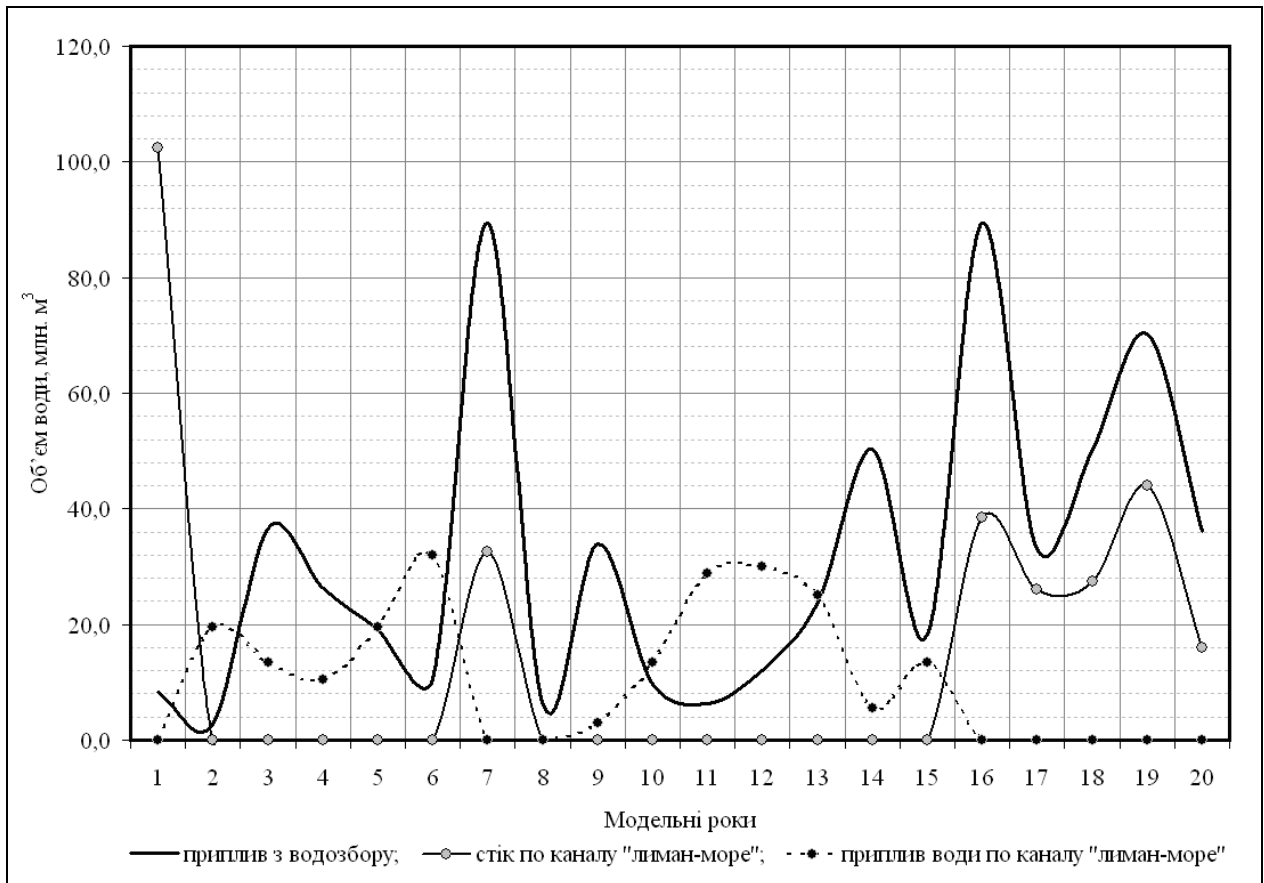


Рисунок 3.11 – Щорічні об'єми припливу з водозбору лиману, стоку та припливу по каналу «лиман-море» за різних умов функціонування (сценарії 1', 1 та 5)

В зв'язку з тим, що ємність чаші Хаджибейського лиману щорічно за рахунок замулення зменшується в середньому на 6,5 млн. м³, при умові функціонування водойми за сценарієм 1', здійснено прогнозування й оцінку можливих морфометричних характеристик і побудовано плани лиману в ізобатах для 10 та 20 м. р., які представлені, відповідно, на рис. 3.12 та 3.13, де також наведена лінія берегу в кінці 2010 р. (при рівні води 1,2 м БС).

Таким чином, ще до кінця 10 м. р. ємність чаші лиману може зменшитися на 65 млн. м³, а до кінця 20 м. р. – на 130 млн. м³. При обчисленні шару замулення водойми (як відношення об'єму замулення до площі водної поверхні лиману) для виключення можливого завищення його величини, використовувалась максимально можлива площа водного дзеркала водойми, яка становить 116 млн. м². З урахуванням цього, встановлено, що вже до кінця 10 м. р., чаша лиману замулиться не менш ніж на 0,5 м, а до кінця 20 м. р. – не менш ніж на 1 м (рис. 3.12 та 3.13). При цьому, довжина лиману, в порівнянні з 2010 р., у кінці 10 м. р. зменшиться майже на 5 км, а в кінці 20 м. р. – на 6 км. Треба також відмітити, що в 10 м. р. (рис. 3.12), від лиману вже відокремилася його Палійовська затока, а в 20 м. р. – вона майже пересохла (рис. 3.13).

