

УДК 504.454+551.468.4
КП XXXXXX
№ держреєстрації 0112U007605
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
Ректор ОДЕКУ

_____ С.М. Степаненко
2012.12.20

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
ОЦІНКА МОЖЛИВОГО АЛЬТЕРНАТИВНОГО НАПОВНЕННЯ
КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ВОДАМИ ЧОРНОГО МОРЯ,
РІЧКИ ДНІСТЕР Й ІНШИХ ЛИМАНІВ І ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ
(заключний)

Керівник НДР
д. геогр. н., проф.

2012.12.14

Ю.С. Тучковенко

2012

Рукопис закінчено 14 грудня 2012 р.
Результати цієї роботи розглянуто Науково-технічною радою ОДЕКУ
протокол від 2012.12.20 № ____

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник, провідний науковий співробітник, доктор географічних наук, професор	2012.12.14	Ю. Тучковенко (реферат, вступ, розд. 5, висновки)
Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2012.12.14	О. Гриб (перелік умовних позначень, символів одиниць, скорочень і термінів, розд. 1.3.1, 1.3.3, 1.3.5, перелік посилань)
Провідний науковий співробітник, доктор географічних наук, професор, академік АН ВШ	2012.12.14	Є. Гопченко (розд. 2)
Провідний науковий співробітник, доктор географічних наук, професор	2012.12.14	Н. Лобода (розд. 1.1.2, 1.2.2)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2012.12.14	В. Белов (розд. 3)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	2012.12.14	В. Ситов (розд. 4.1)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук	2012.12.14	О. Сахненко (розд. 4.3, 4.4, 4.5)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук	2012.12.14	І. Башмакова (розд. 4.2)
Старший науковий співробітник, кандидат біологічних наук	2012.12.14	О. Килимник (розд. 7)
Старший науковий співробітник, кандидат хімічних наук	2012.12.14	О. Нікіпелова (розд. 8)
Старший науковий співробітник	2012.12.14	В. Гольцов (розд. 1.2.1, 1.2.3, 1.2.4)

Старший науковий співробітник	Є. Смоленський 2012.12.14 (розд. 1.3.4)
Старший науковий співробітник	Ю. Богатова 2012.12.14 (розд. 6)
Науковий співробітник	П. Терновий 2012.12.14 (розд. 1.1.4)
Науковий співробітник	Я. Яров 2012.12.14 (розд. 1.1.1)
Молодший науковий співробітник	В. Пилип'юк 2011.12.12 (розд. 1.1.3)
Технік третьої категорії	В. Бабій 2012.12.14 (розд. 1.3.2)
Нормоконтролер	С. Малацковська

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 238 с., 92 рис., 47 табл., 147 джерел.

Об'єкт дослідження – екосистема Куяльницького лиману та прибережної частини Чорного моря (Одеська затока), включаючи пересип між лиманом і морем, водойми пересипу.

Мета роботи – кількісна оцінка можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об'єктів.

Методи дослідження – оцінка об'ємів та технічних можливостей поповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, р. Дністер, Хаджибейського лиману, СБО «Північна», водойм пересипу; натурні гідроекологічні дослідження території пересипу (у тому числі, його водойм), прибережних до пересипу ділянок моря та лиману; моделювання водно-сольового режиму лиману за різних умов його поповнення водою з альтернативних джерел, кліматичних та інших умов; гідродинамічне моделювання течій та просторово-часової мінливості солоності води в лимані при його поповненні морськими водами; гідрохімічні, гідробіологічні та бальнеологічні дослідження.

Результати і новизна – розроблено науково-методичну базу, яка використана для оцінки можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших джерел. Виконаний аналіз якості морських і лиманих (куяльницьких) вод у сучасних умовах, можливих змін гідробіологічних характеристик вод Куяльницького лиману при наповненні його водами Чорного моря. Надана характеристика фізико-хімічних характеристик пелоїдів Куяльницького лиману, макроскладу ропи та розчину пелоїдів. Розроблені рекомендації щодо стабілізації гідроекологічного режиму Куяльницького лиману шляхом поповнення його морськими водами.

Основні конструкторські, технологічні і техніко-експлуатаційні характеристики і показники – визначенні інженерно-технічні можливості поповнення Куяльницького лиману водами різних альтернативних джерел у сучасних умовах. Надано наукове обґрунтування поповненню Куяльницького лиману водами Чорного моря з метою створення сприятливого гідроекологічного режиму Куяльницького лиману, збереження та відновлення його природних ресурсів.

Ступінь впровадження – результати роботи будуть впроваджені в діяльність Державного управління навколишнього природного середовища в Одеській області, Басейнової ради р. Великий Куяльник і Куяльницького лиману, Постійної комісії з питань екології, природокористування Одеської

обласної ради та складуть основу наукового обґрунтування розробки ТЕО Проекту поповнення Куяльницького лиману морськими водами в межах реалізації завдань «Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки»

Зв'язок з іншими роботами – робота є продовженням досліджень науковцями Одеського державного екологічного університету Куяльницького лиману, виконаних впродовж 2009-2010 р. в межах науково-дослідних робіт «Оцінка багаторічних змін складових водного балансу Куяльницького лиману для розробки рекомендацій по збереженню його природних ресурсів», «Стан гідрографічної мережі річки Великий Куяльник в умовах водогосподарських перетворень на її водозбірному басейні», а також спрямована на виконання завдань «Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки»

Рекомендації по використанню результатів роботи – результати роботи будуть використані при розробці ТЕО Проекту поповнення Куяльницького лиману морськими водами в межах реалізації завдань «Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки» та доручення Президента України Кабінету Міністрів України, Міністерству екології та природних ресурсів України, Одеській обласній державній адміністрації *«забезпечити спільно з Національною академією наук України підготовку і реалізацію комплексного проекту, спрямованого на збереження Куяльницького лиману та озера Сасик, що передбачає будівництво необхідних об'єктів і їх належне фінансування в строк до 1 листопада 2013 року»* (від 18.09.2012 р.).

Галузь використання – раціональне природокористування: технології сталого використання, збереження і збагачення біоресурсів та покращення їх якості і безпечності, збереження біорізноманіття.

Значущість роботи і висновки – результати досліджень є науковим обґрунтуванням заходів щодо створення сприятливого гідроекологічного режиму Куяльницького лиману, збереження та відновлення його природних ресурсів шляхом поповнення лиману морськими водами Одеської затоки.

Пропозиції щодо подальшого розвитку дослідження – врахування результатів роботи та продовження досліджень при виконанні ОВОС Проекту поповнення Куяльницького лиману морськими водами для збереження його природних ресурсів в межах реалізації завдань «Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки» та доручення Президента України (від 18.09.2012 р.).

КУЯЛЬНИЦЬКИЙ ЛИМАН, ВОДНО-СОЛЬОВИЙ РЕЖИМ, НАПОВНЕННЯ, ГІДРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН, ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

ЗМІСТ

	<i>Стор.</i>
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП.....	11
1 ОЦІНКА МОЖЛИВИХ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ПОПОВНЕННЯ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ВОДОЮ ДО ОПТИМАЛЬНОГО ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ ОБ'ЄМУ ВОДИ	15
1.1 Історичні відомості про поповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, Хаджибейського лиману та з водойм пересипу	16
1.1.1 Розвиток промислової добычі солі та штучне поповнення Куяльницького лиману морськими водами у ХІХ столітті	16
1.1.2 Штучне поповнення південної частини лиману морськими водами та характеристика солепромислів і з'єднувального каналу у ХХ столітті	23
1.1.3 Поповнення Куяльницького лиману водами Хаджибейського лиману	28
1.1.4 Фільтрація морських вод та поповнення лиману з водойм пересипу	30
1.2 Техніко-економічна оцінка можливості живлення Куяльницького лиману водами річки Дністер і Хаджибейського лиману та аналіз перспектив використання для цього наявних насосних станцій і гідротехнічних споруд.....	33
1.2.1 Схема подачі дністровської води в лиман та аналіз можливостей використання для цього наявних насосних станцій і гідротехнічних споруд	33
1.2.2 Загальна характеристика хімічного складу та якості питної води в напірних водоводах на виході з ВОС «Дністер»	40
1.2.3 Техніко-економічна оцінка та розрахунки поповнення Куяльницького лиману питною водою ТОВ «Інфокс» філії «Інфоксводоканал»	42
1.2.4 Загальна оцінка можливості поповнення Куяльницького лиману водами Хаджибейського лиману або СБО «Північна» та аналіз можливостей використання для цього наявних насосних станцій і гідротехнічних споруд	43
1.3 Оцінка існуючих можливостей з'єднання Куяльницького лиману з Одеською затокою Чорного моря у сучасних умовах	47
1.3.1 Оцінка рельєфу дна Куяльницького лиману та Одеської затоки Чорного моря на ділянках виходу кінців з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу або каналу) «море-лиман»	48

1.3.2 Оцінка рельєфу поверхні пересипу між лиманом та морем на ділянці з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман»	55
1.3.3 Характеристика штучних водойм пересипу між лиманом та морем на ділянці з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» ..	69
1.3.4 Наявна забудова і місцезоположення основних підземних комунікацій на території пересипу вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу чи каналу) «море-лиман» у сучасних умовах	88
1.3.5 Рекомендації щодо можливої траси проходження з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу або каналу) «море-лиман» на території пересипу у сучасних умовах.....	89
2 НАУКОВО-МЕТОДИЧНА БАЗА ТА ОЦІНКА НЕОБХІДНИХ ОБСЯГІВ І РЕЖИМУ НАДХОДЖЕННЯ ДО ЛИМАНУ ВОД ЧОРНОГО МОРЯ ТА РІЧКИ ДНІСТЕР	108
3 НАУКОВО-МЕТОДИЧНОЇ БАЗА ТА ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ІНТЕНСИВНОСТІ НАДХОДЖЕННЯ МОРСЬКИХ ВОД В ЛИМАН САМОПЛИНОМ ЧЕРЕЗ ШТУЧНИЙ З'ЄДНУВАЛЬНИЙ КАНАЛ АБО ТРУБОПРОВІД	124
3.1 Розрахунок трубопроводу	124
3.2 Розрахунок каналу «море-лиман».....	127
3.2.1 Визначення гідравлічно вигідного перетину каналу.....	127
3.2.2 Гідравлічний розрахунок каналу.....	128
4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ МІНЛИВОСТІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАВИСІ В ПРИБЕРЕЖНІЙ ЗОНІ ЧОРНОГО МОРЯ В РАЙОНІ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ	131
4.1 Характеристика мінливості швидкості вітру над акваторією Чорного моря	131
4.2 Характеристика сильних вітрів над акваторією Чорного моря.....	133
4.3 Спектральний підхід до опису поверхневих вітрових хвиль	135
4.4 Обвалення вітрових хвиль в прибережній акваторії м. Одеси	139
4.5 Результати моделювання	141
5 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ МІНЛИВОСТІ СОЛОНОСТІ ВОД КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ПІД ЧАС НАДХОДЖЕННЯ МОРСЬКИХ ВОД.....	149
6 ОЦІНКА ТА ПОРІВНЯННЯ ЯКОСТІ МОРСЬКИХ ТА ЛИМАНИХ (КУЯЛЬНИЦЬКИЙ ЛИМАН) ВОД У СУЧАСНИХ УМОВАХ	158
6.1 Куяльницький лиман	158
6.1.1 Іонний склад ропи.....	159
6.1.2 Біогенні речовини	161
6.1.3 Забруднюючі речовини.....	164
6.1.4 Порові розчини донних відкладень	165
6.1.5 Узагальнення результатів та висновки	167

6.2 Одеський регіон північно-західної частини Чорного моря	168
6.2.1 Іонний склад води	168
6.2.2 Біогенні речовини	169
6.2.3 Забруднюючі речовини	172
6.1.4 Узагальнення результатів та висновки	173
6.3 Порівняльна характеристика якості водного середовища Куяльницького лиману і Одеського регіону Чорного моря	174
7 ОЦІНКА МОЖЛИВИХ ЗМІН ГІДРОБІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОДИ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ПІСЛЯ НАПОВНЕННЯ ВОДОЙМИ ВОДАМИ ЧОРНОГО МОРЯ, РІЧКИ ДНІСТЕР АБО З ІНШИХ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ	178
7.1 Динаміка складу біоти Куяльницького лиману як передумова формування бальнеологічної грязі.....	178
7.2 Фундаментальні основи формування та функціонування бальнеологічної біоти гіпергалінних водойм.....	184
7.3 Очікувані сценарії формування біоти Куяльницького лиману при альтернативному наповненні водами з Чорного моря та інших водних об'єктів.....	191
8 ОЦІНКА ВПЛИВУ НАДХОДЖЕННЯ МОРСЬКИХ ВОД ДО КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ НА ЯКІСТЬ ЛІКУВАЛЬНИХ ГРЯЗЕЙ (ПЕЛОЇДІВ)	204
8.1 Основні фізико-хімічні характеристики пелоїдів	204
8.2 Макросклад ропи та розчину пелоїдів	210
8.3 Результати повного хімічного аналізу колоїдних дисперсій за схемою Щукарева	213
8.4 Методика оцінки фізико-хімічних та мікробіологічних процесів у пелоїдах Куяльницького лиману при його обводненні морською водою з Одеської затоки шляхом фізичного (експериментального) моделювання..	216
ВИСНОВКИ	218
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	229

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

NH_4^+ – азот амонійний

NO_3^- – азот нітратний, нітрати

NO_2^- – азот нітратний, нітрити

HCO_3^- – гідрокарбонат-іони, гідрокарбонати

Ca^{2+} – іони кальцію, кальцій

Mg^{2+} – іони магнію, магній

$Na^+ + K^+$ – іони натрію та калію, «натрій плюс калій»

SO_4^{2-} – сульфат-іони, сульфати

Cl^- – хлорид-іони, хлориди

% – відсоток (процент), відсотки (проценти)

‰ – солоність води в проміле

eh – евригалоб

hl – галофіт

i – індіферент

mh – мезогалоб

oh – олігогалоб

oh-mh – оліго-мезогалоб

°C – температура в градусах Цельсія

S – солоність води

WGS – Word geodesic system (Світова геодезична система)

α – мінералізація води

БС – Балтійська система висот

БСК – біохімічне (біологічне) споживання кисню

В. Куяльник – Великий Куяльник

ГДК – граничнодопустима концентрація

ГДК_{р-г} – рибогосподарський норматив ГДК

ГМО – гідрометеорологічна обсерваторія

ГХІ – Гідрохімічний інститут (м. Ростов на Дону, Росія)

д – доба

зах. д. – західна довгота

ЗР – завислі речовини

i-oh – індіферент-олігогалоб

ін. – інші

кг – кілограм, кілограми

км – кілометр, кілометри

л – літр, літри

Л – лужність води

ЛОЗ – лімітуюча ознака забруднення

м – метр, метри

м БС – відмітка поверхні в метрах Балтійської системи висот

м. – місто

мг – міліграм, міліграми

млн. – мільйон

НДР – науково-дослідна робота

ОГМІ – Одеський гідрометеорологічний інститут

ОДЕКУ – Одеський державний екологічний університет

ОДУ ім. І.І. Мечникова – Одеський державний університет ім. І.І. Мечникова

ОНУ ім. І.І. Мечникова – Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова

півн. ш., пн. ш. – північна широта

р. – річка, рік

рр. – річки, роки

с – секунда, секунди

с. – селище, село

СБО – станція біологічної очистки

США – Сполучені штати Америки

см – сантиметр, сантиметри

ст. – століття, сторіччя

сх. д. – східна довгота

T – твердість води

тис. – тисяча, тисячі

ВСТУП

Науково-дослідна робота (НДР) «Оцінка можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об'єктів» виконується Одеським державним екологічним університетом (ОДЕКУ) згідно договору № 5 від 26.03.2012 р. з Управлінням освіти і науки Одеської обласної державної адміністрації за рахунок бюджетних коштів з обласного фонду охорони навколишнього природного середовища, які виділені на реалізацію Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки, затвердженої рішенням Одеської обласної ради № 270-VI від 28.10.2011 р. [1].

Куяльницький лиман – це унікальний водний об'єкт загальнодержавного значення, віднесений до категорії лікувальних, який має значні рекреаційні, туристичні, бальнеологічні, лікувальні природні ресурси, що складають потужний потенціал соціально-економічного розвитку прилеглих до нього територій Одеської області України [2-5]. Наприклад, тільки запаси лікувальних ропи та грязей Куяльницького лиману, які за своїми властивостями є еталонними і не поступаються ропі та грязям Мертвого моря, оцінюються за різними даними в еквіваленті 5-7 млрд. доларів США.

Однак, через активну нерегульовану антропогенну (у тому числі, водогосподарську) діяльність на водозборі Куяльницького лиману, вплив кліматичних змін, відсутність ефективної системи комплексного управління (так званого інтегрованого управління природокористуванням за басейновим принципом), природні ресурси водойми знаходяться під загрозою повної або часткової втрати. Рівень води в Куяльницькому лимані на протязі 2009-2012 рр. має сталу тенденцію до зменшення, а його відмітки в 2012 році на 15-35 см нижчі за відмітки аналогічних періодів минулих 2010-2011 рр. (рисунок). Відмітка рівня води в лимані в серпні-вересні 2012 р. досягала мінус 7,0 м БС. Це призвело до катастрофічного обміління лиману та пересихання деяких частин його акваторії. Ропи гіперсолонного Куяльницького лиману при зниженні рівнів води в літні періоди 2009-2012 рр. перетворювалась в перенасичений («кріпкий») водно-сольовий розчин, мінералізація якого в серпні 2009 р. сягала 390 ‰, а з квітня по серпень 2012 р. зросла з 230 до 365 ‰, «опріснюючись» тільки в періоди весняного водопілля та короткочасних інтенсивних зливових опадів, як, наприклад, в кінці травня 2012 р., коли солоність зменшилась до 205 ‰. В умовах такого водно-сольового режиму Куяльницького лиману в літні періоди у водоймі відбувається самосадка розчинених в ропі лиману солей та утворення «соляної пустелі» (насамперед у верхній частині), як, наприклад, в липні-серпні 2009-2012 рр.

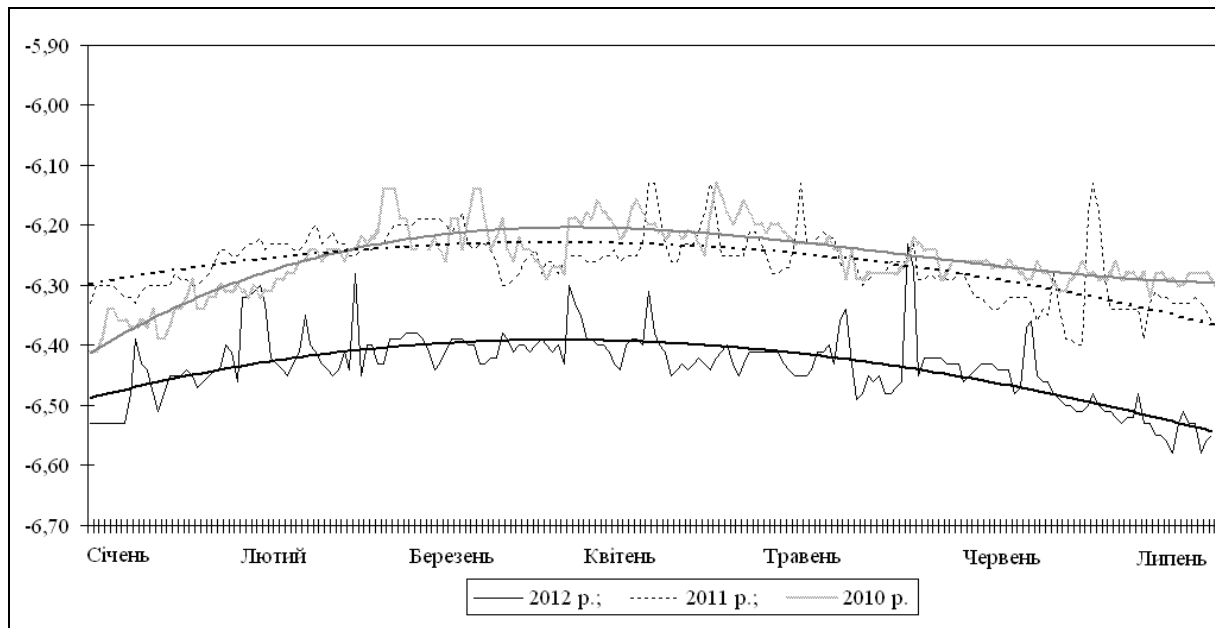


Рисунок – Відмітки середньодобових рівнів води Куяльницького лиману, м БС, з січня по червень 2010, 2011 та 2012 рр.

На зменшення водності Куяльницького лиману впливають значна зарегульованість малих річок (Великий Куяльник, Кубанка, Довбока) и балок (Корсунцівська, Гільдендорфська тощо), що живлять Куяльницький лиман, штучними водоймами (водосховища, ставки, копані тощо) та гідротехнічними спорудами, які затримують стік, а також спрямлення р. Великий Куяльник.