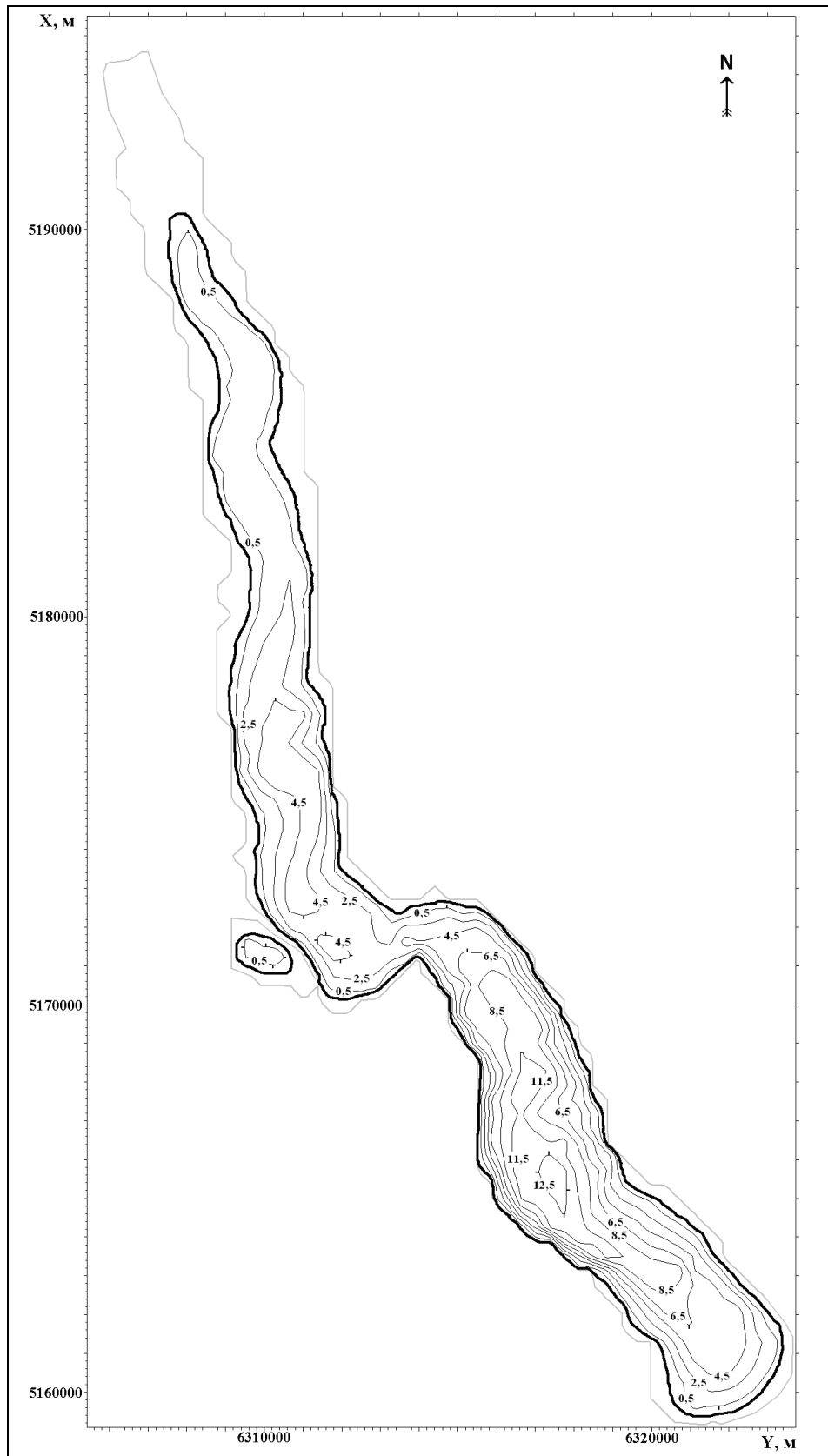


Рисунок 3.12 – План Хаджибейського лиману в ізобатах на 10 модельний рік, при водному режимі за *сценарієм 1*, з урахуванням замулення – *сценарій 1'*:

- лінія берегу в кінці 2010 р. (відмітка поверхні води складає 1,2 м БС);
- лінія берегу в кінці 10 м. р. (відмітка поверхні води – мінус 0,4 м БС)

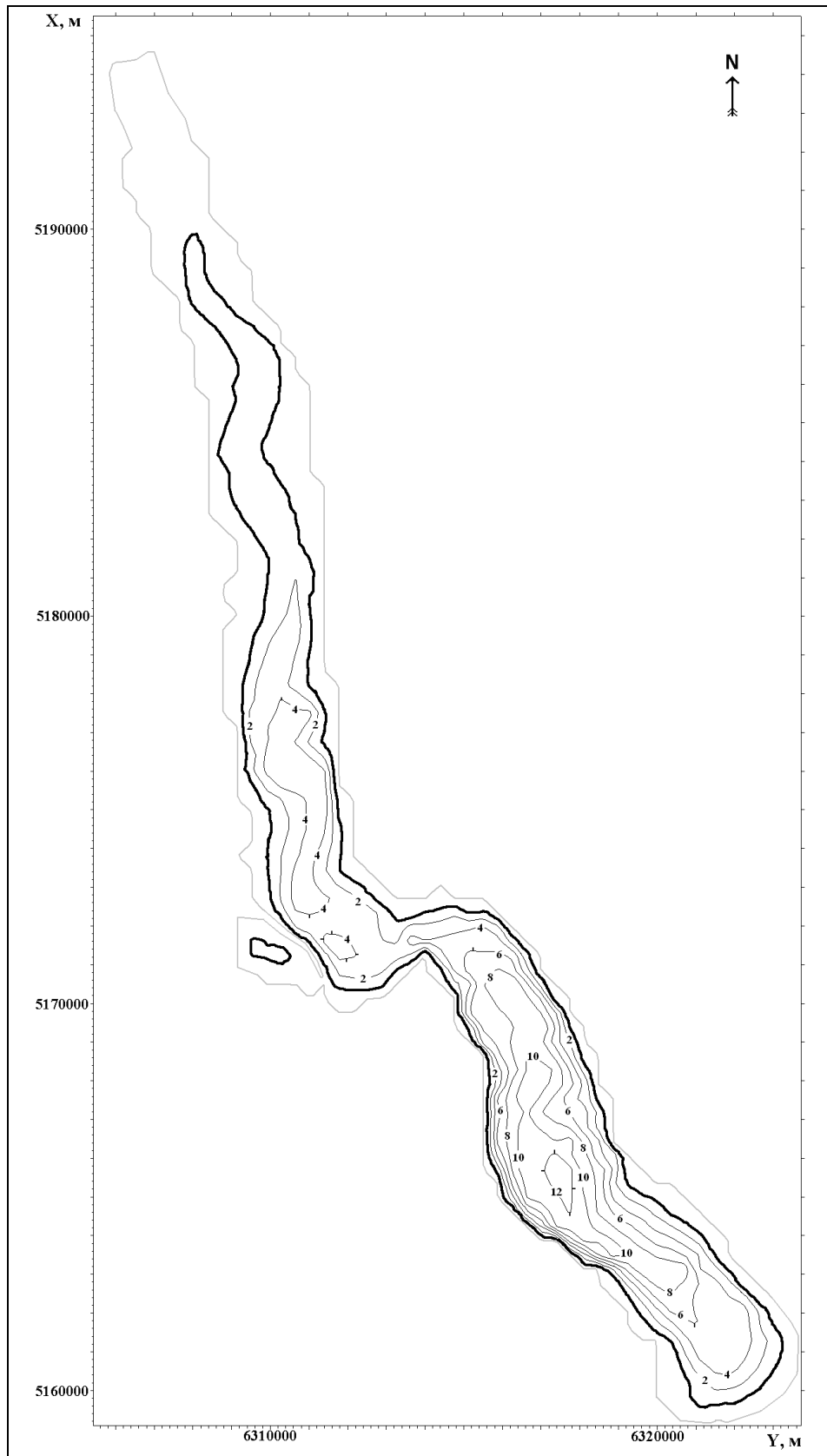


Рисунок 3.13 – План Хаджибейського лиману в ізобатах на 20 модельний рік, при водному режимі за *сценарієм 1*, з урахуванням замулення – *сценарій 1'*:

- лінія берегу в кінці 2010 р. (відмітка поверхні води складає 1,2 м БС);
- лінія берегу в кінці 20 м. р. (відмітка поверхні води – мінус 0,4 м БС)

4 МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНО-СОЛЬОВОГО РЕЖИМУ ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ЗАДОВІЛЬНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ТА ГІДРОХІМІЧНОГО СТАНУ ЛИМАНУ У МАЙБУТНЬОМУ

Для розробки рекомендацій щодо здійснення заходів, спрямованих на забезпечення задовільного гідрологічного та гідрохімічного стану Хаджибейського лиману здійснено оцінку можливого водно-сольового режиму лиману за період з 1960 по 2010 рр. при відсутності каналу «лиман-море» та скидів води з СБО «Північна» та, на основі результатів моделювання водного режиму водойми за сценаріями 1' та 5 (див. розділ 3, пп. 3.2), здійснено моделювання можливих середньорічних значень солоності води лиману у майбутньому (20 років).

4.1 Моделювання водно-сольового режиму лиману за період з 1960 по 2010 рр. при відсутності каналу «лиман-море» та скидів води СБО «Північна»

Моделювання річних водно-сольових балансів Хаджибейського лиману за період з 1960 по 2010 рр., при відсутності водообміну з морем та скидів вод СБО «Північна», здійснено як за умови відсутності замулення водойми – період з 1960 по 1974 рр., з використанням кривих площ водної поверхні та об'ємів води лиману, станом на 1974 р. (див. розділ 1, пп. 1.8, рис. 1.17 та 1.18), так і з урахуванням замулення водойми – період з 1975 по 2010 рр., враховуючи, середньорічне зменшення ємності чаші лиману на 6,5 млн. м³ та щорічне зменшення площі водної поверхні в середньому на 0,5 млн. м².

Модель річних водно-сольових балансів Хаджибейського лиману за період з 1960 по 1974 рр. – за умови відсутності замулення водойми та при відсутності водообміну з морем і скидів вод СБО «Північна» наведена нижче.

Рівняння водного балансу лиману для *i*-го (першого) року (*i* = 1960) має наступний вигляд

$$W'_{ВСБ,i} = W_{факт,i} + V_{канал,i} - V_{СБО,i}, \quad (4.1)$$

де $W'_{ВСБ,i}$ – розрахунковий об'єм води в лимані в *i*-ому році, млн. м³;

$W_{i,факт}$ – фактичний об'єм води в лимані в *i*-ому році, млн. м³ (див. розділ 2);

$V_{канал,i}$ – об'єм стоку з лиману по каналу в *i*-ому році, млн. м³ (див. розділ 2);

$V_{СБО,i}$ – об'єм скидів СБО «Північна» в *i*-ому році, млн. м³ (див. розділ 2).

Рівень води в лимані $H'_{BCB,i}$, м БС для періоду з 1960 по 1974 рр., включно, визначався з використанням кривої об'ємів води, станом на 1974 р. (див. розділ 1, пп. 1.8, рис. 1.18).

Моделювання річних водно-сольових балансів Хаджибейського лиману за період з 1975 по 2010 рр. – з урахуванням щорічного замулення водойми та при відсутності водообміну з морем і скидів вод СБО «Північна» виконується за наступним рівнянням

$$W'_{BCB,i} = W_{факт,i} + V_{канал,i} - V_{СБО,i} - \Delta W'_i, \quad (4.2)$$

де $\Delta W'_i$ – об'єм замулення ємності лиману з 1974 р. по i -й рік, млн. м³.

Величина $\Delta W'_i$ визначається за рівнянням

$$\Delta W'_i = \Delta \bar{W} \cdot (i - 1974) = 6,5 \cdot (i - 1974), \quad (4.3)$$

де $\Delta \bar{W}$ – середньорічний об'єм замулення ємності лиману за період з 1974 по 2009 рр., млн. м³, який становить 6,5 млн. м³ за рік;

i – розрахунковий рік (від 1975 по 2010 рр.).

З урахуванням (4.3) рівняння (4.2) буде мати вигляд

$$W'_{BCB,i} = W_{факт,i} + V_{канал,i} - V_{СБО,i} - 6,5 \cdot (i - 1974). \quad (4.4)$$

Рівень води в лимані $H'_{BCB,i}$, м БС для періоду з 1975 по 2010 рр., включно, визначався з використанням $W'_{BCB,i}$ та кривої об'ємів води, станом на 1974 р. (див. розділ 1, пп. 1.8, рис. 1.18), з урахуванням щорічного замулення водойми на 0,06 м за наступним рівнянням

$$H'_{BCB,i} = 0,06 \cdot (i - 1974) + H'_{W(1974),i}, \quad (4.5)$$

де $H'_{W(1974),i}$ – середньорічний рівень води в лимані в i -ому році, м БС, визначений з використанням $W'_{BCB,i}$ та кривої об'ємів води, станом на 1974 р.

Солоність води в лимані в i -ому році, $S'_{BCB,i}$, ‰, з урахуванням замулення водойми, визначалась наступним чином

$$S_{2,i} = \frac{R'_{BCB,i}}{W'_{BCB,i}}, \quad (4.6)$$

де $R'_{BCB,i}$ – кількість солей у воді лиману в i -ому році, тис. т.

Величина $R'_{BCB,i}$ визначалась за рівнянням

$$R'_{BCB,i} = R'_{BCB,i-1} + R_{P,i} + R_{r,i}, \quad (4.7)$$

де $R'_{BCB,i-1}$ – кількість солей у воді лиману на початок i -го року, тис. т;

$R_{P,i}$ – кількість солей, що надійшли в лиман з атмосферними опадами, які випали на його водну поверхню в продовж i -го року, тис. т;

$R_{r,i}$ – кількість солей, що надійшли в лиман з поверхневим припливом води з його водозбірного басейну в продовж i -го року, тис. т.

Величина $R'_{BCB,i-1}$ визначалась за рівнянням

$$R'_{BCB,i-1} = S_{i-1} \cdot W_{i-1}, \quad (4.8)$$

де S_{i-1} – солоність води лиману на початок i -го року, ‰, яка у 1960 р. складала в середньому 34,0 ‰ [7];

W_{i-1} – об'єм води в лимані на початок i -го року, млн. м³, який у 1960 р. становив 462,2 млн. м³.

Величина $R_{P,i}$ визначалась за рівнянням

$$R_{P,i} = S_{P,i} \cdot W_{P,i}, \quad (4.9)$$

де $S_{P,i}$ – солоність води, що надійшла в лиман з атмосферними опадами, які випали на його водну поверхню в продовж i -го року, ‰.

В розрахунках приймалося, що $S_{P,i} = \bar{S}_P = 0,035$ ‰.