Головні наслідки для екосистеми та природних ресурсів (водних, бальнеологічних, рекреаційних й інших) Куяльницького лиману полягають у наступному:

- зникнення своєрідної флори та фауни лиману при солоності ропи більше 200 ‰, наприклад, зябраного рачка – артемія (*Artemia Salina*), та червоно-буре «цвітіння» води за рахунок масового розвитку та відмирання (деструкції) фітопланктонної зеленої водорості *Dunaliella Salina*, як, наприклад, в період з травня по жовтень 2012 р.;

- втрата унікальних за лікувальними властивостями запасів грязей та ропи лиману (пелоїди Куяльницького лиману визнані еталонними у світі) [4];

- зниження рекреаційного та бальнеологічного потенціалу Одеської області та України, втрата лиману як курорту державного значення [5] відомого на весь світ.

Відповідно до моделі водно-сольового балансу, водність Куяльницького лиману та його сольовий режим головним чином залежать від співвідношення величин атмосферних опадів, що випадають на водну поверхню лиману, об'єму випаровування та річкового припливу води. Оцінка багаторічного ходу річних шарів атмосферних опадів та випаровування Куяльницького лиману вказує на

те, що величини випаровування в продовж періоду з 1960 по 2010 рр. завжди більші за шари атмосферних опадів [6-9].

У зв'язку з тим, що неможливо вплинути на атмосферні опади та випаровування, одним з небагатьох варіантів гідроекологічного менеджменту є впорядкування річкового стоку в басейні Куяльницького лиману. Нажаль, швидко це зробити майже неможливо і це реальність. Тому, зважаючи на критичну ситуацію, яка склалася через катастрофічне обміління Куяльницького лиману в останні роки, виникнення наявної загрози втрати його унікальних лікувальних, бальнеологічних, рекреаційних ресурсів, загрозу розвитку екологічної катастрофи, пов'язаної з можливим засоленням ґрунтів прилеглих до лиману територій, необхідне термінове живлення лиману морськими водами з Одеської затоки через штучну з'єднувальну гідротехнічну споруду (трубопровід або канал) [10] або водами з інших водних об'єктів (ВО), наприклад, з р. Дністер, з Хаджибейського лиману чи станції біологічної очистки (СБО) «Північна» тощо. Це є вимушеним, але необхідним і виправданим заходом у сучасних умовах [11-13].

З урахуванням актуальності проблеми, яка вирішується, метою НДР була кількісна оцінка можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об'єктів.

Для досягнення мети (відповідно до технічного завдання НДР) виконані наступні завдання:

- аналіз можливих альтернативних джерел поповнення об'єму вод Куяльницького лиману (крім природного наповнення водойми за рахунок припливу поверхневих вод з водозбірного басейну лиману, в тому числі з русловим стоком рр. В. Куяльник, Довбока, Кубанка й інших) до оптимального, для збереження природних ресурсів, рівня води;
- оцінка існуючих можливостей з'єднання лиману з морем у сучасних умовах та визначення траси проходження з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» (каналу чи трубопроводу);
- обґрунтування науково-методичної бази для розрахунків необхідних об'ємів надходження морських вод до лиману;
- збір вихідних даних, необхідних для виконання гідрологічних розрахунків;
- нівелювання й оцінка за картографічними матеріалами та планами рельєфу поверхні пересипу між Куяльницьким лиманом і Одеською затокою Чорного моря на ділянці з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» (каналу чи трубопроводу);
- оцінка рельєфу дна Куяльницького лиману та Одеської затоки Чорного моря на ділянках впадіння з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» (каналу чи трубопроводу);

- техніко-економічна оцінка можливості живлення Куяльницького лиману водами р. Дністер і Хаджибейського лиману та перспективи використання наявних насосних станцій і гідротехнічних споруд для наповнення лиману;
- оцінка необхідних обсягів та режиму надходження морських вод до лиману через з'єднувальну гідротехнічну споруду «море-лиман» (канал чи трубопровід);
- гідравлічні розрахунки інтенсивності водообміну Куяльницького лиману з морем самопливом через штучний з'єднувальний канал та трубопровід;
- розробка рекомендацій, на підставі модельних розрахунків, щодо розташування морської частини трубопроводу чи з'єднувального каналу;
- гідродинамічне моделювання течій та оцінка просторово-часової мінливості солоності ропи в лимані при його поповненні морськими водами;
- попередній аналіз впливу надходження морських вод в лиман на якість вод в лимані;
- оцінка та порівняння якості морських і лиманних вод в сучасних умовах;
- оцінка можливих змін гідробіологічних показників якості лиманних вод після наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря або річки Дністер й інших можливих джерел;
- оцінка впливу надходження морських вод до Куяльницького лиману на якість лікувальних грязей;
- розробка науково-обґрунтованих рекомендацій щодо заходів по створенню сприятливого гідроекологічного режиму Куяльницького лиману, збереженню та відновленню його природних ресурсів за рахунок поповнення водойми морськими водами.

Президент України В.Ф. Янукович за результатами свого робочого візиту в м. Одесу 18 вересня 2012 р. доручив Кабінету Міністрів України підтримати ряд ініціатив, висловлених під час зустрічі з ним представниками адміністративно-господарського активу Одеської області. Зокрема, враховуючи критичний гідроекологічний стан (насамперед – висихання) водного об'єкта загальнодержавного значення віднесеного до категорії лікувальних і відомого в Україні та за її межами бальнеологічного курорту – Куяльницького лиману, він оголосив про доручення прем'єр-міністрові, міністрові екології та природних ресурсів і голові Одеською обласної державної адміністрації *«забезпечити спільно з Національною академією наук України підготовку і реалізацію комплексного проекту, спрямованого на збереження Куяльницького лиману та озера Сасик, що передбачає будівництво необхідних об'єктів і їх належне фінансування в строк до 1 листопада 2013 року»*.

1 ОЦІНКА МОЖЛИВИХ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ПОПОВНЕННЯ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ВОДОЮ ДО ОПТИМАЛЬНОГО ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ ОБ'ЄМУ ВОДИ

Куяльницький лиман належить до групи закритих лиманів і є одним із найдавніших на території Північно-Західного Причорномор'я [14-17]. Лиман, відповідно до фізико-географічного районування, знаходиться на Одеській рівнині, в межах приморського району південної степової підзони [18].

Виникнення лиманів в цьому регіоні відносять до середнього пліоцену, до якого Причорномор'я було низинною рівниною [9, 16, 19]. Підняття території, що відбулося в зазначений період, призвело до розчленування рельєфу та утворення річкових долин. Гирлові ділянки річок за період середнього та пізнього пліоцену поглибилися на 25-30 м. Море, що наступило на ці ділянки річок, й обумовило утворення лиманів Причорномор'я. Пізніше, у зв'язку з чергуванням регресії та трансгресії, неодноразово змінювалися обриси лиманів. Сучасний вигляд берегової зони Куяльницького лиману формувався протягом останніх 5,0-5,5 тис. рр., коли рівень води в Чорному морі вперше досяг сучасних відміток. Наступні коливання рівня моря, у тому числі фанагорійська регресія (від 4,5-4,4 тис. рр. до н.е. до II-III ст. н.е.) і німореїська трансгресія (триває понині), вплинули на сучасні розміри та конфігурацію лиману.

У розвитку улоговини Куяльницького лиману виділяють дві стадії: річкова долина та лиман. Остання стадія, у свою чергу, може бути поділена на 2 етапи: 1) етап існування відкритого естуарію, 2) лиманний етап, коли водойма втратила зв'язок з морем [9, 19]. Відділення Куяльницького лиману від моря відбулося, відповідно до історичних даних і археологічних розкопок, не пізніше XV-XVI ст. [16, 20, 21]. Наприклад, А.Р. Осмоловский-Ярошенко, який вивчав історію освоєння Куяльницького та Хаджибейського лиманів [21, 22], зробив в 1929 р. такі висновки щодо періодів існування Куяльницького лиману як відкритої водойми, часу його відокремлення від моря та причин формування пересипу: *«Досить численні сліди грецької культури, і пізніших часів, які зустрічаються по берегах Куяльницького лиману й по Гільдендорфській балці, а також Генуезька котва, що її знайдено в цьому лимані, – усе це свідчить, що лиман цей ще в XV віці був сполучений з морем, що до нього з моря могли приходити і грецькі і генуезькі кораблі: тому греки охоче й засіляли береги цього лиману, що він не був відокремлений від моря, як Хаджибейський, і був тоді гаванню. Пересип цього лиману є молодий утвір і в формуванні його головну участь бере течія зі сходу, що встановилася тут разом зі зниженням морського рівня, коли Дніпро почав осолоджувати Одеську затоку»*. Однак, вже на початку XIX ст. – в атласі Будищева від 1807 р., пересип Куяльницького лиману показано суцільною вузькою смугою, шириною приблизно 100 м [16].

1.1 Історичні відомості про поповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, Хаджибейського лиману та з водойм пересипу

Поповнення Куяльницького лиману морською водою має більш ніж столітню історію та невід’ємно пов’язано з розвитком соляного промислу у водоймі. В історичному сенсі соляний промисел на Куяльницькому лимані грав важливу роль в економічному розвитку Східної та Західної Європи. Вже починаючи з XVI ст. найкращу сіль з лиману вивозили в Польщу та інші країни Західної Європи. У XVII-XVIII ст. в Україні та Європі сіль була одним з найдорожчих товарів, але нестабільність самостійного випадіння солі в різні роки спричинювало коливання обсягів її видобування в лимані [22-24].

1.1.1 Розвиток промислової добичі солі та штучне поповнення Куяльницького лиману морськими водами у XIX столітті

Для стабільного функціонування та розвитку промислової добичі солі в період з 1859 по 1878 рр. Куяльницький лиман було перегороджено дамбою (рис. 1.1) навпроти німецької колонії Гільдендорф (нині – с. Красносілка) на дві частини – північну, в якій затримували прісні води весняних водопіль і дощових паводків, та південну (солесадкову), де здійснювалась промислова добыча солі. Дамбу почали будувати в 1859 р. за проектом гірського інженера Рожкова [16, 22, 25-31]. Крім цієї дамби, щоб припинити приплив прісних вод в південну (солесадкову) частину лиману, були загачені дві балки східного берегу лиману (Гільдендорфська та Корсунцівська). За проектом дамба Рожкова складалася з глини з кам’яними стінками та повинна була мати довжину 2933 м. Для сполучення обох частин лиману в дамбі передбачався водовипуск. Під час будівництва дамба постійно просідала, тому остаточне завершення робіт по будівництву дамби були припинено до весни 1861 р. Однак, на початку березня 1861 р. в результаті дружного та швидкого танення снігу вода в лимані піднялася і затопила дамбу. Гребінь дамби був розмитий. До 1864 р. обидві частини лиману вільно з’єднувалися. У 1864 р. роботу по будівництву дамби було завершено, проте південна частина лиману солесадковою не стала, що пов’язано з її «опрісненням» водами значних весняних водопіль у 1861-1863, 1870-1871, 1875-1878 рр. (рис. 1.2). У 1871 р. дамба була розмита знову, це повторилося в 1876 і 1878 рр., тому з 1878 р. було вирішено дамбу більше не відновлювати, а обидві частини лиману з тих пір знову утворили єдину водойму [6, 16, 21-28]. Залишки цієї дамби існують до сьогодні. Їх можна бачити на сучасних супутникових знімках (рис. 1.3а, табл. 1.1).



Рисунок 1.1 – Фрагмент карты Шуберта, кінець XIX ст., 1869 р.

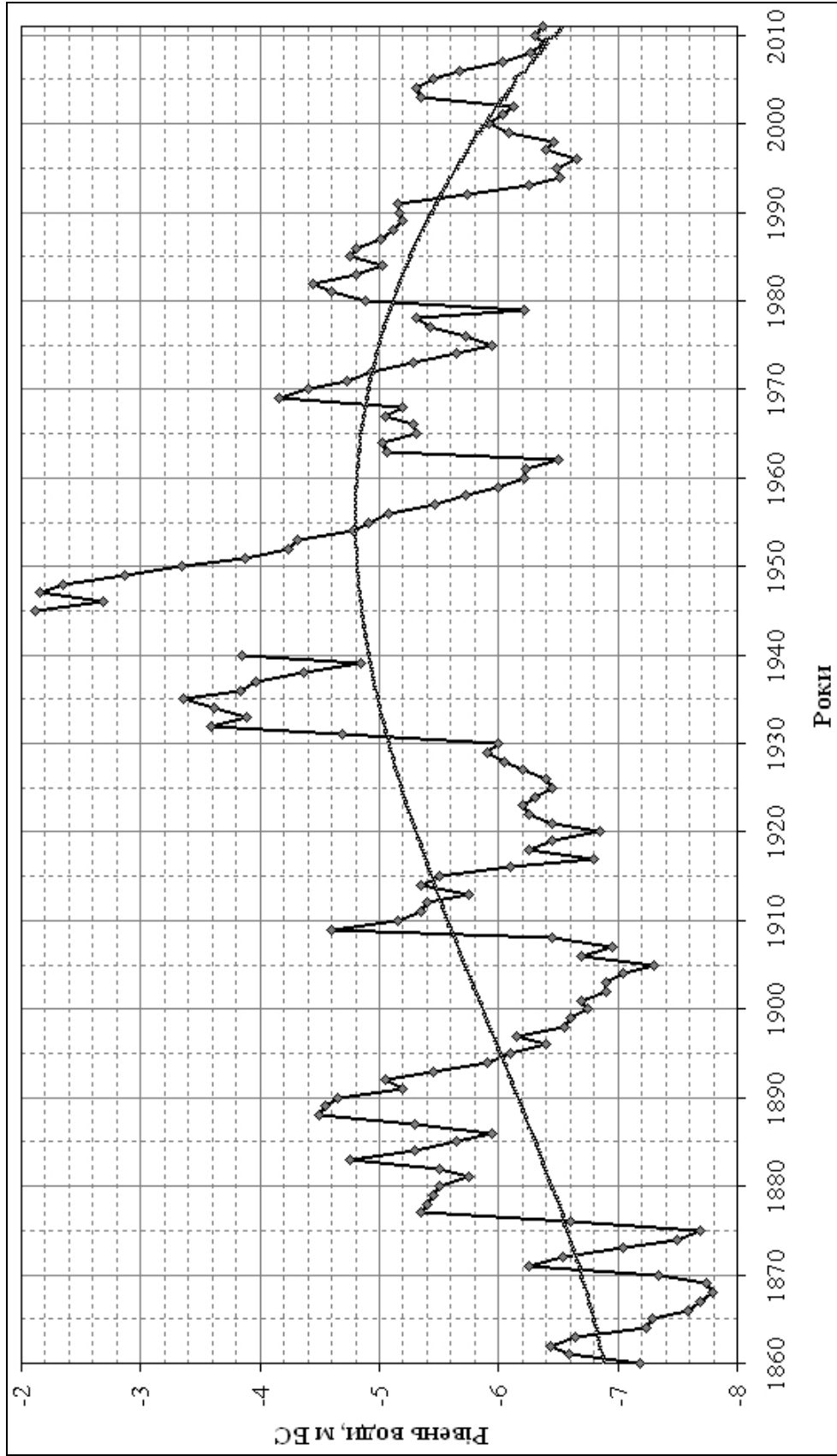


Рисунок 1.2 – Багаторічні коливання середньорічних рівнів води Куяльницького лиману
за період з 1860 по 2011 рр.

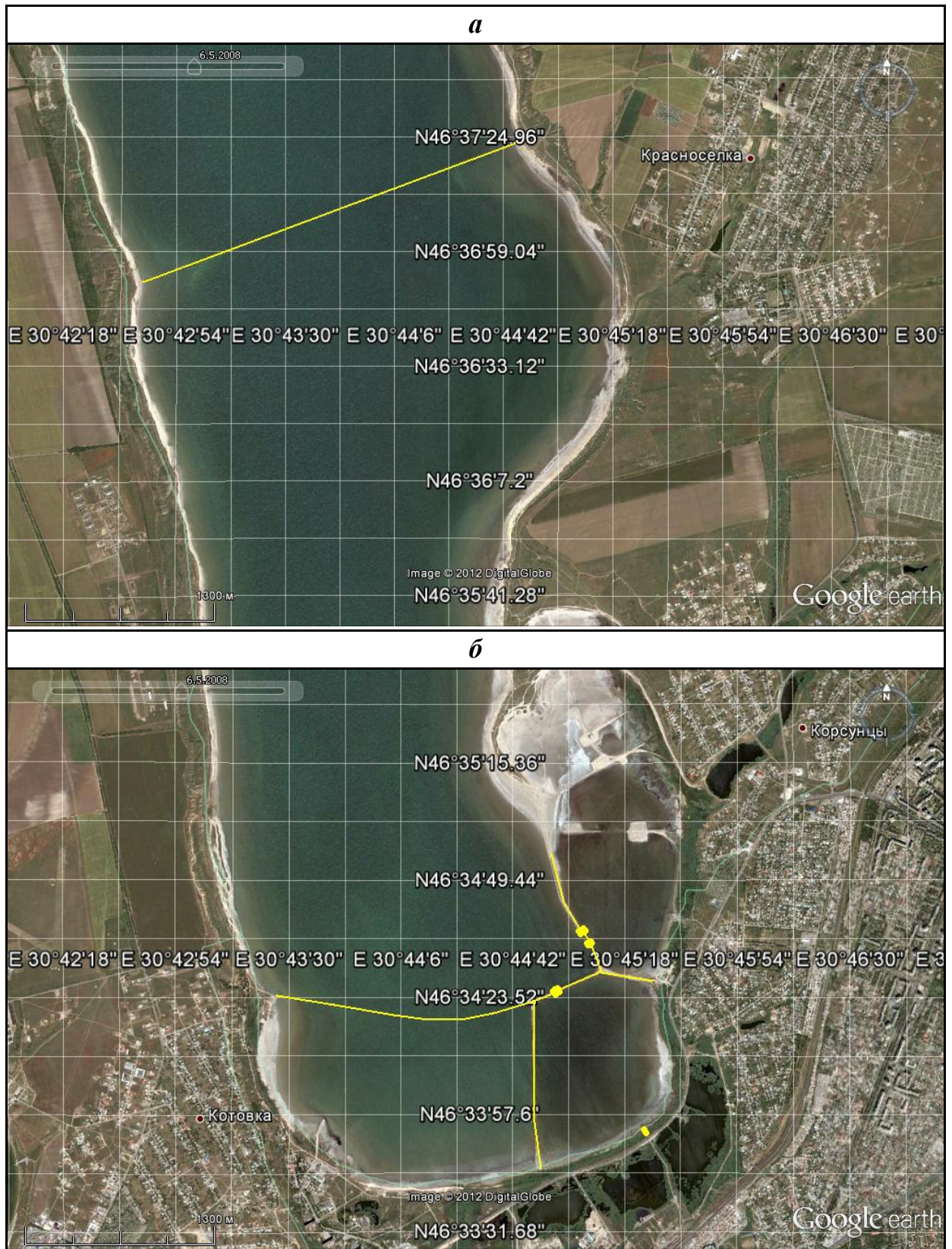


Рисунок 1.3 – Супутниковий знімок Куяльницького лиману з залишками дамб солепромислів (станом на 05.06.2008 р.): **а** – дамба Рожкова, **б** – дамби Корсунцівського та Андріївського солепромислів [32]

Таблиця 1.1 – Координати дамб солепромислів на Куяльницькому лимані (станом на 05.06.2008 р.)

Координати (WGS-84), ° ' " півн. ш. ° ' " сх. д.	Примітка
1	2
Нижня дамба Корсунцівського солепромислу – надводна, Г-образна, $B_{max} \approx 20$ м, $B_{min} \approx 10$ м, $B_{сер} \approx 15$ м, $L \approx 2000$ м (рис. 1.3, б)	
46°33'45,02" 30°44'49,64"	місце сполучення з південним берегом лиману
46°33'49,22" 30°44'49,60"	
46°33'54,13" 30°44'49,24"	
46°33'58,20" 30°44'48,96"	
46°34'03,23" 30°44'48,78"	
46°34'07,85" 30°44'48,92"	
46°34'12,43" 30°44'48,56"	
46°34'17,38" 30°44'48,32"	місце сполучення з Андрієвським солепромислом
46°34'22,37" 30°44'48,33"	
46°34'23,71" 30°44'51,53"	водопропускний отвір в тілі дамби ($B \approx 35$ м)
46°34'24,80" 30°44'55,05"	
46°34'25,02" 30°44'56,08"	
46°34'25,28" 30°44'57,12"	
46°34'26,89" 30°45'02,33"	місце сполучення з верхньою дамбою солепромислу
46°34'28,59" 30°45'07,36"	
46°34'29,46" 30°45'10,33"	
46°34'28,48" 30°45'16,22"	місце сполучення зі східним берегом лиману
46°34'26,91" 30°45'26,88"	
Верхня дамба Корсунцівського солепромислу – надводна, майже пряма, $B_{max} \approx 60$ м, $B_{min} \approx 15$ м, $B_{сер} \approx 25$ м, $L \approx 1300$ м (рис. 1.3, б)	
46°34'29,46" 30°45'10,33"	місце сполучення з нижньою дамбою солепромислу
46°34'32,96" 30°45'07,99"	
46°34'34,67" 30°45'06,67"	водопропускний отвір в тілі дамби ($B \approx 30$ м)
46°34'35,25" 30°45'06,29"	
46°34'35,83" 30°45'05,72"	
46°34'36,91" 30°45'04,84"	водопропускний отвір в тілі дамби ($B \approx 30$ м)
46°34'37,54" 30°45'04,28"	
46°34'38,41" 30°45'03,71"	
46°34'41,86" 30°45'00,57"	північний край дамби
46°34'45,02" 30°44'57,99"	
46°34'51,38" 30°44'55,77"	
46°34'59,82" 30°44'52,39"	

При низьких рівнях води в лимані, як, наприклад, з липня по жовтень 2012 р., прибережні ділянки дамби знаходяться вище поверхні води (рис. 1.4), а по їх залишкам навіть можна перейти з одного берегу лиману на інший [26-28].