Величина $R_{r,i}$ визначалась за рівнянням

$$R_{r,i} = S_{r,i} \cdot V_{r,i}, \quad (4.10)$$

де $S_{r,i}$ – солоність води, що надійшла в лиман з поверхневим припливом води з його водозбірного басейну в продовж i -го року, ‰.

В розрахунках приймалося, що $S_{r,i} = \bar{S}_r = 1,966$ ‰.

Результати моделювання у вигляді середньорічних об'ємів, рівнів та солоності води в лимані, представлені відповідно на рис. 4.1, 4.2 та 4.3.

З рис. 4.1 та 4.3 видно, що за умов відсутності водообміну з морем і скидів вод СБО «Північна» та з урахуванням замулення лиману часова мінливість об'ємів та рівнів води у водоймі значно зростає, з максимумами – у 1969 р. (об'єм води – більш ніж 950 млн. м³, рівень води – 3,12 м БС, тобто на рівні сучасної поверхні гребня дамби лиману), та мінімумами – у 2009 р. (об'єм води – менше 230 млн. м³, рівень води – майже мінус 2,00 м БС).

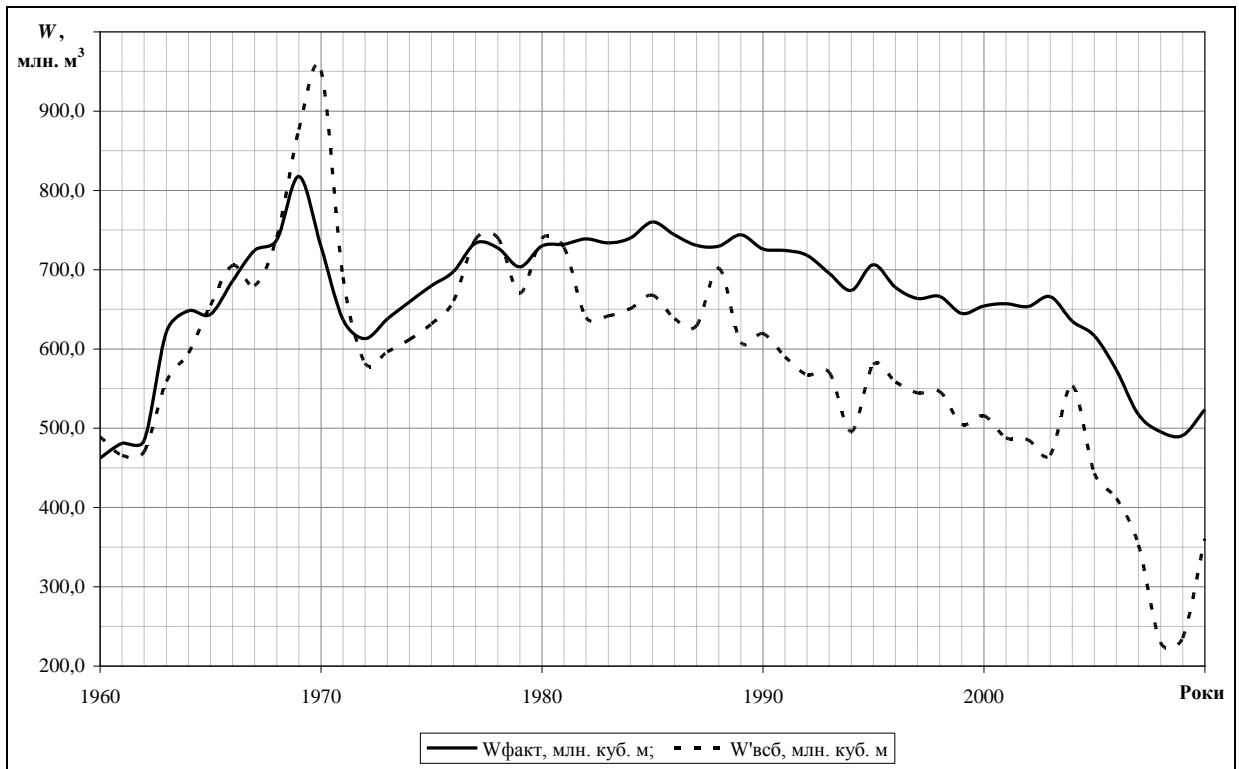


Рисунок 4.1 – Часовий хід середньорічних об'ємів води Хаджибейського лиману за різних умов функціонування водойми за період з 1960 по 2010 рр.

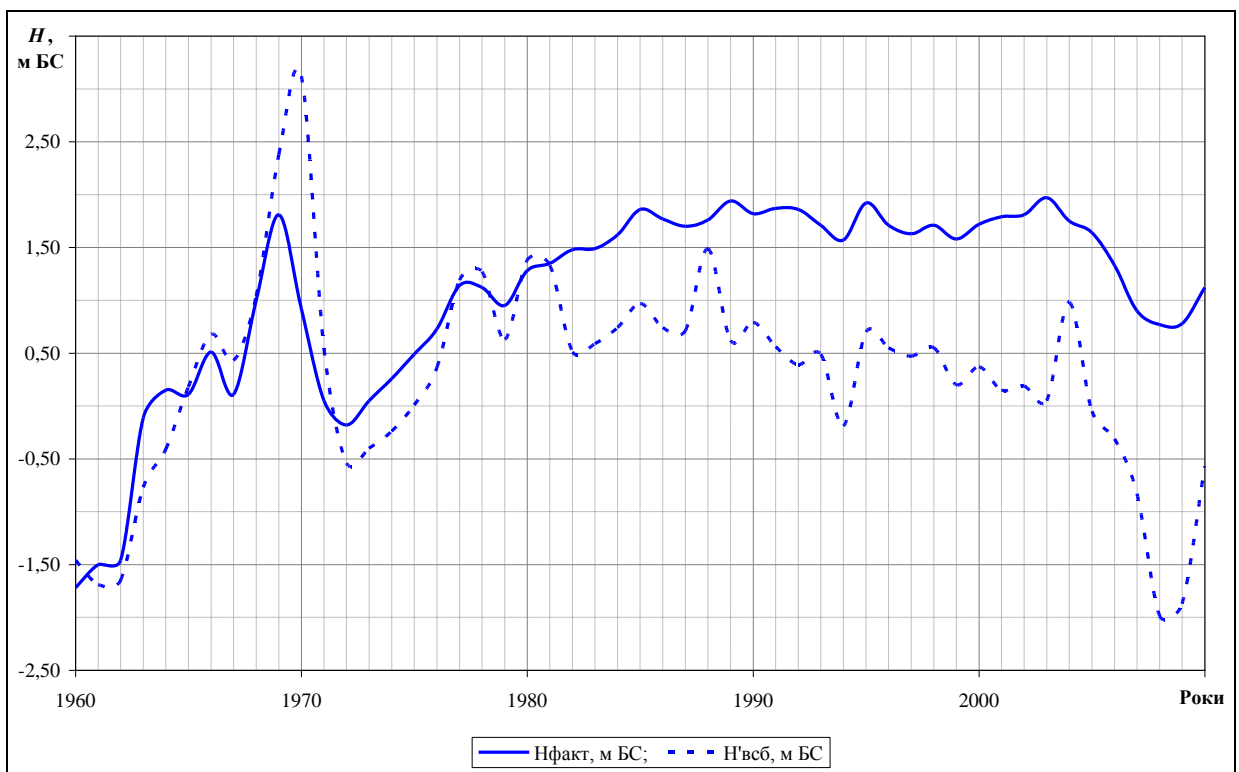


Рисунок 4.2 – Часовий хід середньорічних рівнів води Хаджибейського лиману за різних умов функціонування водойми за період з 1960 по 2010 рр.