Рисунок 1.4 – Фотознімки берегових ділянок Куяльницького лиману в 2012 р. з залишками дамби Рожкова (в створі с. Красносілка): *a* – ділянка дамби зі східного берегу лиману [28]; *б* – ділянка дамби з західного берегу лиману [27]

У роки поділу лиману дамбою на дві частини (в 60-ті та 70-ті рр. XIX ст.) рівень води в південній частині лиману регулювався впуском води з моря. З 1860 по 1873 рр. морську воду подавали до лиману декілька разів. Однак, в зв'язку з тим, що після значних водопілів вода проривала дамбу Рожкова і «опріснювала» південну частину лиману, видобування солі традиційним на той час способом стало зовсім неможливим. Тому для стабільного промислового видобування солі вже з 1861 р. почали влаштовувати басейни для випаровування води і збору солі.

Обсяг видобування солі становив: у 1862 р. – 683985 пудів або приблизно 11 тис. т (1 пуд = 16,38 кг), у 1863 р. – 2749650 пудів або $\approx$ 45 тис. т, у 1864 р. – 3841782 пуда або $\approx$ 63 тис. т. Промисел солі здійснювався на Куяльницькому лимані аж до 1931 р. і за 70 років солепромислу було видобуто 1,5 млн. т найякіснішої в Європі солі.

Оцінити інтенсивність промислової добичі солі в південній частині Куяльницького лиману наприкінці XIX ст. (1893 р.) та на початку XX ст. можна за фотознімками грязелікарні, будівлі якої на цих фотознімках розміщені на фоні значних за розмірами ділянок солепромислів (басейнів для випаровування води, дамб солепромислів, настилів для збору солі тощо) [33, 34].

1.1.2 Штучне поповнення південної частини лиману морськими водами та характеристика солепромислів і з'єднувального каналу у XX столітті

За офіційними даними, в XX ст. Куяльницький лиман також ще двічі поповнювали морською водою – в 1907 та 1926 рр. (рис. 1.2). В 1890-1901 рр. для забезпечення потреб солепромислів в південній частині лиману (Корсунцівського – з південно-східної частини лиману (рис. 1.3б), та Андрієвського – з південно-західної частини лиману (рис. 1.3б), в районі санаторію) в східній частині пересипу між лиманом і Одеською затокою Чорного моря було споруджено з'єднувальний канал довжиною 2,6 км [16]. Через канал у 1907 р. до лиману надійшло приблизно 20 % морської води (рис. 1.2) від об'єму води в лимані [16]. З 1921 по 1925 рр. неодноразово розглядалось питання щодо відновлення подачі морської води в Куяльницький лиман. Тому в 1926 р., при рівні води мінус 7,12 м БС, до лиману було знову подано морську воду загальним об'ємом 7,5 млн. м³, що становило 35 % об'єму води в лимані. Схеми з'єднувального каналу «море-лимани», ситуація місцевості вздовж його траси, морфометричні характеристики та схеми соляних промислів в південній частині лиману за різні роки XX ст. (1926, 1931, 1969 та 1984 рр.) показані в існуючій в єдиному екземплярі рукописній книзі Управління шляхів Одеського трамваю (за 1935 р.) та в роботі [16] (рис. 1.5-1.9).

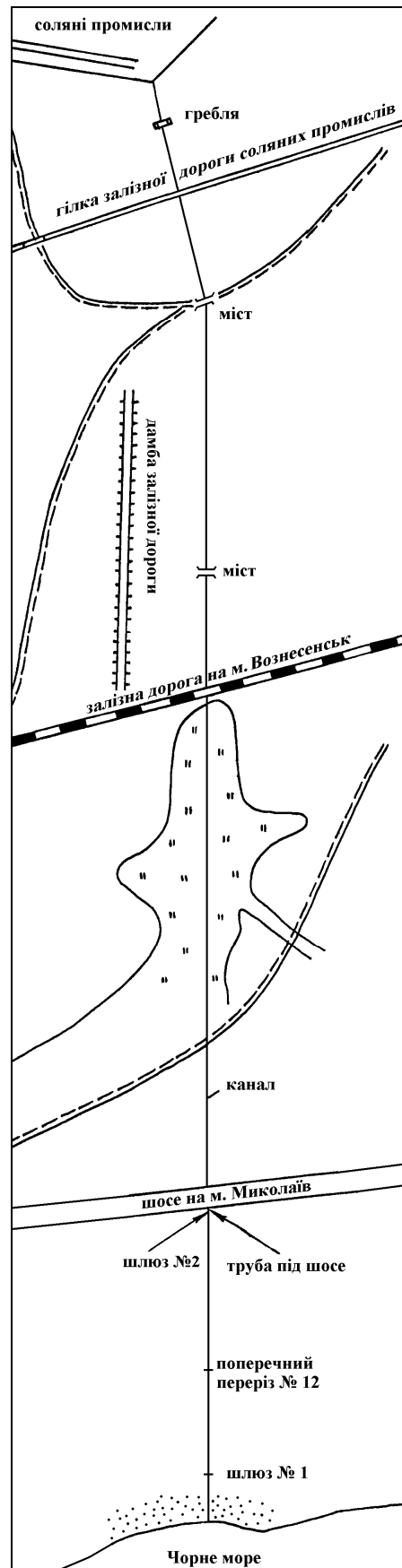


Рисунок 1.5 – Схема місцезнаходження з'єднувального каналу «море-лиман» та ситуація місцевості пересипу вздовж його траси (станом на 1926 р.)

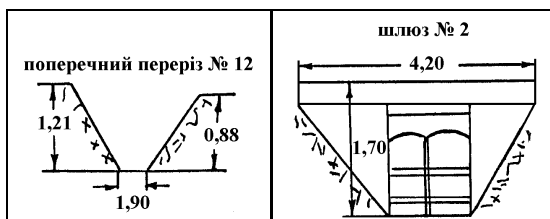


Рисунок 1.6 – Схеми та морфометричні характеристики поперечного перерізу № 12 з'єднувального каналу «море-лиман» і шлюзу № 2 (станом на 1926 р.)

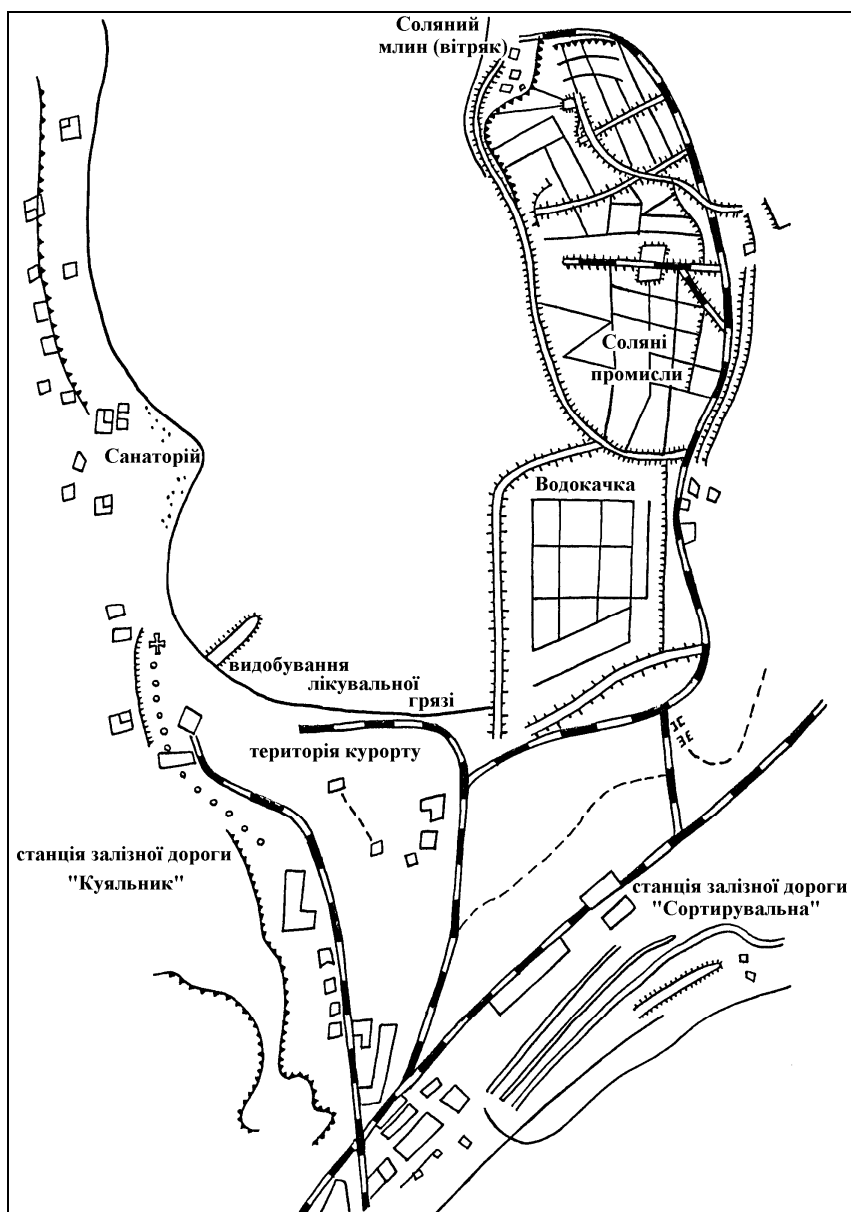


Рисунок 1.7 – Схема соляних промислів, території санаторія «Куяльник» та пересипу Куяльницького лиману (станом на 1931 р.)

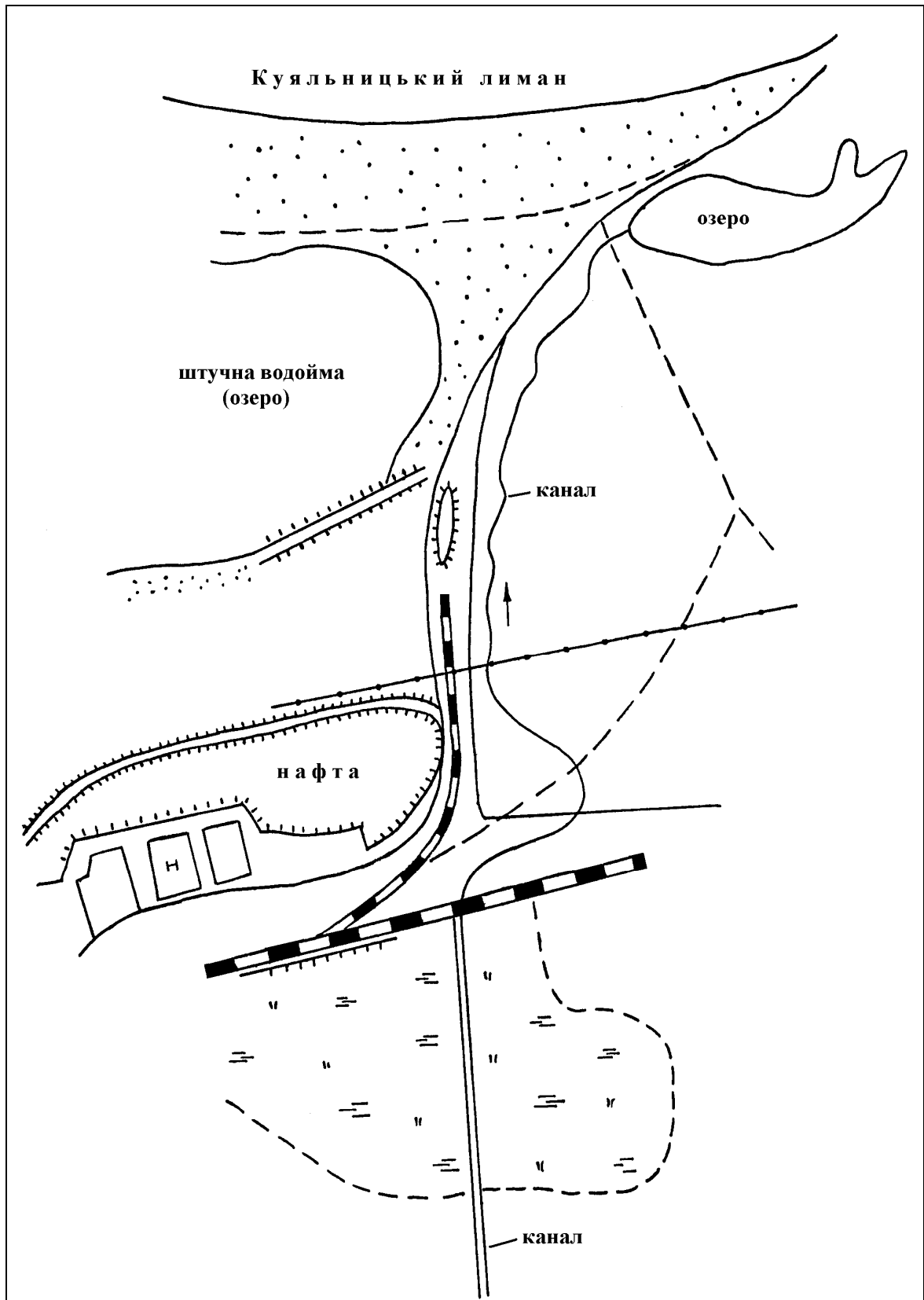


Рисунок 1.8 – Схема місцезнаходження з'єднувального каналу «море-лиман» та ситуація місцевості частини пересипу вздовж його траси (станом на 1969 р.)

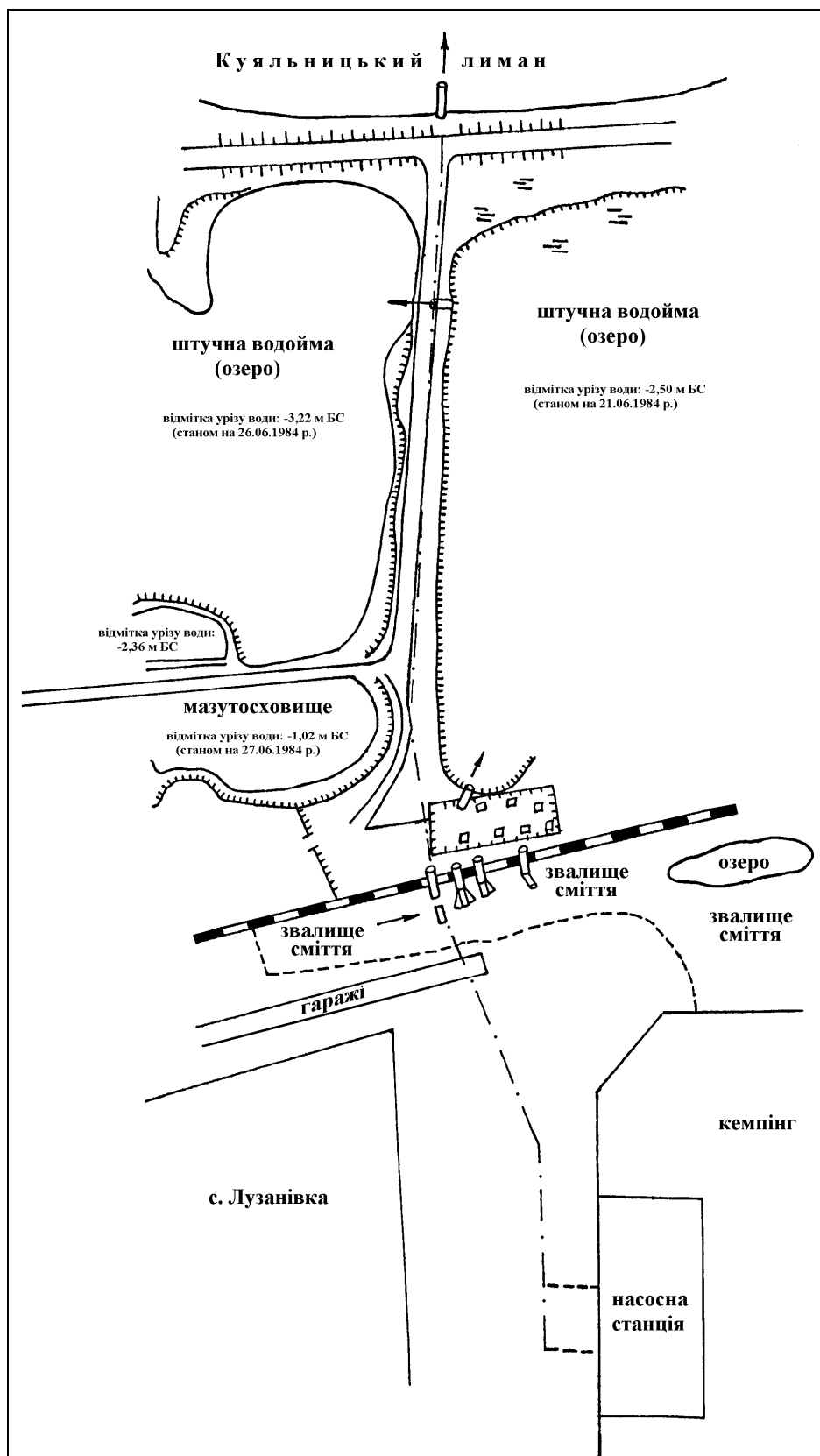


Рисунок 1.9 – Схема скидного зливового каналізаційного трубопроводу в Куяльницький лиман та ситуація місцевості пересипу вздовж його траси (станом на 1984 р.)

З'єднувальний канал «море-лиман» також добре видно на фотознімках періоду другої світової війни (рис. 1.10).

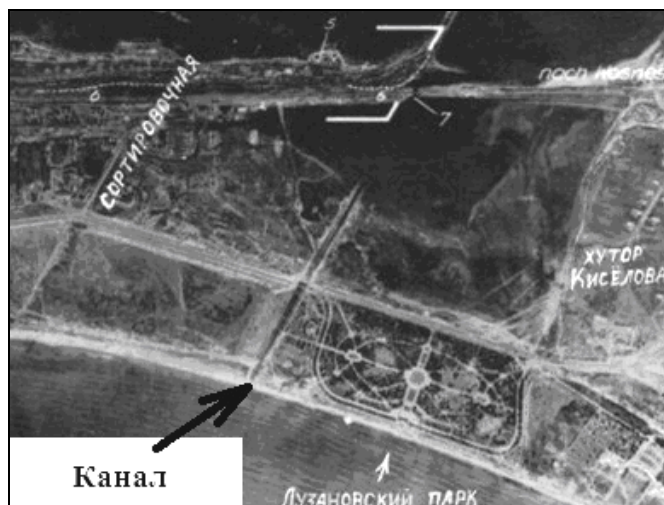


Рисунок 1.10 – Фрагмент аерофотозйомки території пересипу між Куяльницьким лиманом та Одеською затокою Чорного моря (станом на 1944 р.)

1.1.3 Поповнення Куяльницького лиману водами Хаджибейського лиману

В 1941-1942 р. Куяльницький лиман на 70 % об'єму поповнився водою з Хаджибейського лиману [35]. Це відбулося після руйнування (підриву) захисної дамби Хаджибейського лиману-водосховища. Вода затопила територію Куяльницько-Хаджибейського пересипу і потрапила в Куяльницький лиман (рис. 1.11). За даними водомірних спостережень [35] рівень води в лимані перевищив в червні 1944 р. відмітку мінус 2,00 м БС (рис. 1.12), а за даними М.Ш. Розенгурта [19] – в квітні 1942 р. він становив мінус 1,15 м БС. Про це також свідчать фотознімки затопленої території грязелікарні санаторію «Куяльник» того періоду (рис. 1.11) та фрагмент аерофотозйомки території району Лузанівки в 1944 р. (рис. 1.10), де видно частину затопленого пересипу на ділянці з'єднувального каналу.

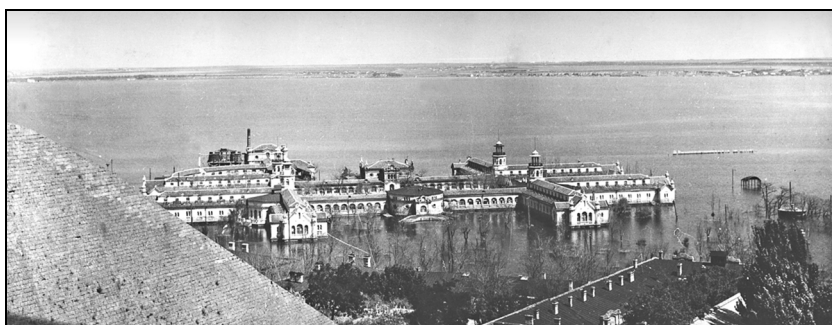


Рисунок 1.11 – Затоплена територія грязелікарні санаторію «Куяльник», після надходження води з Хаджибейського лиману в 1941 р.
(вид з терренкурту на Жеваховій горі)

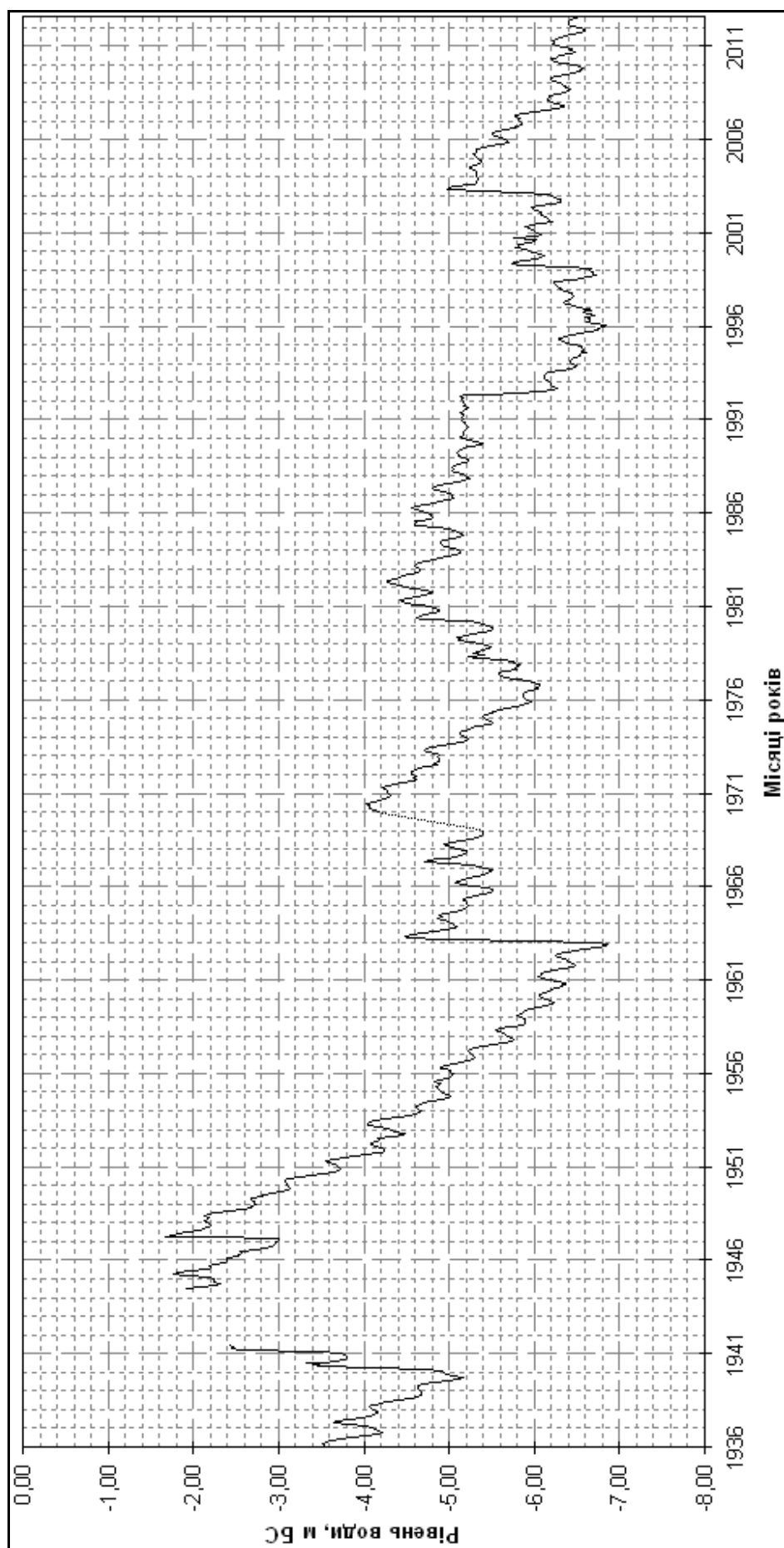


Рисунок 1.12 – Багаторічні хід середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману за період з січня 1936 р. по липень 2012 р.

1.1.4 Фільтрація морських вод та поповнення лиману з водойм пересипу

В водоймах (озерах) пересипу (рис. 1.13), які існували з моменту появи пересипу, в результаті вклинювання фільтраційного потоку з моря та випадання атмосферних опадів постійно накопичувався деякий об'єм води.



Рисунок 1.13 – Місцезоположення водойм пересипу Куяльницького лиману

Ще в 1898 р. на роль пересипу в водному живленні лиману звернув увагу А. Веріго. За його даними, у водах пересипу спостерігалось збільшення солоності з глибиною. В поверхневих шарах пересипу води були прісні, а на глибині 5 м – досягали солоності та хімічного складу морської води. А. Веріго також відзначає процес випаровування вод, що фільтрувалися через пересип, з її поверхні та водної поверхні озер [16].

До будівництва об'їзної автодороги з озер пересипу йшло природне розвантаження води в лиман у вигляді поверхневого стоку та фільтраційного потоку. Величину цього притоку води врахувати не представляється можливим, оскільки стік здійснювався розосереджено по всій ширині пересипу, а його величина обумовлювалася головним чином кількістю атмосферних опадів і перепадом рівнів води в морі та лимані.

У 1973-1975 рр. Українським науково-дослідним інститутом медичної реабілітації та курортології для вивчення взаємозв'язку між водами лиману та водоносних горизонтів, в лиманових і лиманово-морських відкладеннях були пробурені свердловини та організовані режимні спостереження, які показали, що роль фільтрації морських вод через пересип досить незначна та становить $0,003-0,004 \text{ м}^3/\text{с}$ або приблизно $0,11 \text{ млн. м}^3/\text{р}$ [16].

Після будівництва окружної дороги м. Одеси, її насип став своєрідною дамбою для поверхневого та фільтраційного потоків з пересипу, тому об'єм води в його озерах збільшився (рис. 1.14).



Рисунок 1.14 – Фотознімок ділянки пересипу між Куяльницьким лиманом і Одеською затокою Чорного моря з двома центральними озерами (станом на 21.06.2007 р.)

Приблизно з цього ж часу природні озера пересипу поступово були перетворені в чотири штучні водойми (ставки), що з'єднані між собою нерегульованими водопропускними спорудами, головним чином у вигляді труб (рис. 1.15). В періоди інтенсивних зливових дощів, як наприклад, 24 травня 2012 р., в ставках пересипу спостерігається швидке та значне підвищення рівня води, в деяких випадках на 0,5 м. Це пов'язано з тим, що водний режим цих ставків на сьогодні головним чином залежить від централізованого скидання зливових та інших стічних вод (рис. 1.9), об'єм яких оцінити неможливо через відсутність їхнього обліку.

Перетік води в цих ставках зазвичай спрямований від східного ставка (озеро 1), куди стікають злилові води з с. Шевченково та району Лузанівки, через південно-східний ставок (озеро 2), куди також скидаються злилові й інші стічні води, в південно-західний (озеро 3) і далі – в західний ставок (озеро 4), в який також скидаються води зливової каналізації з вул. Лиманна (м. Одеса).

Такий напрямок перетоку води в цих ставках обумовлений рівнем води в них при наповненні, який зазвичай є найвищим в східному ставку (рис. 1.9 та 1.15).

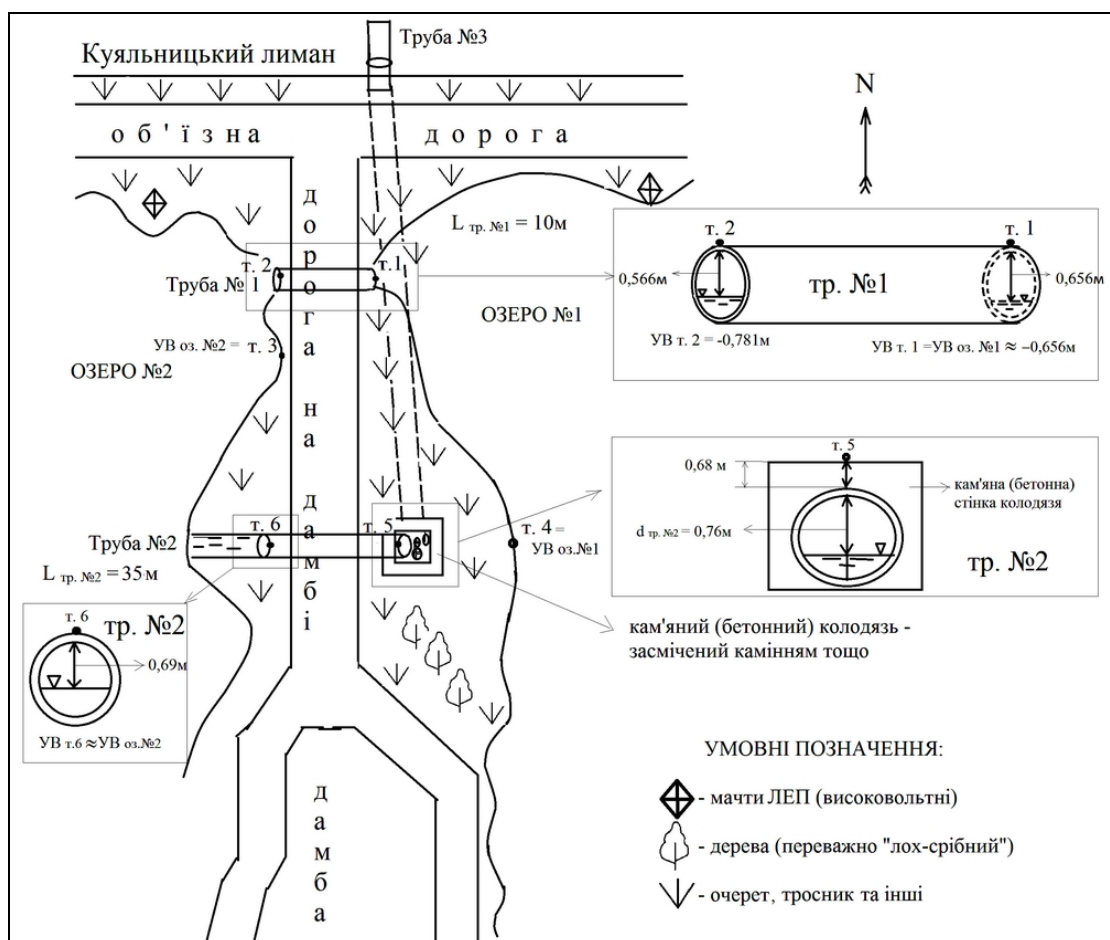


Рисунок 1.15 – Схема частини скидного зливового каналізаційного трубопроводу та водообміну між ставками пересипу Куяльницького лиману (станом на 2012 р.)

Для відведення води з ставків пересипу під окружною дорогою було споруджено нерегульований водовипуск з західного ставка (озеро 4) до південно-західної частини лиману. Цей водовипуск складається з залізобетонної труби діаметром 1,20 м (під окружною дорогою) та бетонного лотка з прямокутним перетином, шириною 1,2 м та середньою глибиною 1,0 м. На ділянці від водовипуску до лиману постійно діючий водний потік виробив русло з чітко вираженими меандрами (крок меандрів дорівнює приблизно 20 м).

За результатами натурних спостережень за скиданням води в лиман через цей водовипуск впродовж періоду з 1986 по 1995 рр. [16] та в 2012 р. встановлено, що величина скидів носить сезонний характер: у осінній та зимово-весняний період, коли рівень води в ставках пересипу найбільш високий, витрати скидних вод становлять в середньому $0,25 \text{ м}^3/\text{с}$, а в літній період – знижуються до $0,03\text{-}0,16 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким чином, річні об'єми скидних вод з ставків пересипу у сучасних умовах можуть становити $4,62\text{-}6,62 \text{ млн. м}^3$.

1.2 Техніко-економічна оцінка можливості живлення Куяльницького лиману водами річки Дністер і Хаджибейського лиману та аналіз перспектив використання для цього наявних насосних станцій і гідротехнічних споруд

З небагатьох можливих альтернативних варіантів відновлення необхідних рівня та солоності води в Куяльницькому лимані (за виключенням поповнення морськими водами) є подача в нього води з р. Дністер, Хаджибейського лиману або очищених вод з СБО «Північна».

1.2.1 Схема подачі дністровської води в лиман та аналіз можливостей використання для цього наявних насосних станцій і гідротехнічних споруд

Відстань між Куяльницьким лиманом і р. Дністер становить лиш 40-50 км. Однак, існуючий рельєф місцевості не дозволяє прорити канал з вільною течією, який забезпечить подачу річкової води в лиман. Крім того, слід зважати на те, що річкові води містять значно більшу кількість забруднюючих речовин, ніж морські. Санітарно-хімічні показники якості води р. Дністер, за даними товариства з обмеженої відповідальністю «Інфокс» філії «Інфоксводоканал», наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Санітарно-хімічні показники якості води р. Дністер в першому півріччі 2012 р. (за даними ТОВ «Інфокс» філії «Інфоксводоканал»)

№ п/п	Найменування показника якості води	Середньомісячні значення показників якості води								
		січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє за півріччя
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Кольоровість, градус	20	20	20	20,3	20,2	20	20	20,3	20,1
2	Мутність, мг/дм ³	2,7	2,6	3,0	8,4	10,7	10,90	2,60	10,90	6,38
3	Запах (при 20 °С), бал	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Реакція рН, од. рН	8,00	8,05	8,04	8,15	8,00	7,90	7,90	8,15	8,02

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	Кальцій, мг/дм ³	64,13	66,13	64,13	70,14	47,09	41,08	41,08	70,14	58,78
6	Магній, мг/дм ³	19,46	17,02	24,32	31,62	22,50	24,93	17,02	31,62	23,31
7	Натрій та калій, мг/дм ³	21,25	32,50	22,0	36,25	20,00	16,25	16,25	36,25	24,71
8	Амоній, мг/дм ³	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,106	0,106	0,112	0,109
9	Нітрити, мг/дм ³	0,036	0,022	0,019	0,048	0,072	0,095	0,019	0,095	0,049
10	Нітрати, мг/дм ³	7,47	8,51	7,87	7,01	5,42	6,67	5,42	8,51	7,16
11	Бікарбонати, мг/дм ³	201,37	231,88	219,67	231,88	189,16	183,06	183,06	231,88	209,50
12	Сульфати, мг/дм ³	69,63	66,33	79,83	111,11	51,68	49,05	49,05	111,11	71,27
13	Хлориди, мг/дм ³	29,5	30,4	31,2	39,3	31,00	27,50	27,50	39,25	31,48
14	Загальна твердість (жорсткість), ммоль/дм ³	4,5	4,8	4,6	4,84	4,40	4,40	4,40	4,84	4,58
15	Алюміній, мг/дм ³	-	0,020	0,024	0,023	<0,02	0,031	0,020	0,031	0,025
16	Лужність, ммоль/дм ³	3,5	3,50	3,53	3,5	3,40	3,20	3,20	3,53	3,44
17	Окислюваність, мг/дм ³	2,94	2,69	2,82	3,55	3,79	3,10	2,69	3,79	3,15
18	Сухий залишок, мг/дм ³	400,0	400,0	360,0	440,0	360,0	320,0	320,0	440,0	380,0
19	Мінералізація, мг/дм ³	307,15	326,92	329,12	417,06	264,85	248,84	248,84	417,06	315,66
20	Залізо загальне, мг/дм ³	0,17	0,15	0,16	0,54	0,59	0,68	0,15	0,68	0,38
21	Фториди, мг/дм ³	0,28	0,24	0,23	0,39	0,30	0,31	0,23	0,39	0,29
22	Мідь, мг/дм ³	0,28	0,12	0,098	0,26	0,25	0,106	0,098	0,28	0,186

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
38	Формальдегіди, мг/дм ³	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
39	Температура, °C	4,3	0,7	2,9	10,2	18,9	22,5	0,7	22,5	9,9

Виділити частину водоводів в існуючій схемі питного водопостачання населення м. Одеси й ін. населених пунктів Одеської обл. (рис. 1.16) для подачі по ним неочищеної річкової води не можливо, тому що це знизить надійність існуючої системи питного водопостачання м. Одеси та прилеглих до неї міст і населених пунктів. Але, у разі подачі в лиман води питної якості можливе використання існуючих водоводів і водонасосних станцій (ВНС). Тому в даній роботі розглядається варіант подачі води питної якості від ВОС «Дністер» до Куяльницького лиману.

Від ВОС «Дністер» вода по напірних водоводах поступає на п'яту перемичку, що розташована на північному заході м. Одеси, звідки по самоплинних водоводах № 3 (діаметр – $D = 1400$ мм) і № 4 ($D = 1200$ мм) поступає на майданчик ВНС «Котовського» (ВНС № 5), розташованого в північно-східній частині м. Одеси (рис. 1.17-1.19).

Проектна продуктивність ВНС № 5 складає 350 тис. м³/д. Фактична подача води ВНС № 5 в 2012 р. коливалась від 80 до 140 тис. м³/д.

Резерв пропускної спроможності самоплинних трубопроводів № 3 і № 4 складає до 200 тис. м³/д, що дозволяє без зменшення подачі води населенню і промисловим підприємствам Суворовського району м. Одеса додатково пропустити через трубопроводи № 3 і № 4 необхідну для поповнення лиману кількість води.

На майданчику ВНС «Котовського» (ВНС № 5) існує спусковий трубопровід ($D = 1500$ мм), через який при необхідності вода скидається в Куяльницький лиман.

Облік кількості води, що буде подаватися в лиман, може бути вирішений шляхом установки ультразвукового витратоміру на сталевій ділянці скидного трубопроводу ($D = 900$ мм).



Рисунок 1.16 – Схема існуюча системи подачі питної води від ВОС «Дністер» до м. Одеса та інших населених пунктів області

Рисунок 1.17 – Схема розташування самоплинних № 3 та № 4 і скидного трубопроводів на майданчику ВНС «Котовського» (ВНС № 5)

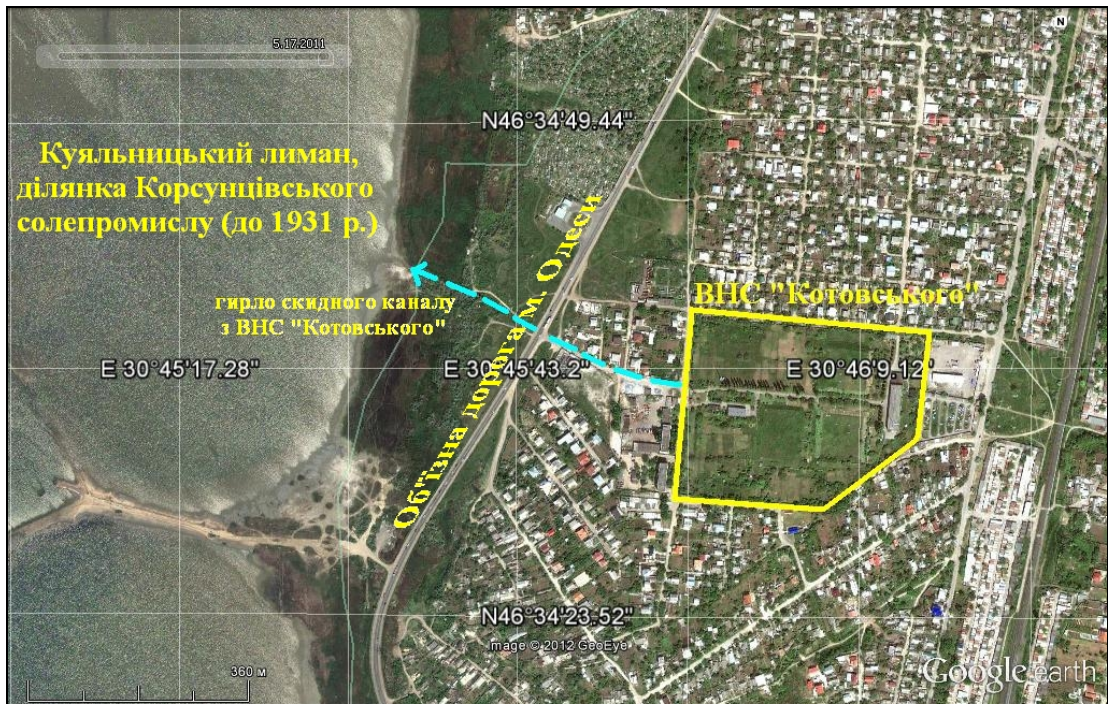


Рисунок 1.18 – Супутниковий знімок та схема скидного водовипуску з ВНС «Котовського» (ВНС № 5)



Рисунок 1.19 – Місцезнаходження ВНС «Котовського» (ВНС № 5)

1.2.2 Загальна характеристика хімічного складу та якості питної води в напірних водоводах на виході з ВОС «Дністер»

За даними Центральної хіміко-біологічної лабораторії (ЦХБЛ) – начальник О.О. Поліщук (табл. 1.3), товариства з обмеженої відповідальністю (ТОВ) «Інфокс» філії «Інфоксводоканал» водопровідна вода в напірних водоводах на виході з ВОС «Дністер» відповідає ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [36].