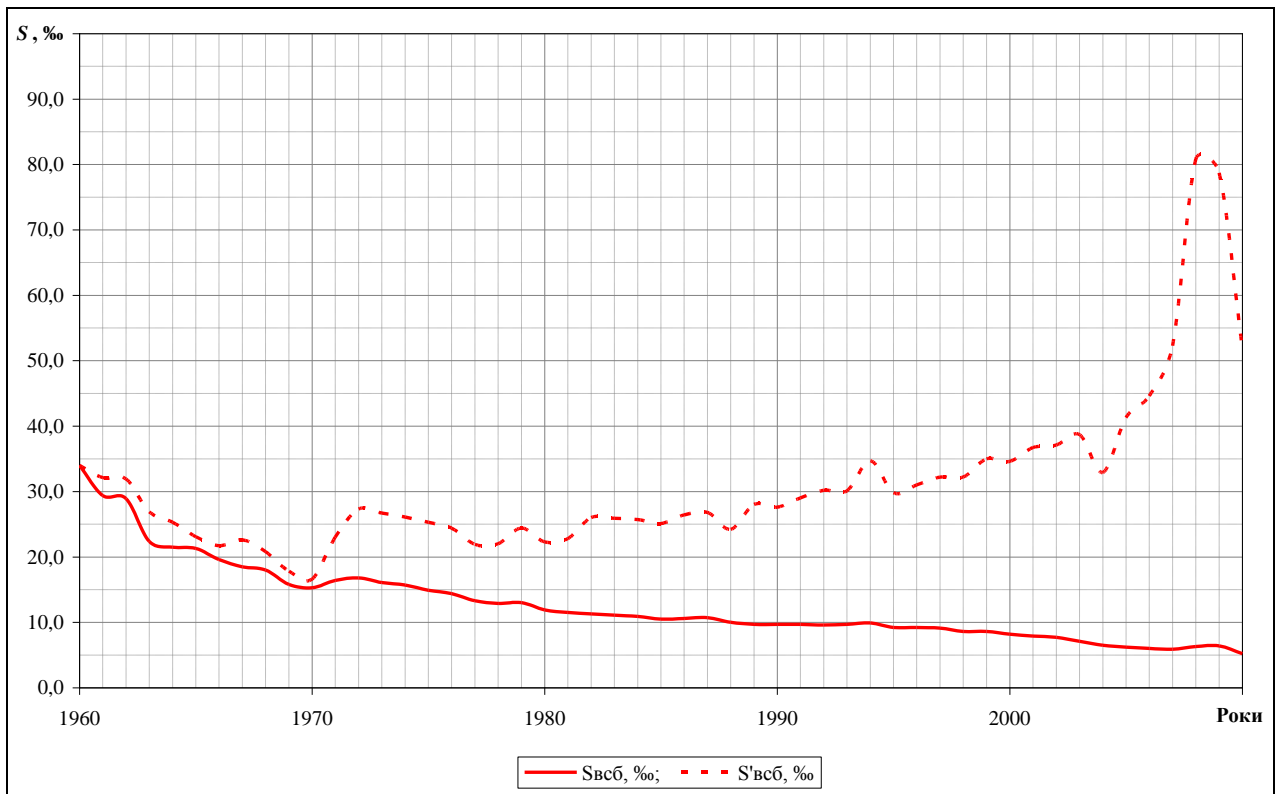


Рисунок 4.3 – Часовий хід середньорічної солоності води Хаджибейського лиману за різних умов функціонування водойми за період з 1960 по 2010 рр.

Мінливість солоності води (рис. 4.3) не така значна, як рівнів та об'ємів води в лимані, але за період з 1960 по 2010 рр. вона майже постійно зростає, крім періоду з 1960 по 1970 рр., за який солоність зменшилась з 34,0 до 16,6 ‰. Максимальна солоність води, а це майже 81 ‰, спостерігається у 2009 р. – дуже маловодний рік.

Така солоність води в Хаджибейському лимані спостерігалась в середині ХІХ ст., наприклад, в 1869 р., вона становила 115 ‰ [38, 39].

Після аналізу водно-сольового режиму лиману як акумулятивної водойми закритого типу (рис. 4.1, 4.2 та 4.3), необхідно відмітити, що за таких умов функціонування водойми, в лимані можуть формуватися як небезпечно високі (для м. Одеси) рівні води, так і катастрофічно низькі, при яких рівень води в Чорному морі (Одеська затока) буде більш ніж на 1,5 м вище поверхні води в Хаджибейському лимані. При цьому солоність води зростає до значень, при яких майже всі гідробіонти, які зараз мешкають у водоймі, зникнуть.

4.2 Моделювання середньорічних значень солоності води та рекомендації по забезпеченню задовільного гідрологічного та гідрохімічного стану Хаджибейського лиману у майбутньому

Моделювання середньорічних значень солоності води Хаджибейського лиману у майбутньому (20 років) виконувалось на основі результатів моделювання водного режиму за *сценарієм 5* (відмітка дна каналу $H_{\text{дно}}$ становить мінус 1,0 м БС) – при відсутності замулення водойми, а також при умові функціонування лиману як водойми закритого типу без водообміну з морем і скидів води СБО «Північна» – *сценарій 1'*.

Вибір цих сценаріїв пов'язаний з тим, що один з них, *сценарій 1'* – це той, який майже відповідає умовам функціонування лиману в останні роки, а другий, *сценарій 5* – такий, що є найбільш оптимальним для функціонування лиману у майбутньому. Цей висновок зроблено на основі результатів оцінки складових водно-сольового балансу лиману за різних умов його існування у багаторічному розрізі за попередні роки – з 1960 по 2010 рр. (рис. 2,7, 4.1-4.3), та можливого водного режиму водойми (рис. 3.9 та 3.10) на майбутні 20 років, обчислених з використанням достатньо вірогідних умов, що вже спостерігалися у період з 1982 по 2001 рр.

При моделюванні для обох сценаріїв приймалось, що солоність води в лимані на початок першого модельного року становила 6 ‰.