Таблиця 1.3 – Результати повного санітарно-хімічного аналізу водопровідної води в напірних водоводах на виході з ВОС «Дністер» (за даними ЦХБЛ ТОВ «Інфокс» філії «Інфоксводоканал», станом на 18.10.2012 р.)

№ п/п	Найменування показника якості питної води	Значення показника якості води (м. Одеса)	Нормативне значення, відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10 [36]
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	Температура, °С	18,8	Не нормується
2	Кольоровість, градус	7	≤20
3	Мутність, мг/дм ³	0,29	≤1,5
4	Запах (при 20 °С), бал	1	≤2
5	Запах (при 60 °С), бал	1	≤2
6	Смак, бал	0	≤2
7	Реакція рН, од. рН	7,65	6,5-8,5
8	Кальцій, мг/дм ³	50,1	25-75
9	Магній, мг/дм ³	14,6	10-50
10	Натрій, мг/дм ³	24,9	≤200
11	Калій, мг/дм ³	6,2	2-20
12	Амоній, мг/дм ³	0,05	≤0,5
13	Нітрити, мг/дм ³	<0,003	≤0,5
14	Нітрати, мг/дм ³	4,27	≤50
15	Бікарбонати, мг/дм ³	183,0	Не нормується
16	Сульфати, мг/дм ³	60,2	≤250
17	Хлориди, мг/дм ³	28,4	≤250
18	Загальна твердість (жорсткість), ммоль/дм ³	3,7	≤7,0
19	Хлор залишковий сумарний, мг/дм ³	0,83	
20	Хлор залишковий вільний, мг/дм ³	0,32	0,3-0,5
21	Хлор залишковий зв'язаний, мг/дм ³	0,51	0,8-1,2

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4
22	Лужність, ммоль/дм ³	3,0	0,5-6,5
23	Окислюваність, мг/дм ³	1,84	≤5,0
24	Сухий залишок, мг/дм ³	336,8	≤1000
25	Мінералізація, мг/дм ³	276,0	Не нормується
26	Залізо загальне, мг/дм ³	<0,1	≤0,2
27	Фториди, мг/дм ³	<0,135	≤1,2
28	Мідь, мг/дм ³	<0,005	≤1,0
29	Цинк, мг/дм ³	0,0066	≤1,0
30	Марганець, мг/дм ³	0,0062	≤0,05
31	Алюміній, мг/дм ³	<0,02	≤0,2
32	Молібден, мг/дм ³	<0,01	≤0,07
33	Миш'як, мг/дм ³	<0,005	≤0,01
34	Свинець, мг/дм ³	<0,005	≤0,01
35	Хром загальний, мг/дм ³	<0,005	≤0,05
36	Берилій, мг/дм ³	<0,00005	≤0,0002
37	Кадмій, мг/дм ³	<0,00025	≤0,001
38	Стронцій, мг/дм ³	1,014	≤7,0
39	Селен, мг/дм ³	<0,001	≤0,01
40	Нікель, мг/дм ³	0,0058	≤0,02
41	Кобальт, мг/дм ³	<0,005	≤0,1
42	Фосфати, мг/дм ³	0,286	Не нормується
43	Поліфосфати, мг/дм ³	0,012	≤3,5
44	Нафтопродукти, мг/дм ³	<0,04	≤0,1
45	Хлороформ, мг/дм ³	0,036	≤0,06
46	Ртуть, мг/дм ³	<0,0005	≤0,0005
47	Загальне мікробне число, КОЕ/см ³	5	≤100
48	Загальні коліформи, КОЕ/100 см ³	Не виявлено	Відсутній
49	E. coli, КОЕ/100 см ³	Не виявлено	Відсутній
50	Ентерококи, КОЕ/100 см ³	Не виявлено	Відсутній
51	Колі-фаги, БОЕ/дм ³	Не виявлено	Відсутній

При наповненні Куяльницького лиману питною водою можливо необхідно буде вирішувати питання видалення з води залишкового хлору, який може негативно вплинути на гідробіотів водойми. Для вирішення цієї проблеми може бути використана схема наповнення лиману водою питної якості крізь водойми пересипу, які в цьому випадку будуть виконувати функцію буферних водойм для вивільнення залишкового в питній воді хлору.

Схема наповнення Куяльницького лиману питною водою з використанням водойм пересипу є досить актуальною, насамперед в контексті створення в 2012-2015 рр. на пересипу парку водно-болотних угідь – «Ветланд-парку», що заплановано Регіональною програмою збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки [1].

За даними щодо вмісту залишкового хлору в питній воді (табл. 1.4), яка надходить з ВОС «Дністер» до ВНС «Південна» (м. Южне, Одеська обл.), а відповідно і до ВНС «Котовського» (ВНС № 5), видно, що найбільший вміст цієї речовини у питній воді спостерігається взимку з максимумом 0,74 мг/дм³ в січні, а мінімальний – влітку з мінімумом 0,12 мг/дм³ в липні.

Таблиця 1.4 – Середньомісячні величини хлору залишкового сумарного в питній воді, яка надходить з ВОС «Дністер» до ВНС «Південна», в 2012 р.

Місяць року	Хлор залишковий сумарний, мг/дм ³
Січень	0,74
Лютий	0,68
Березень	0,59
Квітень	0,52
Травень	0,25
Червень	0,17
Липень	0,12
Серпень	0,16
Вересень	0,31
Жовтень	0,36
Листопад	0,46

Отже, за вмістом залишкового хлору найсприятливішим періодом наповнення лиману питною водою є літні місяці року, що співпадає з періодом інтенсивного випаровування води з водної поверхні лиману, тобто це буде сприяти підтримці необхідного рівня і солоності води в лимані.

1.2.3 Техніко-економічна оцінка та розрахунки поповнення Куяльницького лиману питною водою ТОВ «Інфокс» філії «Інфоксводоканал»

Початкові дані для виконання розрахунків наведені нижче.

1. Об'єм води необхідний для поповнення лиману (за даними ОДЕКУ): в перший рік – 40-50 млн. м³ або 110-137 тис. м³/д; в наступні роки – щорічно до 15 млн. м³ або до 42 тис. м³/д (при рівномірній подачі води протягом року).

2. Проектна розрахункова потужність ВНС «Котовського» (ВНС № 5) – 350 тис. м³/д.

3. Добова подача води ВНС «Котовського» (ВНС № 5) – 80-140 тис. м³/д.
4. Пропускна спроможність самоплинних водоводів № 3 та № 4 забезпечить подачу розрахункової кількості води (350 тис. м³/д) до ВНС «Котовського» (ВНС № 5).
5. Пропускна спроможність самоплинного скидного трубопроводу (Д = 900 мм) – до 100 тис. м³/д.
6. Вартість води – 2,736 грн./м³ (станом на вересень 2012 р.).

Таким чином, вартість скинутої в Куяльницький лиман води в перший рік (40-50 млн. м³) становитиме 110-140 млн. грн., а щорічні витрати, пов'язані з поповненням лиману водою (до 15 млн. м³) питної якості складуть в середньому 40 млн. грн.

1.2.4 Загальна оцінка можливості поповнення Куяльницького лиману водами Хаджибейського лиману або СБО «Північна» та аналіз можливостей використання для цього наявних насосних станцій і гідротехнічних споруд

Існує технічна можливість поповнити Куяльницький лиман водами Хаджибейського лиману або частково очищеними стічними водами СБО «Північна».

Технологічна схема подачі очищених стічних вод в Хаджибейський лиман з СБО «Північна» [37] включає в себе підвідний канал довжиною 3,95 км, по якому частково очищені СБО «Північна» стоки (180-200 тис./д) надходять до КНС-25, яка перекачує їх у Хаджибейський лиман (рис. 1.20).

Для подачі частково очищених стічних вод СБО «Північна» в Куяльницький лиман необхідно прокласти напірний трубопровід від існуючої КНС-25, або здійснити врізку в напірний трубопровід до Хаджибейському лиману, в напрямку Куяльницького лиману. Орієнтовна довжина такого напірного трубопроводу буде дорівнювати 3,0-3,5 км, а вартість будівництва – не менш ніж 18-20 млн. грн. При реалізації схеми поповнення Куяльницького лиману водами Хаджибейського лиману або частково очищеними стічними водами СБО «Північна» можливе використання існуючого насосного обладнання КНС-25.

У 1969 р. у зв'язку з катастрофічним підйомом рівня води в Хаджибейському лимані створилася загроза затоплення прилеглої до лиману території м. Одеса. Тому в екстреному (аварійному) порядку були побудовані насосна станція (КНС-25), канал від насосної станції до лиману та нитка напірного трубопроводу діаметром Д = 1400 мм. Канал має вхідний оголовок, через який при підвищенні рівня води в Хаджибейському лимані вода починає надходити до КНС-25, а далі може перекачуватися в море. На сьогодні (2012 р.) КНС-25 перекачує очищені стоки від СБО «Північна» в Хаджибейський лиман.

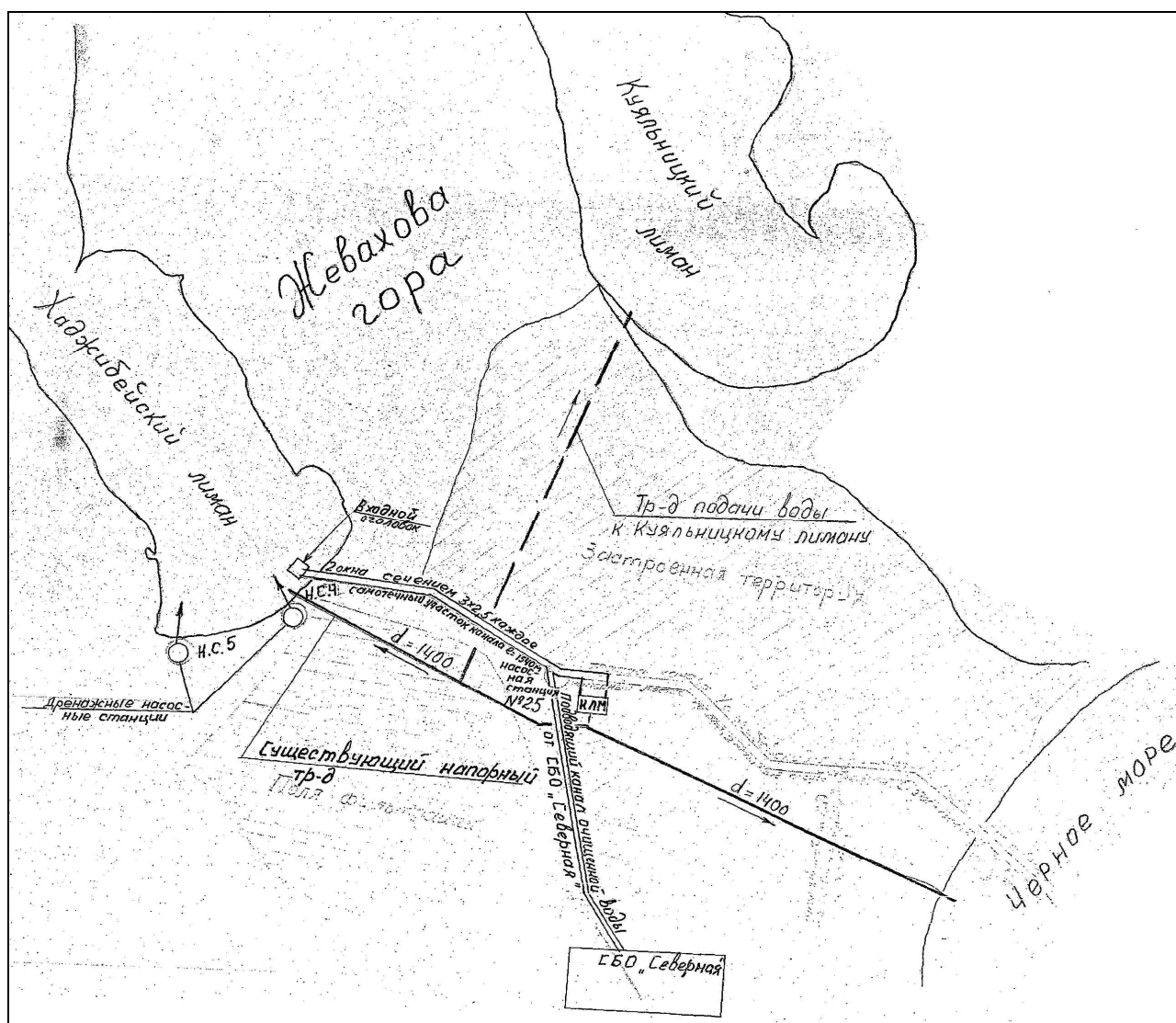


Рисунок 1.20 – Існуюча технологічна схема подачі частково очищених стічних вод з СБО «Північна» в Хаджибейский лиман і Чорне море та можливе місцеположення трубопроводу подачі води до Куяльницького лиману

При прокладці напірного трубопроводу для подачі вод з Хаджибейського лиману (від існуючої КНС-25) до Куяльницького лиману (рис. 1.20) скидні води з СБО «Північна» можуть бути спрямовані через побудовані насосні станції глибоководного випуску і сам глибоководний випуск в Чорне море [37].

Але очисні споруди СБО «Північна» за своїм технічним станом і технологічним процесам очищення не відповідають сучасним вимогам. Ефективність очищення господарсько-побутових стоків, що надходять на СБО «Північна», становить 82 - 95 % по лабільності органічній речовині, 72 - 86 % по амонійному азоту, 53 - 67% по фосфатам [37]. У зв'язку з недосконалістю технології очищення стічних вод спостерігається парадоксальна ситуація, коли на виході з очисних споруд СБО «Північна» концентрації азоту нітратів в середньому в 6-7 разів перевищують концентрації на вході, а азоту нітритів - в

5-10 разів. Хоча ефективність очищення стічних вод від бактеріального забруднення становить по колі-індексу 97 %, однак цього недостатньо для запобігання забруднення лиману. Через дуже високий рівень бактеріального забруднення стічних вод на вході в очисні споруди, навіть при вказаній ефективності очистки, на виході з очисних споруд значення колі-індексу зменшується лише до $3,2 \cdot 10^7$ КОЕ/дм³, при нормативних значеннях $5 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4$ КОЕ/дм³, встановлених «Санітарними правилами і нормами охорони прибережних вод морів від забруднення в місцях водокористування населення. СанПіН № 4631-88».

Основні санітарно-хімічні показники якості сбросних вод СБО «Північна» та води Хаджибейського лиману на ділянці скиду, за даними ХБЛ СБО «Північна» (начальник Т.А. Олишук), приведені у табл. 1.5.

Під впливом постійного надходження недостатньо очищених стічних вод з СБО «Північна», води та донні відклади Хаджибейського лиману також забруднені органічними і мінеральними біогенними речовинами, мікроорганізмами, а можливо й речовинами токсичної дії, дані про які відсутні в доступній літературі.

Через вказані причини поповнення Куяльницького лиману водами Хаджибейського лиману або стічними водами з СБО «Північна» на даний час не рекомендується. Цей варіант може розглядатися як альтернативний тільки після корінної реконструкції очисних споруд СБО «Північна» та введення нових сучасних технологій очистки стічних вод м.Одеси від забруднюючих речовин.

Таблиця 1.5 – Результати повного санітарно-хімічного аналізу води на СБО «Північна» та в нижній частині Хаджибейського лиману в жовтні 2012 р. (за даними ХБЛ СБО «Північна»)

№ п/п	Найменування показника	КГ (вхід)	ПК (вхід)	СК (вихід)	НС 4	НС 5	Нижня частина Хаджибейського лиману		
							пд.-сх.	пд.-зх.	пд.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Температура води, °С	22,0	24,0	23,0	22,0	23,0	19,0	19,0	19,0
2	Температура повітря, °С	18,0	18,0	17,0	21,0	21,0	15,0	15,0	15,0
3	Реакція рН, од. рН	7,9	7,8	7,8	8,1	8,5	8,6	8,6	8,6
4	Завислі речовини, мг/дм ³	87,0	479,0	12,0	23,0	27,0	19,0	19,0	19,0

Продовження табл. 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Розчинений кисень, мгО ₂ /дм ³	-	-	5,3	4,0	4,0	6,8	6,8	6,8
6	БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	116,6	283,7	10,1	6,8	8,4	3,6	3,4	3,5
7	БСК _{повн} , мгО ₂ /дм ³	-	-	13,4	9,0	11,2	4,8	4,5	4,7
8	Окислюваність, мг/дм ³	60,0	152,0	8,4	10,4	12,0	-	-	-
9	ХСК, мгО ₂ /дм ³	218,3	480,2	58,2	-	-	-	-	-
10	Щільнісний запас, мг/дм ³	1122,0	1286,0	1021,0	2556,0	2766,0	-	-	-
11	Хлориди, мг/дм ³	121,0	64,0	128,0	340,0	326,0	1518,0	1518,0	1518,0
12	Солі амонію, за N, мг/дм ³	17,2	26,0	6,3	7,5	7,0	1,1	1,1	1,1
13	Нітрити, за N, мг/дм ³	0,38	0,012	0,33	0,82	1,15	0,10	0,17	0,17
14	Нітрати, за N, мг/дм ³	0,62	0,22	8,80	8,80	8,80	-	-	-
15	Нафтопродукти, мг/дм ³	-	-	0,040	0,038	0,038	0,04	0,04	0,04
16	Фосфати, мг/дм ³	12,5	34,5	2,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
17	Залізо загальне, мг/дм ³	-	-	0,09	0,15	0,17	0,10	0,10	0,10
18	СПАР, мг/дм ³	-	-	0,022	-	-	-	-	-
19	Сульфати, мг/дм ³	340,0	235,0	264,0	966,0	943,0	615,0	621,0	632,0
20	Мікробне число, 10 ⁶	3,3·10 ⁶	4,9·10 ⁶	6,1·10 ⁴	4,2·10 ³	8,0·10 ³	4,0·10 ³	5,0·10 ³	4,0·10 ³
21	Колі-індекс	4,0·10 ⁹	5,3·10 ⁹	4,9·10 ⁷	7,0·10 ⁶	1,8·10 ⁶	-	-	-

Продовження табл. 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	Індекс ЛКП	-	-	-	-	-	$9,0 \cdot 10^4$	$9,0 \cdot 10^4$	$9,0 \cdot 10^4$
23	Колі-фаги	-	-	250	35	150	Не вид.	Не вид.	Не вид.
24	Кількість стічних вод, тис. м ³ /д	154,7	33,0	-	-	-	-	-	-
25	Відсоток очистки (за загальним стоком води), %: 1) за завислими речовинами – 92,3 %; 2) за БСК ₅ – 93,1 %								

Примітки: КГ – камера гасіння; ПК – приймальна камера; СК – скидний канал; НС – насосна станція; пд.-сх. – південний-схід нижньої частини лиману; пд.-зх. – південний-захід нижньої частини лиману; пд. – центр південної нижньої частини лиману.

1.3 Оцінка існуючих можливостей з'єднання Куяльницького лиману з Одеською затокою Чорного моря у сучасних умовах

Для оцінки існуючих можливостей поповнення Куяльницького лиману морськими водами з Одеської затоки у сучасних умовах через штучну з'єднувальну гідротехнічну споруду (трубопровід або канал) «море-лиман» були виконані наступні завдання:

а) оцінка рельєфу дна лиману та моря (Одеська затока) на ділянках з'єднання з каналом або трубопроводом «море-лиман»;

б) оцінка рельєфу поверхні пересипу між лиманом та морем на ділянці з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман»;

в) характеристика штучних водойм пересипу між лиманом та морем на ділянці з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман»;

г) аналіз наявних умов будівництва (у тому числі, підземних комунікацій) на ділянці з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман»;

д) розробка рекомендацій щодо можливого місцеположення траси проходження з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу чи каналу) «море-лиман» у сучасних умовах (рельєфу поверхні пересипу та дна прибережних ділянок лиману і моря, наявної забудови та комунікацій тощо).