Моделювання за *сценарієм 5* виконувалось за умови, що солоність морської води Одеської затоки для одного модельного ряду дорівнювала 15 ‰, а для другого – 10 ‰, при незмінних інших умовах даного сценарію.

Результати моделювання за *сценарієм 1'* та *сценарієм 5* (при солоності морської води 15 та 10 ‰) представлені на рис. 4.4.

З рис. 4.4 видно, що мінливість солоності води в продовж 20 м. р. у всіх кривих майже синхронна, тільки, кривій, обчисленій за *сценарієм 1'*, властива менша «пульсація» солоності води. За наявністю періодів підйому та спаду солоності води, треба відмітити, що крива, обчислена за *сценарієм 1'*, має тільки два періоди: з 1 по середину 15 м. р. – період збільшення солоності води з 6 до майже 16,5 ‰, та з середини 15 по 20 м. р. – зменшення солоності води до 12,2 ‰. У кривих, обчислених за сценарієм 5 (при різній солоності морської води), таких періодів більше: 4 періоди – зменшення солоності, та 3 періоди – збільшення. При цьому максимальні значення солоності води також спостерігаються у середині 15 м. р., але вони становлять приблизно 12 ‰ – при солоності морської води 15 ‰, та 9,5 ‰ – при солоності морської води 10 ‰. Крім цього, навіть при солоності морської води 10 та 15 ‰, солоність води в лимані перші 5 м. р. була меншою за солоність води на початку 1 м. р., та в жодному з модельних років не перевищувала солоності морської води.

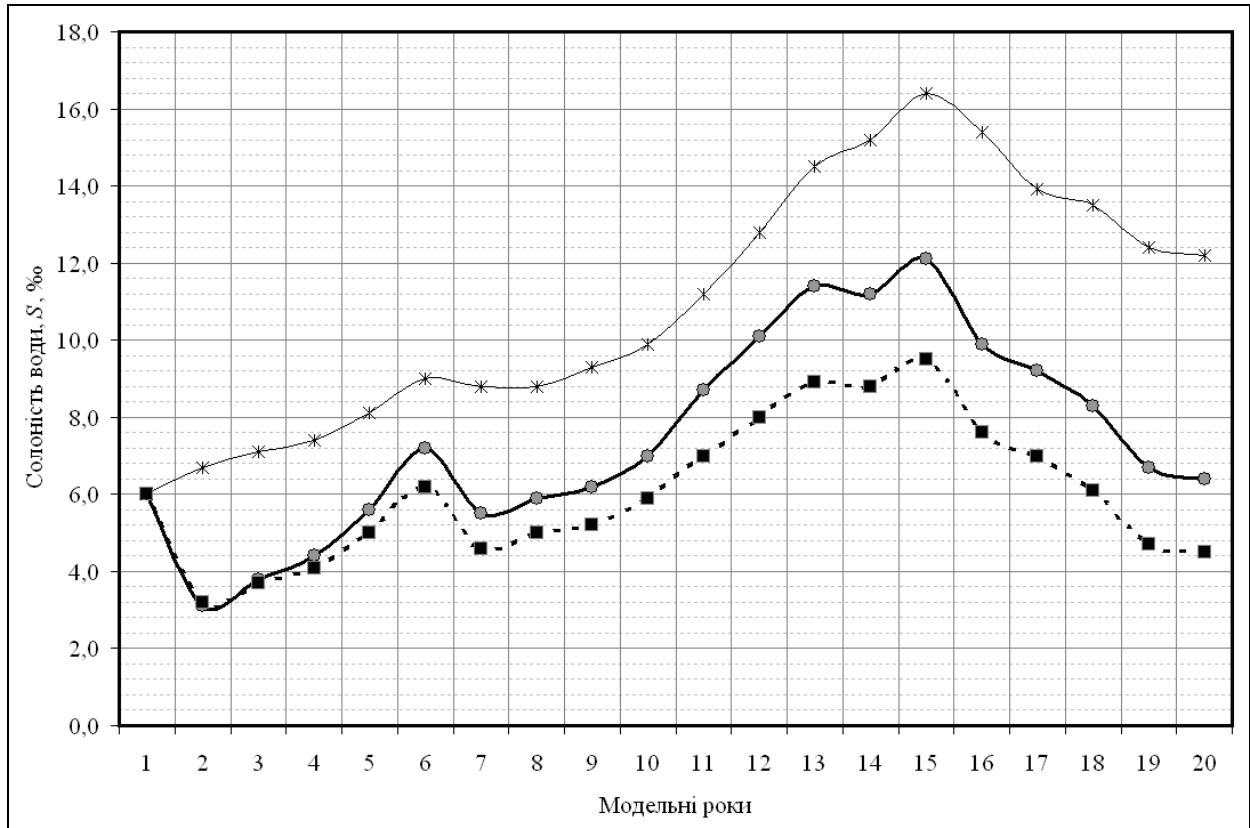


Рисунок 4.4 – Часовий хід середньорічної солоності води Хаджибейського лиману за сценарієм 1' та сценарієм 5:

—*— сценарій 1'; —●— сценарій 5, $S_{CM} = 15\%$; -■- сценарій 5, $S_{CM} = 10\%$

З урахуванням отриманих результатів моделювання водно-сольового режиму Хаджибейського лиману за різних умов його функціонування (у тому числі, при відсутності скидів води СБО «Північна»), для підтримки оптимального гідроекологічного режиму (задовільного гідрологічного та гідрохімічного стану водойми) можна рекомендувати лише варіант водообміну лиману з морем по поглибленому до відмітки мінус 1 м БС з'єднувальному каналі «лиман-море». Варіант, при якому лиман залишиться закритою акумулятивною водоймою, може призвести до зменшення рівнів води в ньому до відмітки мінус 1,5 м БС та нижче, при цьому солоність води може підвищитися до 16,5 ‰. У дуже маловодні роки, як наприклад, 2009 р., за результатами моделювання водно-сольового режиму лиману як безстічній акумулятивній водоймі солоність води може сягати 80 ‰ і більше. Треба відмітити, що водообмін з морем збільшить проточність («промивку») водойми, тому інтенсивність замулення ємності лиману значно зменшиться (крім верхів'я – за рахунок припливу наносів з річковим стоком).

ВИСНОВКИ

Основні результати та висновки, отримані при виконанні НДР:

1. Встановлено залежність між солоністю та рівнем води Хаджибейського лиману, яка апроксимується експоненціальним рівнянням та є досить надійною, про що свідчить високе значення детермінанта зв'язку $R^2 = 0,75$.

2. В басейні рр. М. Куяльник та Свинна, які впадають в верхів'я лиману, в 1980-1990 рр. загальна кількість ставків та водосховищ становила:

– за довідниковою літературою, 50 шт., загальним об'ємом приблизно 13,2 млн. м³, з максимальною площею водного дзеркала майже 1 тис. га;

– за даними досліджень ОДЕКУ, які виконувалися в 2011 р., тільки перші п'ять штучних водойм в гирловій ділянці р. Свинна мають ємність (при максимальному наповненні $H_{\text{макс}} \approx 3,00$ м БС) приблизно 31,8 млн. м³ та загальну площу водної поверхні майже 12,2 млн. м² (або 1,22 тис. га).