Отримані результати оцінки існуючих можливостей поповнення Куяльницького лиману морськими водами з Одеської затоки у сучасних умовах через штучну з'єднувальну гідротехнічну споруду (трубопровід або канал) «море-лиман» були використані:

- в гідравлічних розрахунках інтенсивності надходження морських вод в лиман самоплином через штучну з'єднувальну гідротехнічну споруду (канал або трубопровід) та при оцінці її оптимальних техніко-конструкторських характеристик (розділ 4);
- в моделюванні вітрового хвилювання і скаламучування доних осадів в прибережній до лиману акваторії моря та при розробці, на підставі модельних розрахунків, рекомендацій щодо розташування морської частини трубопроводу чи з'єднувального каналу (розділ 5);
- в гідродинамічному моделюванні течій та просторово-часової мінливості солоності ропи в Куяльницькому лимані під час його поповнення морськими водами (розділ 6);
- при розробці рекомендацій щодо заходів по створенню сприятливого гідроекологічного режиму Куяльницького лиману, збереженню та відновленню його природних ресурсів за рахунок поповнення морськими водами (Висновки і рекомендації).

1.3.1 Оцінка рельєфу дна Куяльницького лиману та Одеської затоки Чорного моря на ділянках виходу кінців з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу або каналу) «море-лиман»

Для оцінки сучасного рельєфу дна Одеської затоки Чорного моря на ділянці можливого розташування виходу в море з'єднувального каналу або трубопроводу «море-лиман» (рис. 1.21 та 1.22) ОДЕКУ в 2012 р. були виконані проміри глибин, визначенні відмітки дна (табл. 1.6) та оцінені зміни рельєфу прибережної ділянки моря за даними карт М 1:100000 (1983 р.) та 1:25000 (1987 р.).

Зміни рельєфу прибережної ділянки моря за даними промірів глибин в 2012 р. і карт М 1:100000 (1983 р.) та 1:25000 (1987 р.) показані на рис. 1.23 (при рівні моря мінус 0,4 м БС).

З рис. 1.23 видно, що за останні 25-30 років рельєф прибережної ділянки моря (Одеська затока) в місці виходу каналу або трубопроводу «море-лиман» зазнав деяких змін. Перш за все, відбувся незначний розмив берегової лінії, на що вказує зміщення на 5-10 м на північ (в сторону пересипу) урізу води та ізобати «1 м». В результаті розмиву прибережної смуги частина берегових наносів осіла на відстані 100-150 м від урізу води, а ізобата «2 м» змістилася на

південь (в сторону моря), і тому в 2012 р. знаходилася на відстані 50-60 м відносно свого місцеположення в 1987 р. Інша частина берегових наносів осіла на відстані 1300-1500 м від урізу води, при цьому, ізобати «3 м», «4 м» та «5 м» майже не змінили свого місцеположення (зміщення складає 0-15 м), в південно-східному напрямку (в сторону моря) ізобата «6 м» змістилась на відстань 0-60 м, а ізобати «7 м» та «8 м» – на відстань 100-300 м.

Данні про рельєф прибережної ділянки моря використані в розділі 4, при моделюванні вітрового хвилювання і вітро-хвильового зкаламучування донних наносів в районі передбачуваного будівництва морської частини з'єднувальних споруд.

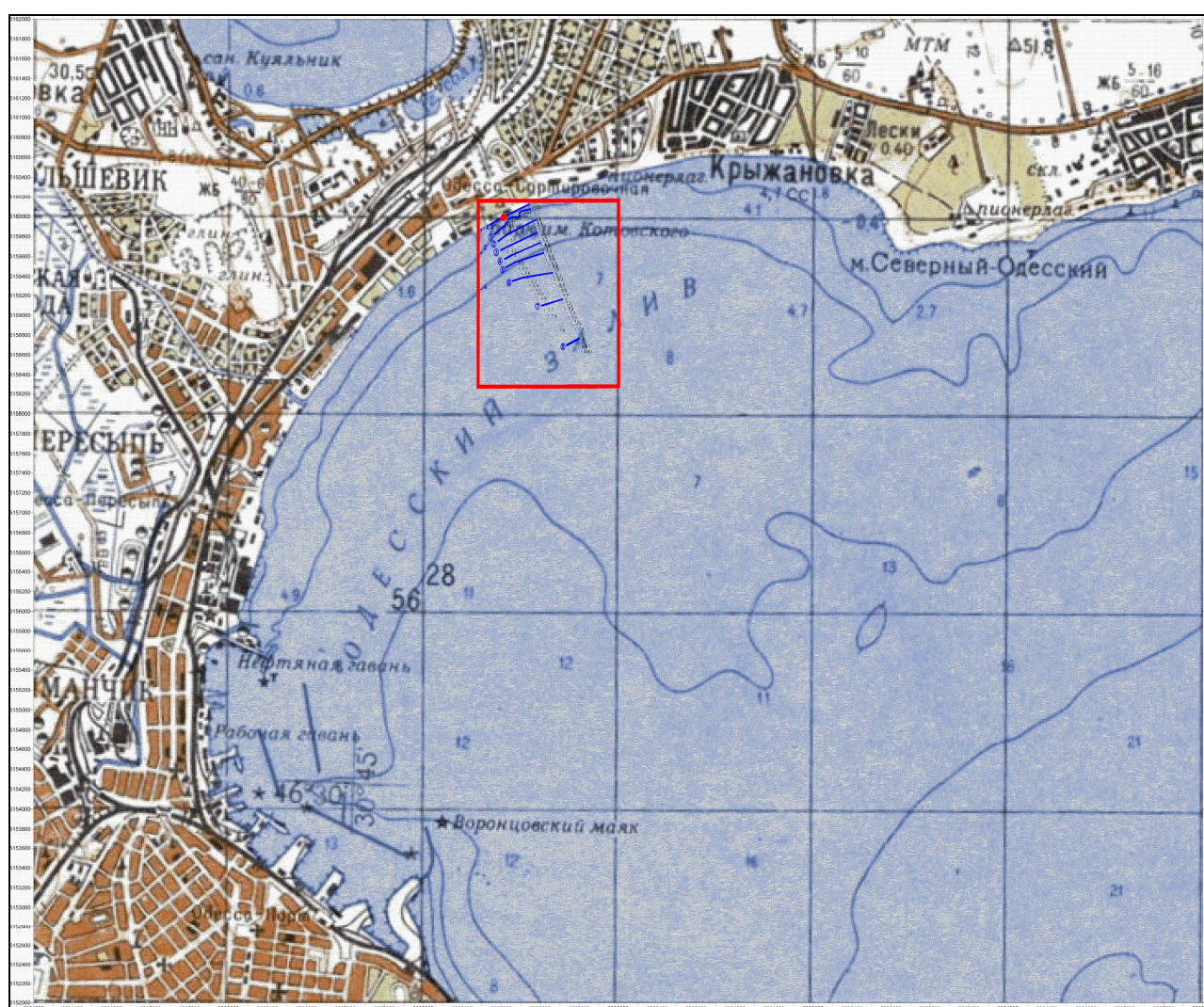


Рисунок 1.21 – Схема промірів глибин в Одеській затоці на ділянці виходу в море з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» в 2012 р.
(фрагмент карти М 1:100000, лист L-36-050, 1983 р.)

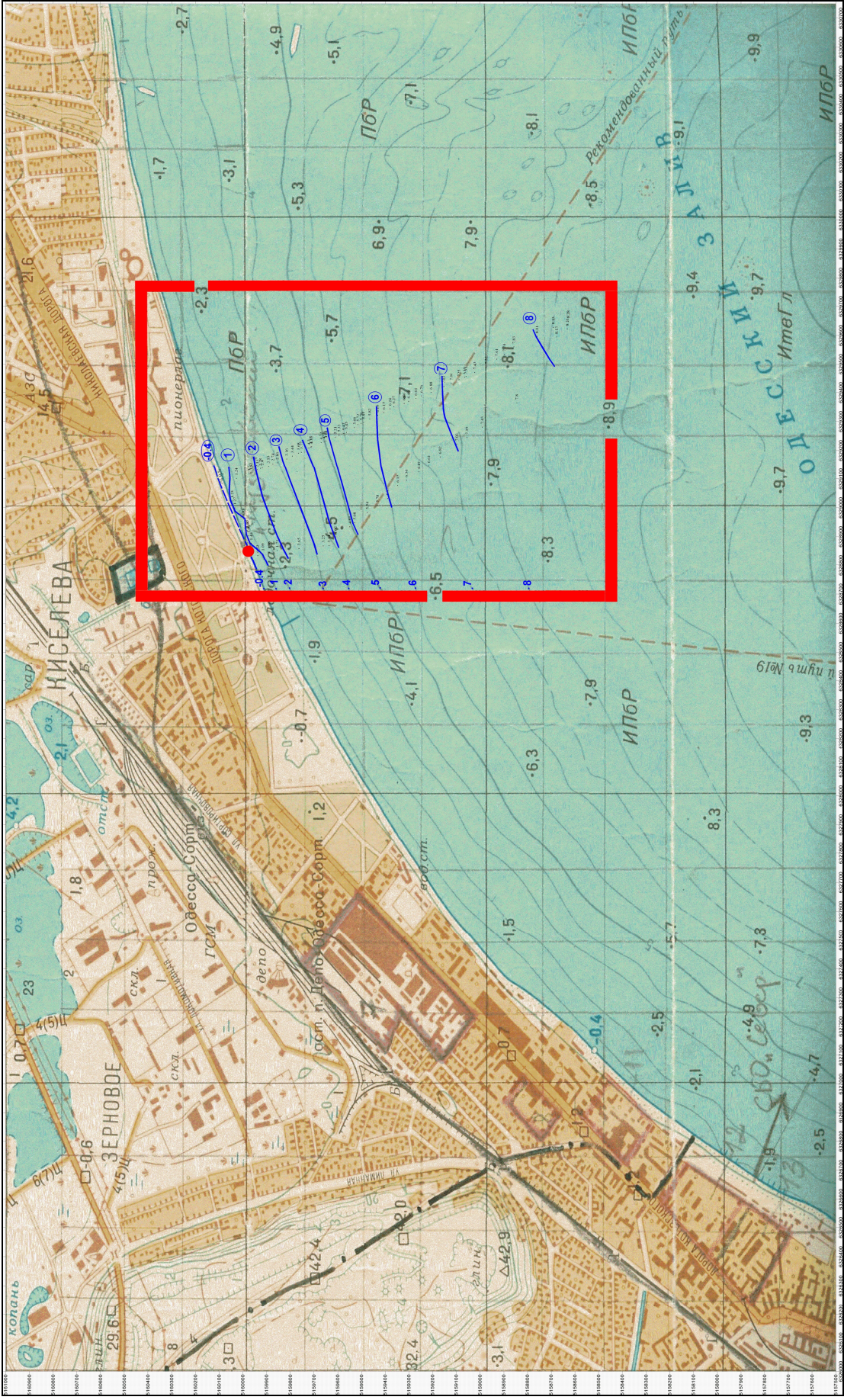


Рисунок 1.22 – Схема промів глибин в Одеській затоці на ділянці виходу в море з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» в 2012 р. (фрагмент карти М 1:25000, лист L-36-050.62, 1987 р.)

Таблиця 1.6 – Глибини та відмітки дна Одеської затоки на ділянці виходу в море з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» в 2012 р.

Географічні координати (в системі WGS-84), °		Рівень моря (Одеська затока), м БС			
		-0,18			-0,40
пн. ш.	сх. д.	Глибина, фути	Глибина, м	Відмітка дна, м БС	Глибина, м
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
46,55248	30,76996	4,8	1,46	-1,64	1,24
46,55200	30,77019	6,3	1,92	-2,10	1,70
46,55194	30,77023	6,7	2,04	-2,22	1,82
46,55170	30,77039	7,7	2,35	-2,53	2,13
46,55158	30,77045	8,2	2,50	-2,68	2,28
46,55151	30,77048	8,6	2,62	-2,80	2,40
46,55127	30,77058	9,1	2,77	-2,95	2,55
46,55111	30,77069	9,7	2,96	-3,14	2,74
46,55094	30,77076	10,1	3,08	-3,26	2,86
46,55059	30,77094	11,1	3,38	-3,56	3,16
46,55038	30,77108	12,0	3,66	-3,84	3,44
46,55015	30,77122	12,8	3,90	-4,08	3,68
46,55004	30,77127	13,1	3,99	-4,17	3,77
46,54976	30,77147	14,5	4,42	-4,60	4,20
46,54969	30,77152	14,4	4,39	-4,57	4,17
46,54966	30,77153	15,0	4,57	-4,75	4,35
46,54930	30,77173	16,2	4,94	-5,12	4,72
46,54919	30,77178	17,0	5,18	-5,36	4,96
46,54912	30,77181	16,6	5,06	-5,24	4,84
46,54877	30,77200	17,8	5,43	-5,61	5,21
46,54863	30,77210	18,2	5,55	-5,73	5,33
46,54845	30,77218	18,5	5,64	-5,82	5,42
46,54835	30,77223	18,6	5,67	-5,85	5,45
46,54805	30,77246	19,3	5,88	-6,06	5,66
46,54792	30,77260	19,5	5,94	-6,12	5,72
46,54780	30,77266	19,7	6,00	-6,18	5,78
46,54771	30,77271	19,9	6,07	-6,25	5,85
46,54748	30,77287	19,8	6,04	-6,22	5,82
46,54718	30,77305	20,5	6,25	-6,43	6,03
46,54695	30,77318	20,9	6,37	-6,55	6,15

Продовження табл. 1.6

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
46,54672	30,77336	21,2	6,46	-6,64	6,24
46,54658	30,77346	21,3	6,49	-6,67	6,27
46,54619	30,77362	21,9	6,68	-6,86	6,46
46,54602	30,77372	22,0	6,71	-6,89	6,49
46,54575	30,77386	22,4	6,83	-7,01	6,61
46,54554	30,77399	22,9	6,98	-7,16	6,76
46,54518	30,77416	23,3	7,10	-7,28	6,88
46,54470	30,77445	23,8	7,25	-7,43	7,03
46,54442	30,77460	23,9	7,28	-7,46	7,06
46,54413	30,77478	24,5	7,47	-7,65	7,25
46,54392	30,77490	24,3	7,41	-7,59	7,19
46,54387	30,77493	24,7	7,53	-7,71	7,31
46,54354	30,77516	25,1	7,65	-7,83	7,43
46,54311	30,77542	25,4	7,74	-7,92	7,52
46,54272	30,77579	25,7	7,83	-8,01	7,61
46,54244	30,77601	26,1	7,96	-8,14	7,74
46,54208	30,77637	26,4	8,05	-8,23	7,83
46,54121	30,77688	27,0	8,23	-8,41	8,01
46,54060	30,77731	27,4	8,35	-8,53	8,13
46,54004	30,77761	27,9	8,50	-8,68	8,28
46,54007	30,77726	28,0	8,53	-8,71	8,31
46,54047	30,77688	27,4	8,35	-8,53	8,13
46,54192	30,77383	26,3	8,02	-8,20	7,80
46,54321	30,77268	25,1	7,65	-7,83	7,43
46,54378	30,77219	24,3	7,41	-7,59	7,19
46,54416	30,77188	23,8	7,25	-7,43	7,03
46,54478	30,77127	23,1	7,04	-7,22	6,82
46,54520	30,77085	22,4	6,83	-7,01	6,61
46,54557	30,77054	22,0	6,71	-6,89	6,49
46,54603	30,77014	21,6	6,58	-6,76	6,36
46,54636	30,76989	20,9	6,37	-6,55	6,15
46,54673	30,76929	20,3	6,19	-6,37	5,97
46,54711	30,76896	19,7	6,00	-6,18	5,78
46,54749	30,76863	18,9	5,76	-5,94	5,54
46,54796	30,76814	17,4	5,30	-5,48	5,08

Продовження табл. 1.6

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
46,54814	30,76796	16,5	5,03	-5,21	4,81
46,54867	30,76748	13,9	4,24	-4,42	4,02
46,54891	30,76708	12,0	3,66	-3,84	3,44
46,54913	30,76706	11,4	3,47	-3,65	3,25
46,55005	30,76690	9,4	2,87	-3,05	2,65
46,55087	30,76678	6,4	1,95	-2,13	1,73
46,55117	30,76669	5,5	1,68	-1,86	1,46
46,55141	30,76660	4,3	1,31	-1,49	1,09
46,55160	30,76652	3,1	0,94	-1,12	0,72
46,55186	30,76706	5,6	1,71	-1,89	1,49
46,55197	30,76739	5,5	1,68	-1,86	1,46
46,55201	30,76758	5,5	1,68	-1,86	1,46
46,55203	30,76763	4,5	1,37	-1,55	1,15
46,55218	30,76814	3,6	1,10	-1,28	0,88
46,55251	30,76863	4,9	1,49	-1,67	1,27
46,55262	30,76894	4,7	1,43	-1,61	1,21
46,55302	30,76970	3,1	0,94	-1,12	0,72
46,55311	30,76988	3,2	0,98	-1,16	0,76

Для оцінки сучасного рельєфу дна південно-східної частини лиману (до 1931 р. – нижня ділянка Корсунцівського солепромислу) в місці надходження морських вод (рис. 1.3) ОДЕКУ в 2012 р. виконані проміри глибин, які використані для побудови батиметричної карти цієї частини лиману (рис. 1.24).

За результатами батиметричної зйомки південно-східної частини Куяльницького лиману, виконаної у 2012 р., встановлено, що площа водної поверхні цієї ділянки водойми, при рівні води мінус 6,42 м БС, становить майже 0,613 млн. м², об'єм води – майже 0,207 млн. м³, а середня глибина – 0,34 м. Також встановлено, що відмітка поверхні дамби станом на 2012 р. в середньому становить мінус 6,0 м БС, а відмітка дна водовипуску в дамбі старого солепромислу приблизно дорівнює мінус 6,5 м БС.

Результати батиметричної зйомки будуть використані при проектуванні виходу в лиман з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман».

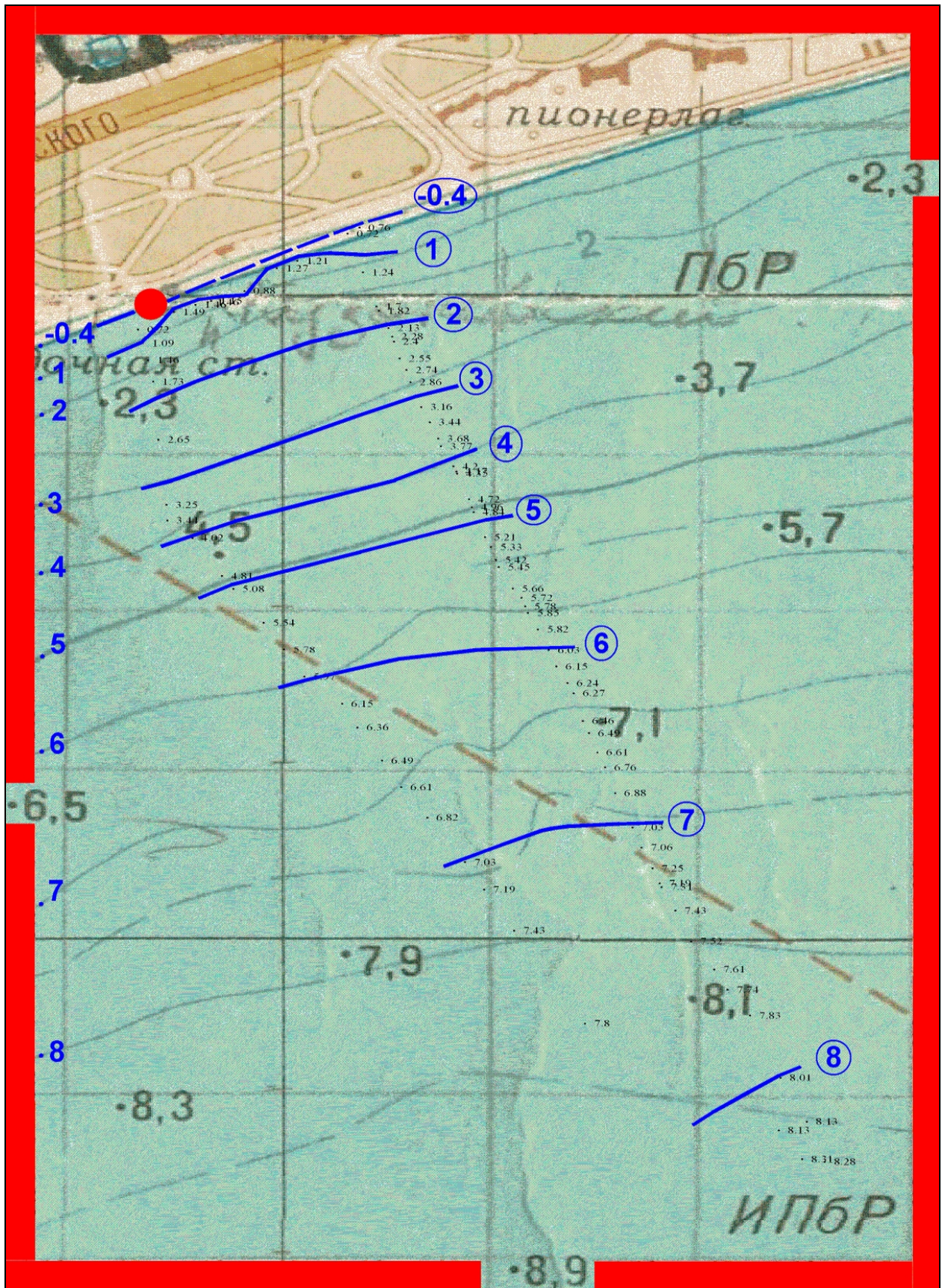


Рисунок 1.23 – Результати промірів глибин та рельєф дна Одеської затоки на ділянці виходу в море каналу (трубопроводу) «море-лиман» в 2012 р. (обведені значення ізобат) та в 1987 р. (лист L-36-050.62 карти М 1:25000)