3. Відмітка дна каналу «лиман-море», за даними ОДЕКУ від 07.10.2011 р., в місці витоку з Хаджибейського лиману, становить близько 1,00 м БС.

4. За рахунок замулення та внутрішнього перерозподілу донних відкладів в період з 1974 по 2009 рр. відбулося значне зменшення площі водної поверхні та ємності лиману, особливо в області мінімальних їх значень:

– при рівнях води мінус 1,00 м БС, площа водної поверхні зменшилася на 26,5 млн. м², а ємність лиману – на 225 млн. м³;

– при рівнях води, наближених до тих, які спостерігалися в 2011 р., тобто 1,50 м БС, площа водної поверхні лиману зменшилася майже на 16 млн. м², а ємність – на 230 млн. м³;

– в середньому щорічно ємність чаші лиману, внаслідок замулювання, зменшувалася на 6,5 млн. м³, а площа водної поверхні – на 0,5 млн. м².

5. За період з 1960 по 2010 рр. розрахункові об'єми сумарного припливу води з водозбірного басейну лиману змінювався від 3 до 117 млн. м³, в залежності від водності року.

6. Об'єми надходження води зі скидними водами СБО «Північна» за період з 1960 по 2010 рр. складають до 81 млн. м³ на рік, а найбільші об'єми скидів з лиману до Чорного моря спостерігались у 1970 р. (після побудови каналу «лиман-море» у 1969 р.).

7. Прихідну частину водних балансів, у найбільшій мірі визначають опади на водну поверхню водойми (від 30 до 60%); при цьому найвищі значення надходження води за рахунок атмосферних опадів спостерігались у 1963 та 1969 рр. та склали 149 і 118 млн. м³, відповідно, що пов'язано зі значними об'ємами надходження опадів під час танення снігу у лютому-березні 1963 і 1969 рр., які випали за зимовий період на промерзлий ґрунт водозбору лимана (витрати води рр. М. Куяльник та Свинна сягали 110-200 м³/с, а рівні води у водоймі за 15-30 діб підвищилися на 1,5-2 м).

8. У витратній частині більшості водних балансів Хаджибейського лиману за період 1960-2010 рр. найбільший відсоток складає випаровування (до 100 %), а стік води з лиману до моря та штучні водойми в гирлі р. Свинна складають у середньому 30 %; при цьому найбільші об'єми та відсоток стоку води з лиману спостерігались у 1969-1972 рр. – після введення в експлуатацію з'єднувального каналу «лиман-море».

9. В зв'язку з тим, що стаціонарні спостереження за витратами води в каналі «лиман-море» не виконуються, то об'єми припливу-стоку води через цей з'єднувальний канал обчислювалися з використанням гідравлічної формули Шезі-Маннінга.

10. Оцінені можливі відмітки поверхні води Хаджибейського лиману за умови виникнення весняних водопіль розрахункової виняткової ймовірності настання $P = 1\%$ (повторюваністю 1 раз у 100 років). Результати розрахунків показали, що при виникненні катастрофічно високих весняних водопіль (забезпеченістю $P = 1\%$), рівні води у водоймі можуть досягти критичної позначки – максимальної проектною відмітки дамби лиману (3,10 м БС).

11. В тих випадках, коли на максимальні рівні води Хаджибейського лиману у період весняного водопілля забезпеченістю $P = 1\%$ накладається дощовий паводок такої ж забезпеченості, рівні води в лимані можуть перевищити максимальну проектну відмітку дамби лиману (3,10 м БС), призвести до її руйнування та затоплення значної частини м. Одеси.

12. За результатами моделювання водно-сольових балансів за різних умов функціонування лиману, з урахуванням замулення водойми, встановлено:

- найменший рівень води спостерігається в жовтні 15 м. р. і становить мінус 1,54 м БС;

- до кінця 10 м. р. ємність чаші лиману замулиться не менш ніж на 0,5 м, а до кінця 20 м. р. – не менш ніж на 1 м;

- довжина лиману, в порівнянні з 2010 р., у кінці 10 м. р. зменшиться майже на 5 км, а в кінці 20 м. р. – на 6 км;

- в 10 м. р. від лиману вже відокремиться його Палійовська затока, а в 20 м. р. – вона майже пересохне (рис. 3.13);

- часова мінливість об'ємів та рівнів води у водоймі є досить значною, з максимумами – у 1969 р. (об'єм води – більше 950 млн. м³, рівень води – 3,12 м БС, тобто на рівні існуючої поверхні гребня дамби лиману), та мінімумами – у 2009 р. (об'єм води – менше 230 млн. м³, рівень води – майже мінус 2,00 м БС);

- мінливість солоності води не така значна, як рівнів та об'ємів води в лимані, але за період з 1960 по 2010 рр. вона майже постійно зростає, крім 1960-1970 рр., коли солоність зменшилась з 34,0 до 16,6 ‰; при цьому максимальна солоність води, а це майже 81 ‰, спостерігається у 2009 р. – дуже маловодному.

13. Встановлено, що при водно-сольовому режимі лиману, як безстічної акумулятивної водойми закритого типу, в ньому можуть формуватися як небезпечно високі (для м. Одеси) рівні води, так і катастрофічно низькі, при яких рівень води в Чорному морі (Одеська затока) буде майже на 1,5 м вище поверхні води в Хаджибейському лимані; при цьому солоність води зростає до значень, при яких майже всі гідробіонти, які зараз мешкають у водоймі, зникнуть.

14. Варіант, при якому лиман залишиться закритою акумулятивною водоймою, може призвести до зменшення рівнів води в ньому до відмітки мінус 1,5 м БС та нижче, при цьому солоність води може підвищитися до 16,5 ‰.

15. У дуже маловодні роки, як наприклад, 2009 р., за результатами моделювання водно-сольового режиму лиману, як безстічної акумулятивної водойми, солоність води може сягати 80 ‰ і більше.

16. Для підтримки оптимального гідроекологічного стану – задовільного гідрологічного та гідрохімічного режиму водойми, можна рекомендувати лише варіант водообміну лиману з морем по поглибленому до відмітки мінус 1 м БС з'єднувальному каналу «лиман-море». При цьому водообмін з морем збільшить проточність («промивку») водойми і таким чином значно зменшиться її замулення (крім верхів'я, де має місце надходження наносів з річковим стоком).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Природа Одесской области. Ресурсы, их рациональное использование и охрана. – К.: Вища шк., 1979. – 143 с.
2. Лиманы Северного Причерноморья / В.С. Полищук, Ф.С. Замбриборщ, В.М. Тимченко и др. – К.: Наук. думка, 1990. – 204 с.
3. Старушенко Л.И., Бушуев С.Г. Причерноморские лиманы Одещины и их рыбохозяйственное использование. – Одесса: Астропринт, 2001. – 65 с.
4. Тимченко В.М. Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья. – К.: Наук. думка, 1990. – 240 с.
5. Швебс Г.І., Ігошин М.І. Каталог річок і водойм України: Навчально-довідковий посібник. – Одеса: Астропринт, 2003. – 392 с.
6. Оцінка наповнення Хаджибейського лиману поверхневими водами та довгострокове прогнозування його стану у весняний період року: Звіт з НДР. Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2009. – 200 с.
7. Розенгурт М.Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. – К.: Наук. думка, 1974. – 225 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 1. Западная Украина и Молдавия. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 884 с.
9. Коротун І.М., Коротун Л.К., Коротун С.І. Природні умови та ресурси України: Навчальний посібник. – Рівне, 2000. – 192 с.
10. Паспорт реки Малый Куяльник. – Одесса: Укрюжгипроводхоз, 1992. – 130 с.
11. Паспорт реки Свиная. – Одесса: Укрюжгипроводхоз, 1992. – 110 с.
12. Національний атлас України. – К.: ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.
13. Камзіст Ж.С., Шевченко О.Л. Гідрогеологія України: Навчальний посібник. – К.: Інкос, 2009 – 612 с.
14. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1980 г. Ч. 1 и 2. Т. 2 Вып. 1. Бассейн Чорного и Азовского морей (без Кавказа). Бассейны р. Днестр и рек между бас. рр. Днестр и Днепр. – К.: 1982. – 306 с.
15. Техническое дело гидрологического поста «лим. Хаджибейский – с. Усатово». – Одесса: ГМС, 2009. – 26 с.
16. Гопченко Є.Д, Гриб О.М., Гриб К.О. Зв'язок солоності та рівнів води Хаджибейського лиману й оцінка замулення водойми // Зб. док. та ст. / За загальн. ред. В.М. Небрата. – Одеса: ІНВАЦ, 2011. – С. 207-211.
17. Супутникові знімки та карти поверхні Землі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://maps.google.com> (станом на 24 липня 2011 року).
18. Справочник по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – 304 с.

19. Тимченко В. М. Экологическая гидрология водоёмов Украины. – К.: Наук. думка, 2006. – 382 с.
20. Карта масштаба 1:100000. Лист L-36-050. СССР. УССР. Одесская область. Одесса. Состояние местности на 1982 год. – 1983.
21. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. О некоторых приемах статистического анализа гидрологических рядов // Тр. ГГИ. – 1968. – Вып. 143. – С. 110-133.
22. Оцінка багаторічних змін складових водного балансу Куяльницького лиману для розробки рекомендацій по збереженню його природних ресурсів: Звіт з НДР. Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2009. – 90 с.
23. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
24. Бефани А.Н. Основные положения теории речного стока // Тр. ОГМИ. – 1958. – Вып. 12. – С. 99-164.
25. Прохоренко М.М., Раевский А.Н. Особенности распределения гололедно-изморозевых отложений на территории Украины в аномальные зимы // МКГ. – 1975. – Вып. 11. – С. 33-37.
26. Горев Л.М., Пелешенко В.И., Кирничный В.В. Методика оптимизации природной среды обитания. – К.: Либідь, 1992. – 528 с.
27. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. – К.: КНТ, 2005. – 148 с.
28. Гопченко Є.Д., Шакірманова Ж.Р. Довгострокове прогнозування водності Хаджибейського лиману та оцінка його наповнення поверхневими водами у весняний період року // Вестник ГМЦ Черного и Азовского морей. Государственная ГМС Украины. – 2009. – № 2 (10). – С. 169-185.
29. Гопченко Є.Д., Шакірманова Ж.Р. Методика довгострокового прогнозу надходження поверхневих вод до закритих лиманів Північно-Західного Причорномор'я у весняний період року // Наук. зап. Терн. нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія. Спец. вип.: Гідроекологія. – 2010. – № 3 (44). – С. 53-56.
30. Гопченко Є.Д., Шакірманова Ж.Р. Можливості застосування просторових моделей для прогнозування максимального стоку весняного водопілля при обмеженості гідрологічних спостережень // Причорномор. еколог. бюлетень / Наук.-практ. журнал. – Одеса: ІНВАЦ, 2007. – № 2 (24). – С. 63-66.
31. Гопченко Є.Д., Шакірманова Ж.Р. Метод просторового довгострокового прогнозування максимального стоку весняного водопілля та строків його проходження // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – Вип. 50. – ч. II – С. 158-168.
32. Гопченко Е.Д., Шакирманова Ж.Р. Территориальное долгосрочное прогнозирование характеристик весеннего половодья равнинных рек // Тр. междунар. сем. «Генетические и вероятностные методы в гидрологии: проблемы развития и взаимосвязи». – Одесса, 2009. – С. 63-72.

33. Шакірманова Ж.Р. Метод просторових прогнозів строків початку та проходження максимумів весняних водопіль на рівнинних річках України // Укр. гідрометеор. журн. – 2011. – № 8. – С. 204-213.
34. Спицын И.П., Соколова В.А. Общая и речная гидравлика. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 360 с.
35. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 448 с.
36. Карасёв И.Ф., Васильев А.В., Субботина Е.С. Гидрометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 376 с.
37. Іваненко О.Г. Гідроекологія. – Одеса: Екологія, 2008. – 88 с.
38. Старушенко Л.И., Бушуев С.Г. Причерноморские лиманы Одесщины и их рыбохозяйственное использование. – Одесса: Астропринт, 2001. – С. 87-99.
39. Воля Е.Г., Дручин А.И., Черников Г.Б. Характеристика современного состояния ихтиофауны Хаджибейского лимана // Сб. науч. ст. / Под ред. И.Д. Тромбицкого. – Бендеры: Есо-TIRAS, 2006. – С. 62-65.
40. Гопченко Є.Д., Гриб О.М., Шакірманова Ж.Р., Сербов М.Г., Бояринцев Є.Л., Терновий П.А. Сучасні морфометричні та основні фізико-хімічні характеристики Хаджибейського лиману // Вестник Гидрометцентра Чёрного и Азовского морей. Государственная гидрометеорологическая служба Украины. – 2011. – № 1(12). – С. 137-142.
41. Розенгурт М.Ш. Динамика вод и основы оптимального использования лиманов Северо-Западного Причерноморья. Охрана рыбных запасов и увеличение продуктивности водоёмов. – Одесса, 1970. – 112 с.
42. Полищук В.С., Замриборщ Ф.С., Харченко В.М. Лиманы Северо-Западного Причерноморья. – К.: Наук. думка, 1990. – 220 с.