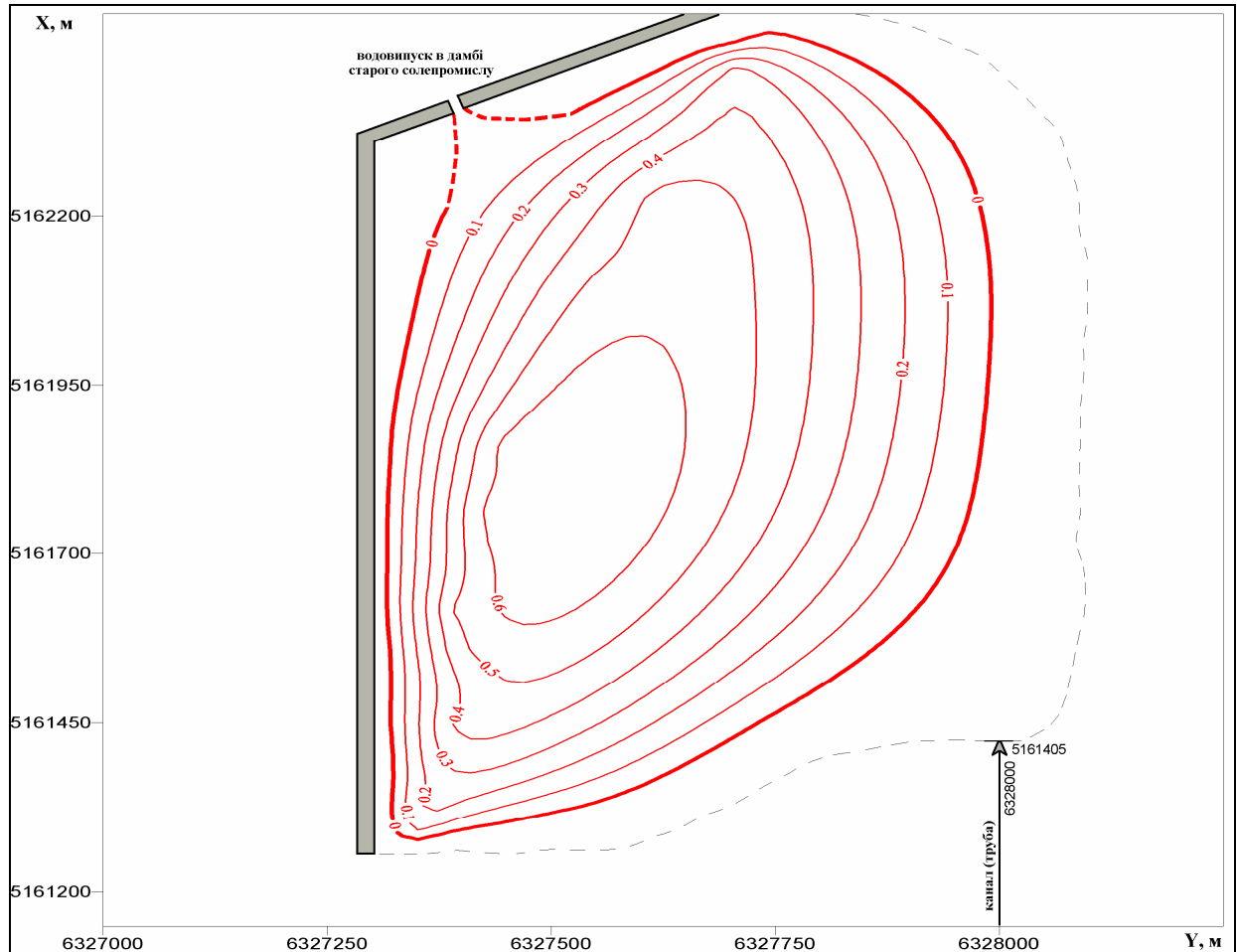


Рисунок 1.24 – Батиметрична карта південно-східної частини Куяльницького лиману (станом на 2012 р.) в місці надходження морських вод (рівень води – мінус 6,42 м БС; X та Y, м – прямокутні координати в системі WGS-84)

1.3.2 Оцінка рельєфу поверхні пересипу між лиманом та морем на ділянці з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман»

Для оцінки рельєфу поверхні пересипу між лиманом і морем на ділянці можливої траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу чи трубопроводу) «море-лиман» використана карта М 1:2000 (листи: 1-А, 1-В, 2-Б, 2-Г, 7а-А, 8-Б) та виконано нівелювання поверхні пересипу (станом на 2012 р.).

За даними нівелювання в 2012 р. поверхні пересипу на ділянці траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу чи трубопроводу) «море-лиман» (табл. 1.7) побудовано профіль поверхні пересипу, який для зручності оцінки рельєфу було суміщено з супутниковим знімком цієї місцевості (рис. 1.25).

Для більш детальної оцінки рельєфу поверхні пересипу на ділянці можливої траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу чи трубопроводу) «море-лиман», за картами М 1:2000 – листи: 2-Б (рис. 1.26), 1-А (рис. 1.27), 2-Г

(рис. 1.28), 1-В (рис. 1.29), 8-Б (рис. 1.30), 7а-А (рис. 1.31) були визначені відмітки та відстані між характерними точками поверхні пересипу (табл. 1.8) та побудовано профіль поверхні між урізами води в морі та лимані (рис. 1.32).

Таблиця 1.7 – Результати нівелювання у 2012 р. поверхні пересипу на ділянці траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу чи трубопроводу) «море-лимани»

Точки нівелювання	Географічні координати (в системі WGS-84), °		Відмітка, м БС	Відстань, м	Примітка
	пн. ш.	сх. д.			
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
УВ _м	46,55219	30,76654	-0,05	0	уріз води моря (УВ _м)
1	46,55270	30,76628	0,74	60	територія парку
2	46,55320	30,76598	-0,03	121	територія парку
3	46,55418	30,76579	-0,03	231	територія парку
4	46,55478	30,76558	0,52	299	край бордюру Миколаївської дороги (з сторони лиману)
5	46,55509	30,76527	0,54	343	вхід на КНС-10 (з сторони моря)
6	46,55534	30,76535	-0,07	372	територія КНС-10
7	46,55584	30,76503	-0,66	433	територія КНС-10
8	46,55648	30,76461	-0,65	511	територія КНС-10
9	46,55686	30,76435	-1,53	558	територія КНС-10
10	46,55219	30,76654	-1,33	632	територія КНС-10
11	46,55748	30,76400	-0,69	724	вихід з КНС-10 (з сторони лиману)
12	46,55809	30,76318	0,03	848	дорога між гаражами поблизу дамби залізної дороги
13	46,55912	30,76258	-0,51	890	1,10 м – до дна лотка під насипом залізної дороги (з сторони моря)
14	46,55903	30,76205	1,49	894	поверхня насипу залізної дороги
15	46,55904	30,76199	1,70	946	поверхня насипу залізної дороги

Продовження табл. 1.7

1	2	3	4	5	6
16	46,55941	30,76158	-0,45	956	2,19 м – до дна лотка (приблизно на середині насипу)
17	46,55942	30,76145	-1,43	986	початок дамби між озерами 1 та 2 (з сторони моря)
18	46,55964	30,76124	-1,16	1097	поверхня дамби між озерами 1 та 2
19	46,56040	30,76031	-1,68	1233	поверхня дамби між озерами 1 та 2
20	46,56138	30,75923	-2,96	1464	0,63 м – від поверхні труби до поверхні води в озері 1
21	46,56335	30,75830	-2,24	1603	кінець дамби (перед об'їзною дорогою м. Одеси)
22	46,56444	30,75742	-1,66	1628	край об'їзної дороги (з сторони лиману)
23	46,56459	30,75717	-3,94	1644	середина схилу об'їзної дороги (з сторони лиману)
РВ _л	46,56471	30,75728	-6,41	1704	рівень води лиману (РВ _л)

За результатами нівелювання поверхні пересипу на ділянці траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу чи трубопроводу) «море-лиман» в 2012 р. (табл. 1.7, рис. 1.25) та даними карт М 1:2000 (табл. 1.8, рис. 1.32) встановлено:

а) перевищення рівня води моря над рівнем води лиману (в нижній його частині) становить 5,0-7,0 м і залежить від рівня води в лимані та морі;

б) відмітки поверхні пересипу змінюються в межах від 0,0 до 0,5 м БС – до насипу залізної дороги, та від мінус 1,0 до мінус 2,0 м БС – після насипу;

в) відстань від урізу моря до урізу води лиману становить від 1575 до 1700 м і залежить від рівня води в лимані та морі;

г) під насипом залізної дороги на ділянці станції «Одеса-Сортирувальна» є дві водопропускні споруди, які можуть бути використані, як складові частини, при будівництві штучного з'єднувального каналу або при прокладанні труби.

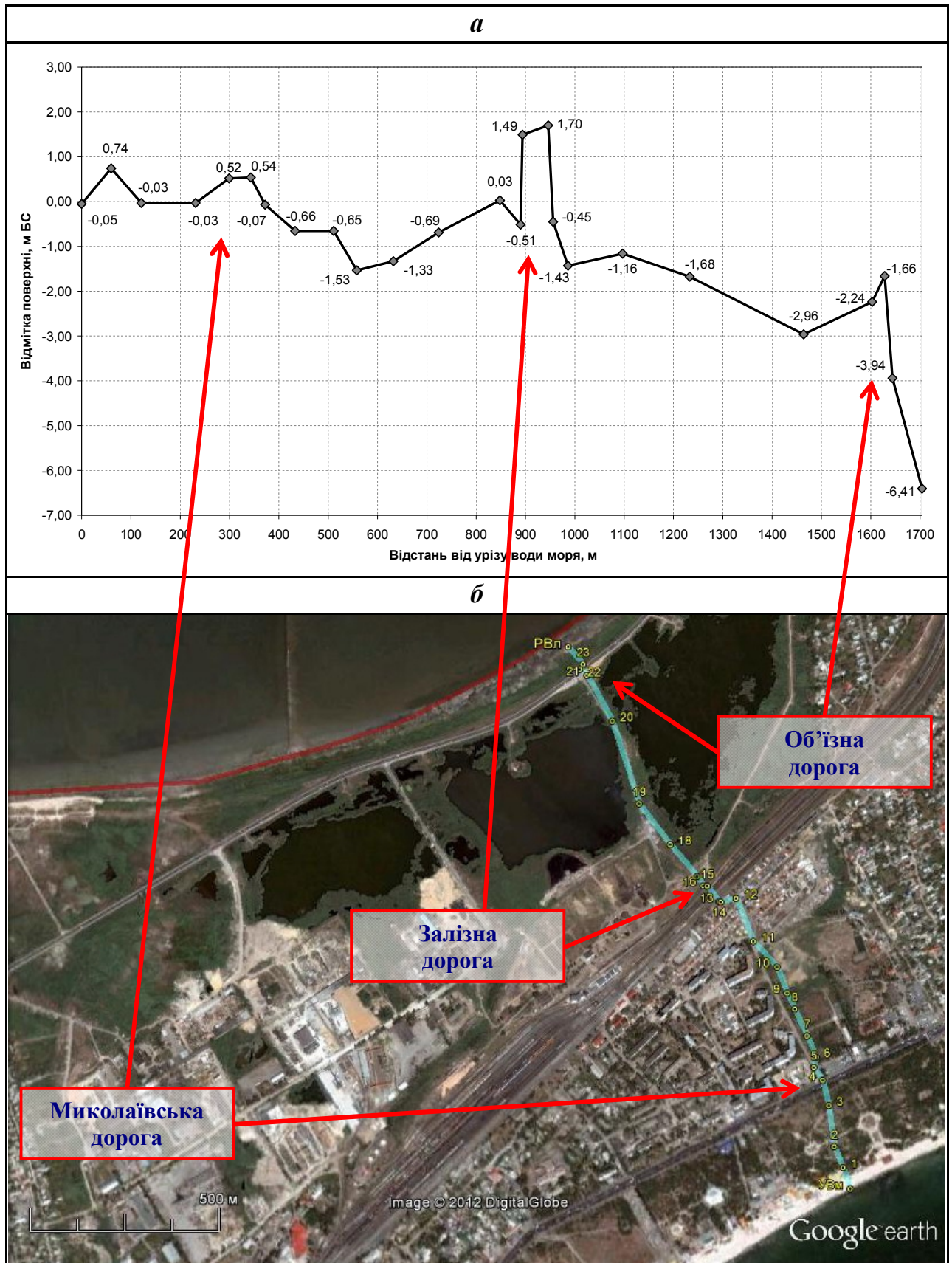


Рисунок 1.25 – Профіль поверхні пересипу за даними нівелювання у 2012 р. (а) та супутниковий знімок місцевості (б) на ділянці можливої траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман». Показаний хід нівелювання вздовж запропонованої траси проходження трубопроводу.

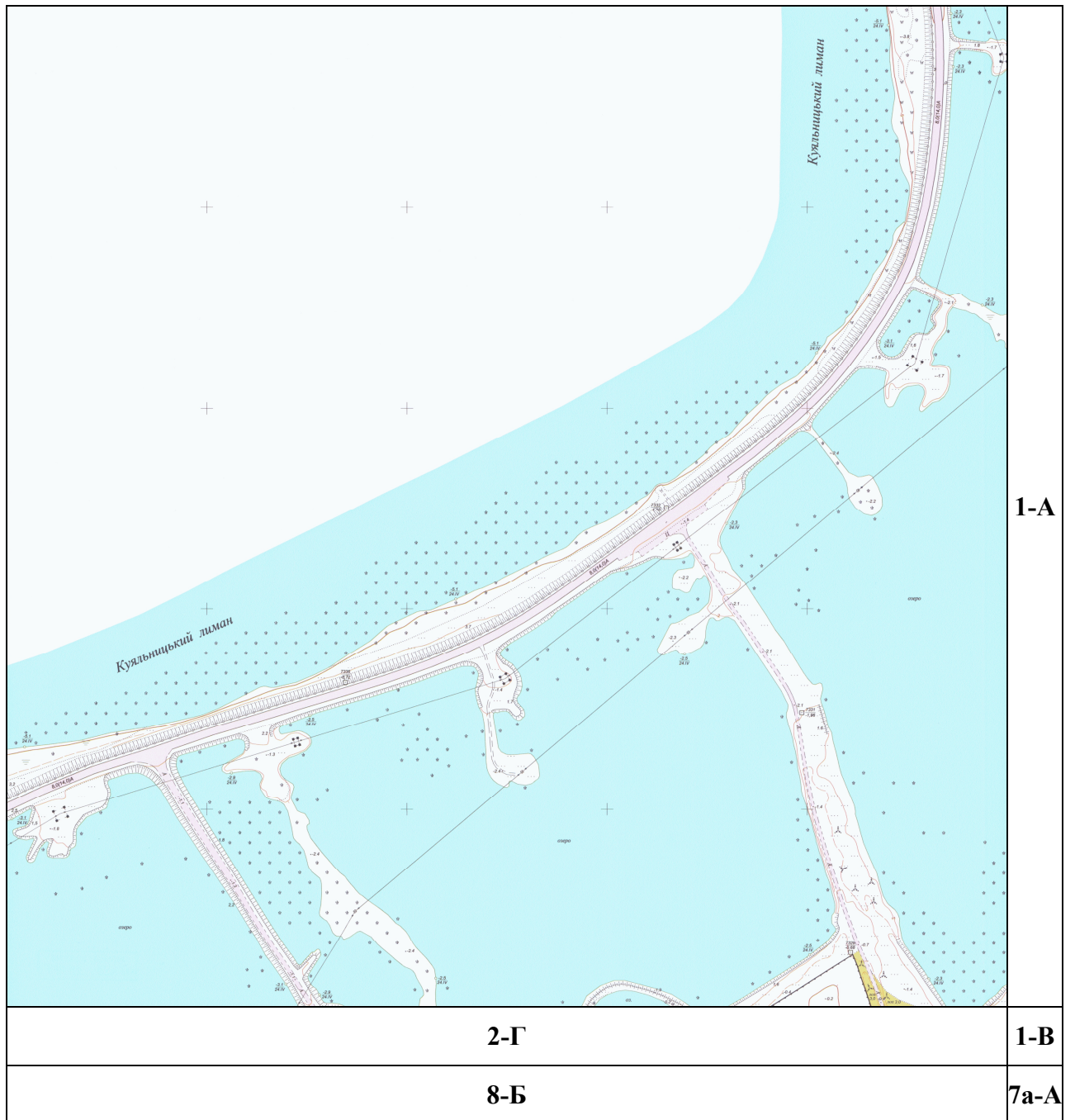


Рисунок 1.26 – Карта М 1:2000 (лист **2-Б**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»

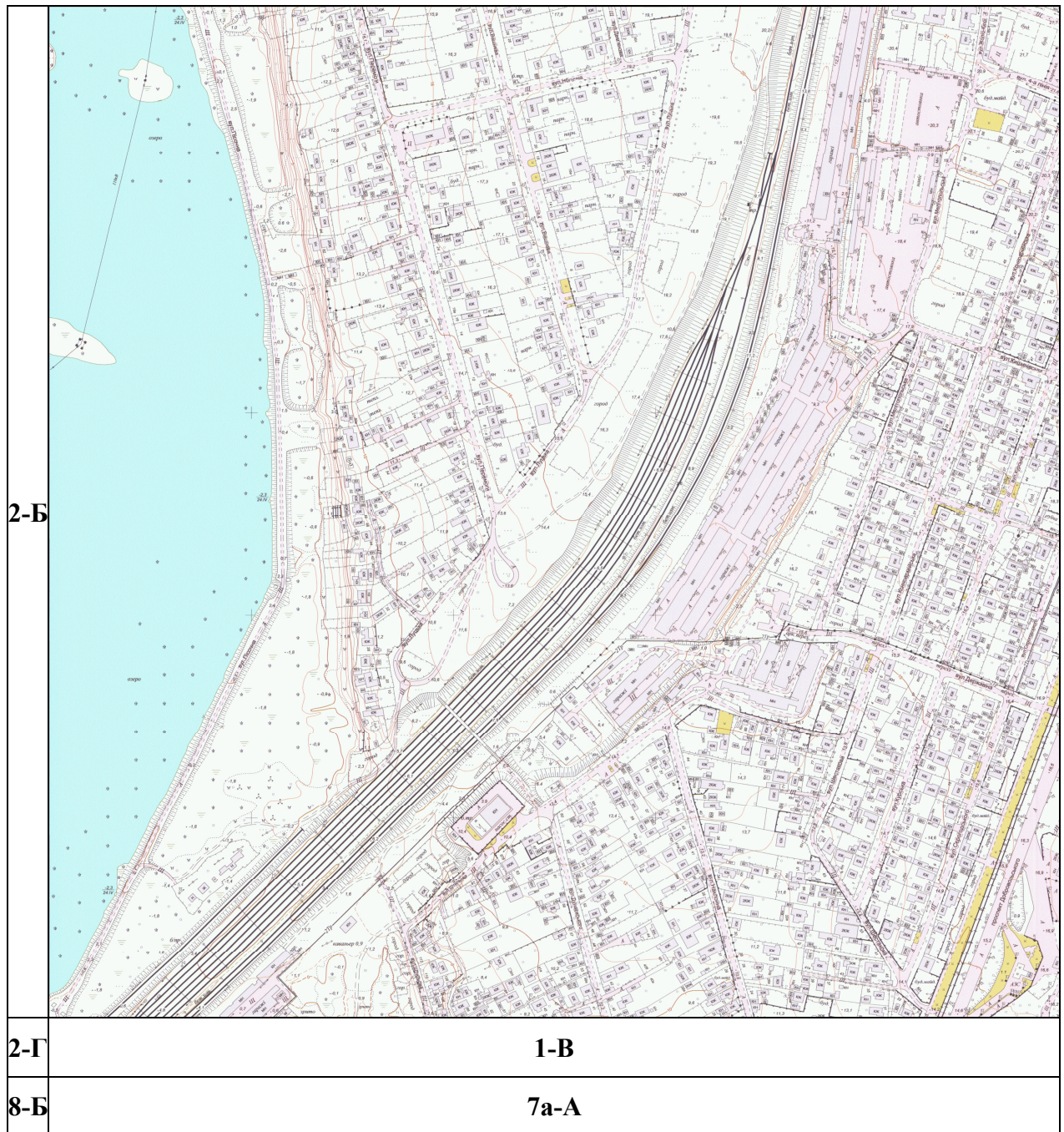


Рисунок 1.27 – Карта М 1:2000 (лист **1-А**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»

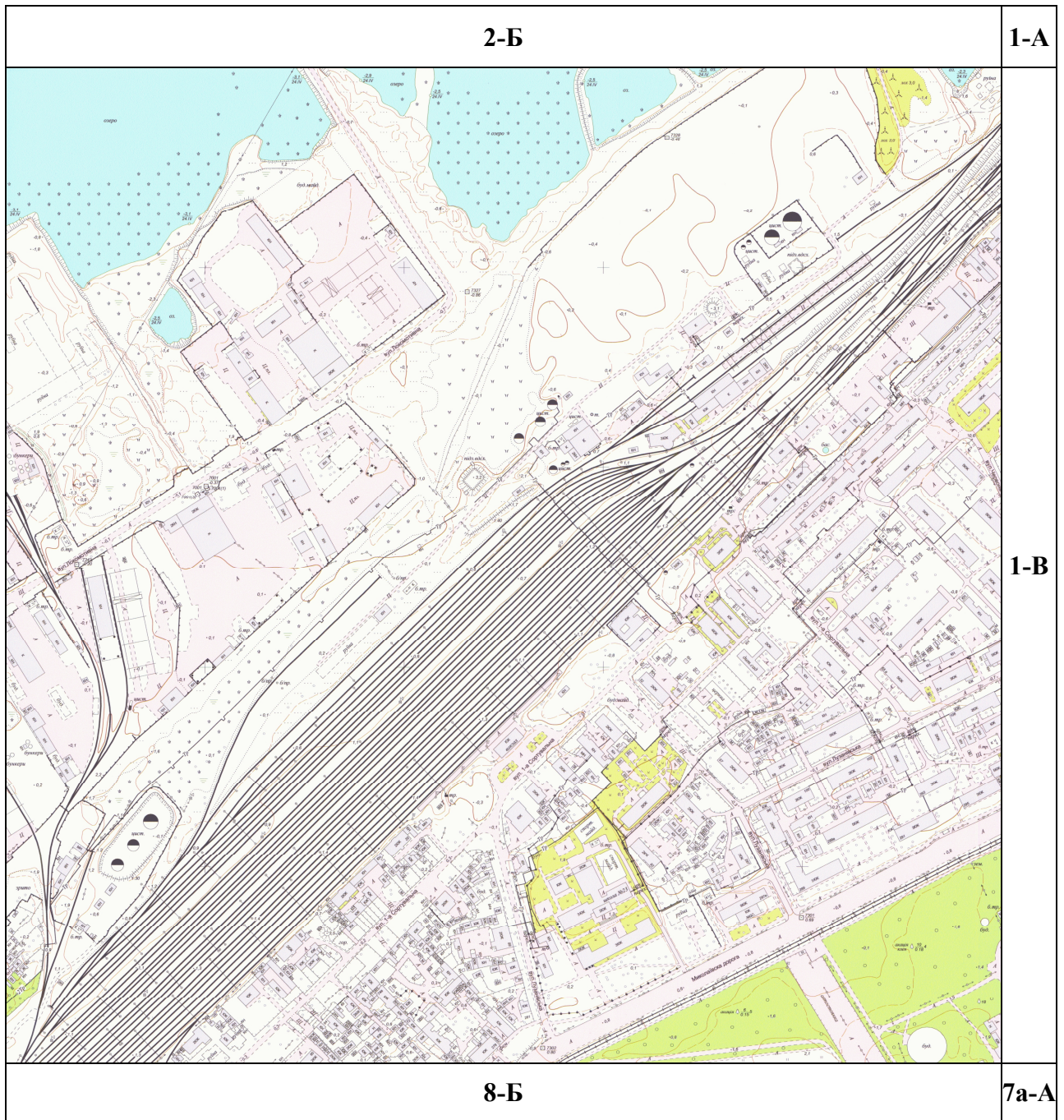


Рисунок 1.28 – Карта М 1:2000 (лист **2-Г**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»

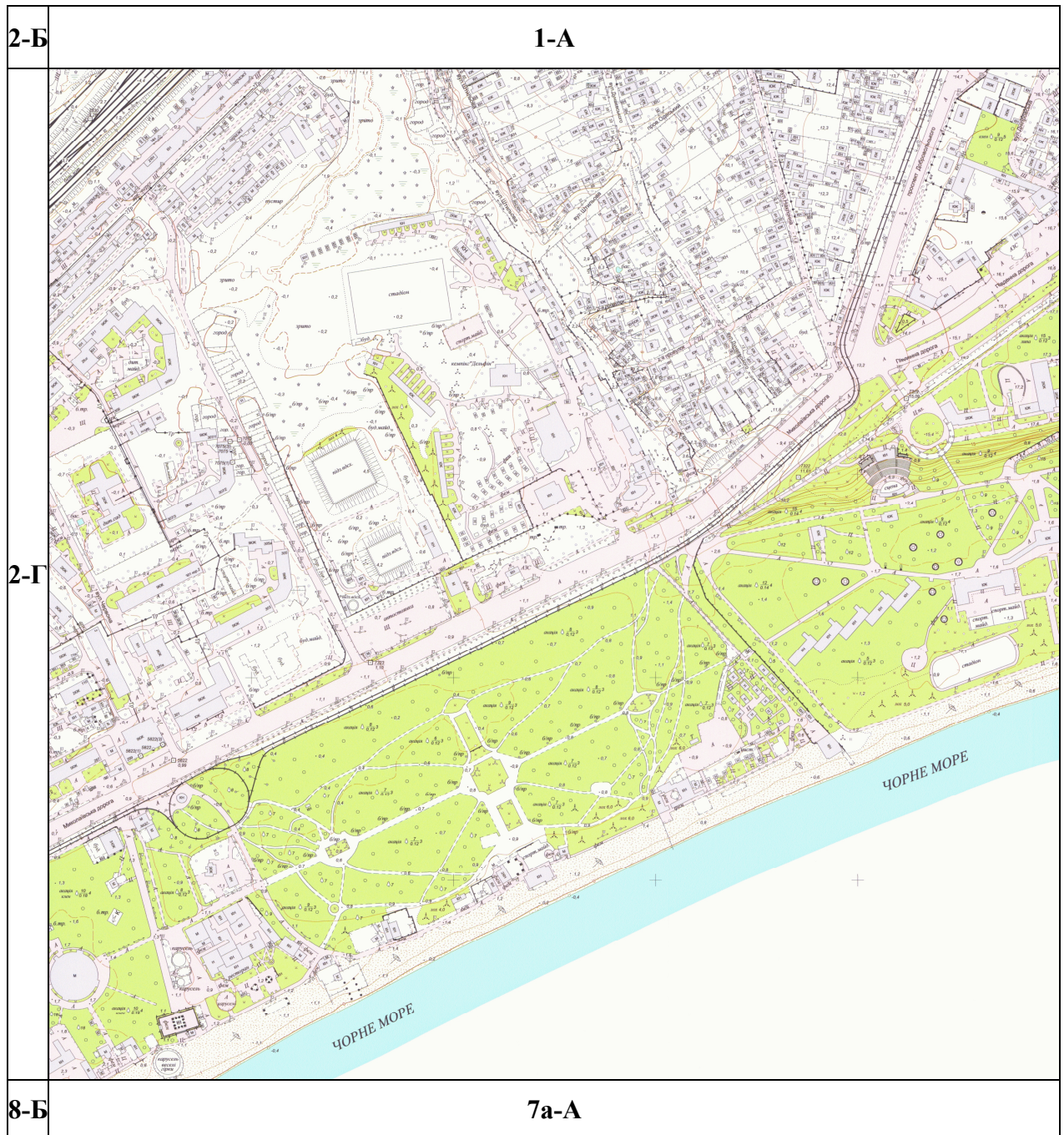


Рисунок 1.29 – Карта М 1:2000 (лист 1-В) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»

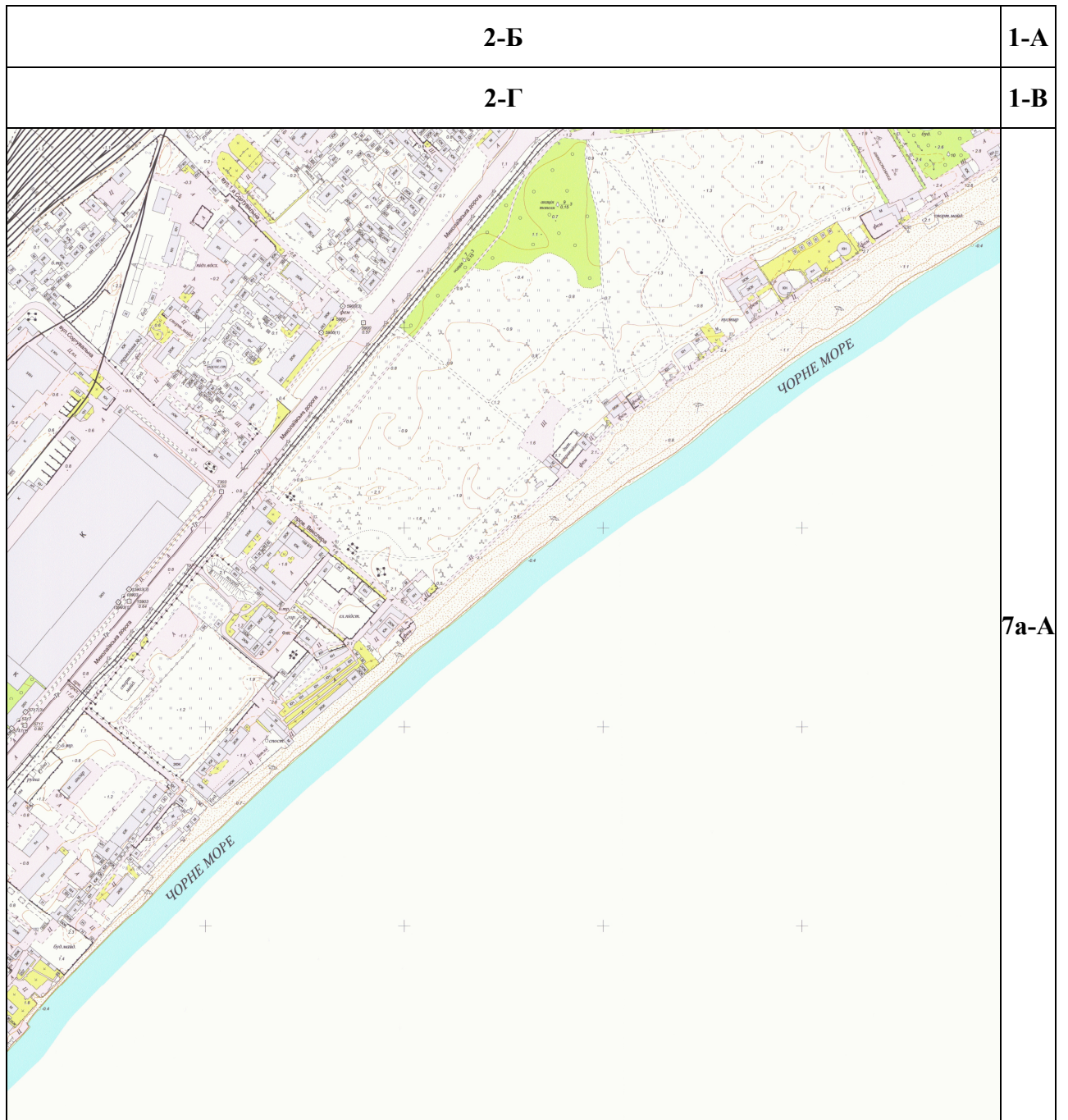


Рисунок 1.30 – Карта М 1:2000 (лист **8-Б**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лимани»

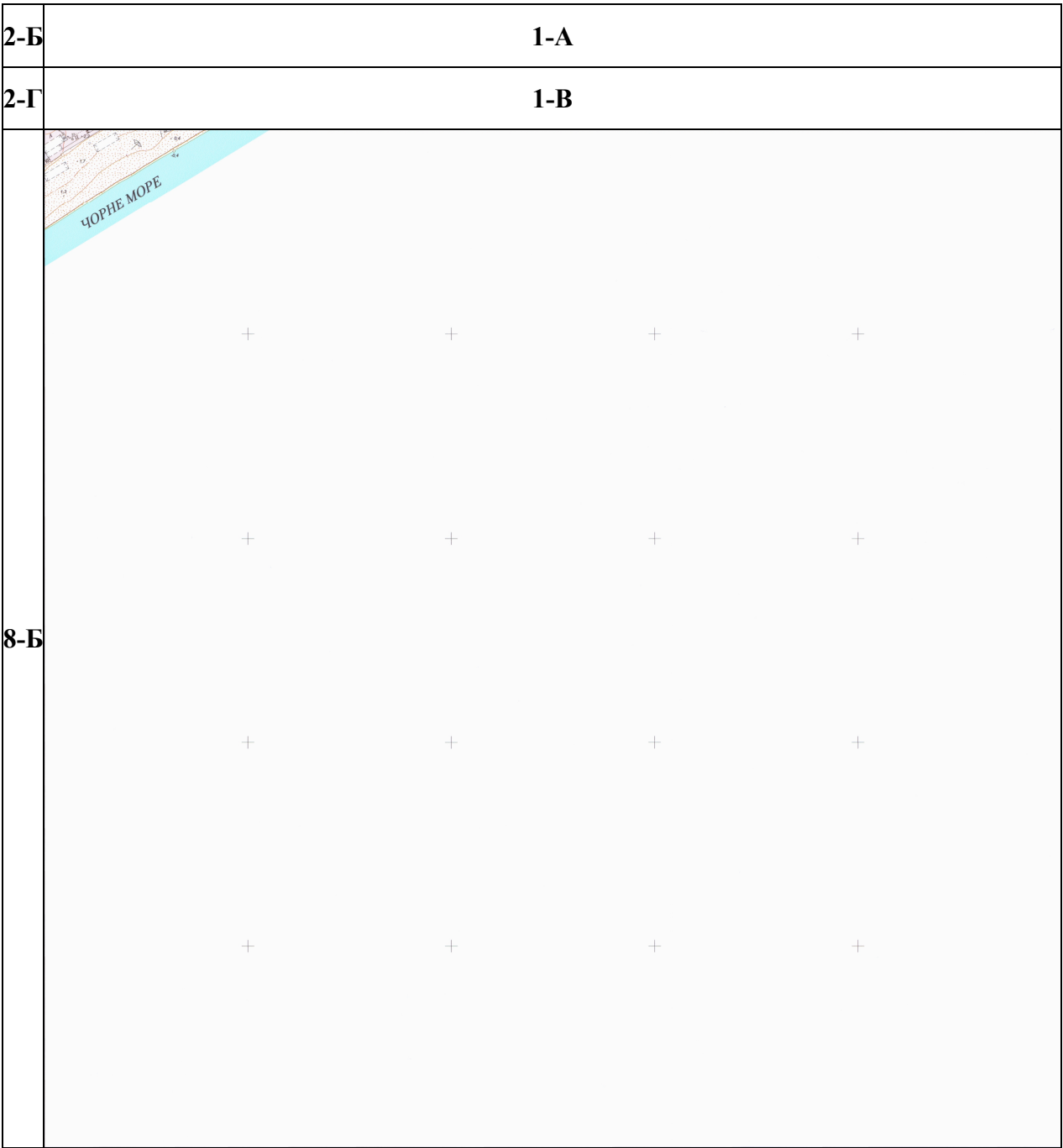


Рисунок 1.31 – Карта М 1:2000 (лист **7а-А**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»

Таблиця 1.8 – Відмітки поверхні та відстані між характерними точками пересипу на ділянці можливої траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман», за даними карт М 1:2000

Позначення точок	Відмітка, м БС	Позначення лінії	Азимут лінії, °	Відстань між точками, м	Відстань від УВ _м , м
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
УВ _м	-0,4	УВ _м – 1	338,0	2,8	0,0
1	0,0	1 – 2	338,0	13,4	2,8
2	1,0	2 – 3	338,0	15,1	16,2
3	1,4	3 – 4	338,0	22,2	31,3
4	1,0	4 – 5	338,0	1,4	53,5
5	0,9	5 – 6	342,0	10,8	54,9
6	0,8	6 – 7	349,0	17,1	65,7
7	0,7	7 – 8	350,5	39,9	82,8
8	0,7	8 – 9	351,5	21,4	122,7
9	0,7	9 – 10	353,5	47,0	144,1
10	0,6	10 – 11	341,0	48,4	191,1
11	0,2	11 – 12	332,0	19,9	239,5
12	0,5	12 – 13	332,0	2,8	259,4
13	0,6	13 – 14	333,0	10,8	262,2
14	1,0	14 – 15	333,5	15,1	273,0
15	1,1	15 – 16	333,5	12,8	288,1
16	1,0	16 – 17	332,5	52,7	300,9

Продовження табл. 1.8

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
17	0,7	17 – 18	0,5	27,1	353,6
18	0,5	18 – 19	340,0	57,0	380,7
19	0,1	19 – 20	334,0	5,7	437,7
20	0,0	20 – 21	334,0	18,5	443,4
21	0,0	21 – 22	335,0	14,2	461,9
22	0,0	22 – 23	342,5	35,6	476,1
23	0,0	23 – 24	349,0	15,7	511,7
24	0,0	24 – 25	345,0	55,6	527,4
25	-0,3	25 – 26	331,5	84,0	583,0
26	0,0	26 – 27	295,0	25,6	667,0
27	0,0	27 – 28	295,0	11,4	692,6
28	0,0	28 – 29	295,0	22,8	704,0
29	0,0	29 – 30	350,0	58,4	726,8
30	-0,2	30 – 31	337,0	25,6	785,2
31	0,0	31 – 32	319,0	45,6	810,8
32	0,2	32 – 32/1	251,0	19,9	856,4
32/1	0,3	32/1 – 32/2	273,0	18,5	856,4
32/2	0,4	32/2 – 33	273,0	2,8	856,4
33	-0,7	33 – 34	316,0	2,8	876,3
34	0,5	34 – 35	316,0	4,3	879,1

Продовження табл. 1.8

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
35	3,1	35 – 36	316,0	17,1	883,4
36	4,0	36 – 37	316,0	8,5	900,5
37	3,7	37 – 38	316,0	24,2	909,0
38	3,1	38 – 39	304,0	12,8	933,2
39	0,5	39 – 40	304,0	2,0	946,0
40	0,0	40 – 41	304,0	1,4	948,0
41	-0,5	41 – 42	304,0	15,1	949,4
42	-0,5	42 – 43	304,0	4,3	964,5
43	0,0	43 – 44	304,0	9,1	968,8
44	0,4	44 – 45	320,0	19,9	977,9
45	0,0	45 – 46	320,0	11,4	997,8
46	-0,5	46 – 47	320,0	19,7	1009,2
47	-1,0	47 – 48	320,0	6,6	1028,9
48	-1,0	48 – 49	326,0	15,7	1035,5
49	-1,0	49 – 50	326,0	32,8	1051,2
50	-1,0	50 – 51	326,0	14,2	1084,0
51	-1,0	51 – 52	334,0	16,5	1098,2
52	-1,0	52 – 53	335,0	9,4	1114,7
53	-1,0	53 – 54	318,0	32,8	1124,1
54	-1,5	54 – 55	319,0	13,1	1156,9

Продовження табл. 1.8

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
55	-1,5				1170,0
		55 – 56	320,0	12,3	
56	-1,5				1182,3
		56 – 57	319,0	12,8	
57	-1,5				1195,1
		57 – 58	338,0	79,8	
58	-1,4				1274,9
		58 – 59	349,5	40,5	
59	-1,5				1315,4
		59 – 60	350,5	48,4	
60	-2,0				1363,8
		60 – 61	337,5	15,7	
61	-2,1				1379,5
		61 – 62	330,0	61,3	
62	-2,1				1440,8
		62 – 63	323,5	57,0	
63	-2,1				1497,8
		63 – 64	326,0	10,0	
64	-2,0				1507,8
		64 – 65	329,5	82,6	
65	-1,4				1590,4
		65 – 66	325,5	7,1	
66	-1,0				1597,5
		66 – 67	325,0	14,2	
67	-1,2				1611,7
		67 – 68	323,5	23,6	
68	-5,0				1635,3
		68 – УВ _л	323,0	2,0	
УВ _л	-5,1				1637,3

Отримані дані свідчать про можливість будівництва штучного з'єднувального каналу або трубопроводу, через які морські води самопливом (без використання насосних станцій) будуть наповнювати лиман, а також дозволяють попередньо визначити трасу їх проходження на місцевості.

Результати оцінки рельєфу поверхні пересипу між лиманом та морем на ділянці з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» були використані в гідравлічних розрахунках інтенсивності надходження морських вод в лиман самопливом через штучну з'єднувальну гідротехнічну споруду (канал або трубопровід) та при оцінці її оптимальних техніко-конструкторських

характеристик (розділ 3), а також при розробці рекомендацій щодо заходів по створенню сприятливого гідроекологічного режиму лиману за рахунок поповнення морськими водами (Висновки і рекомендації).

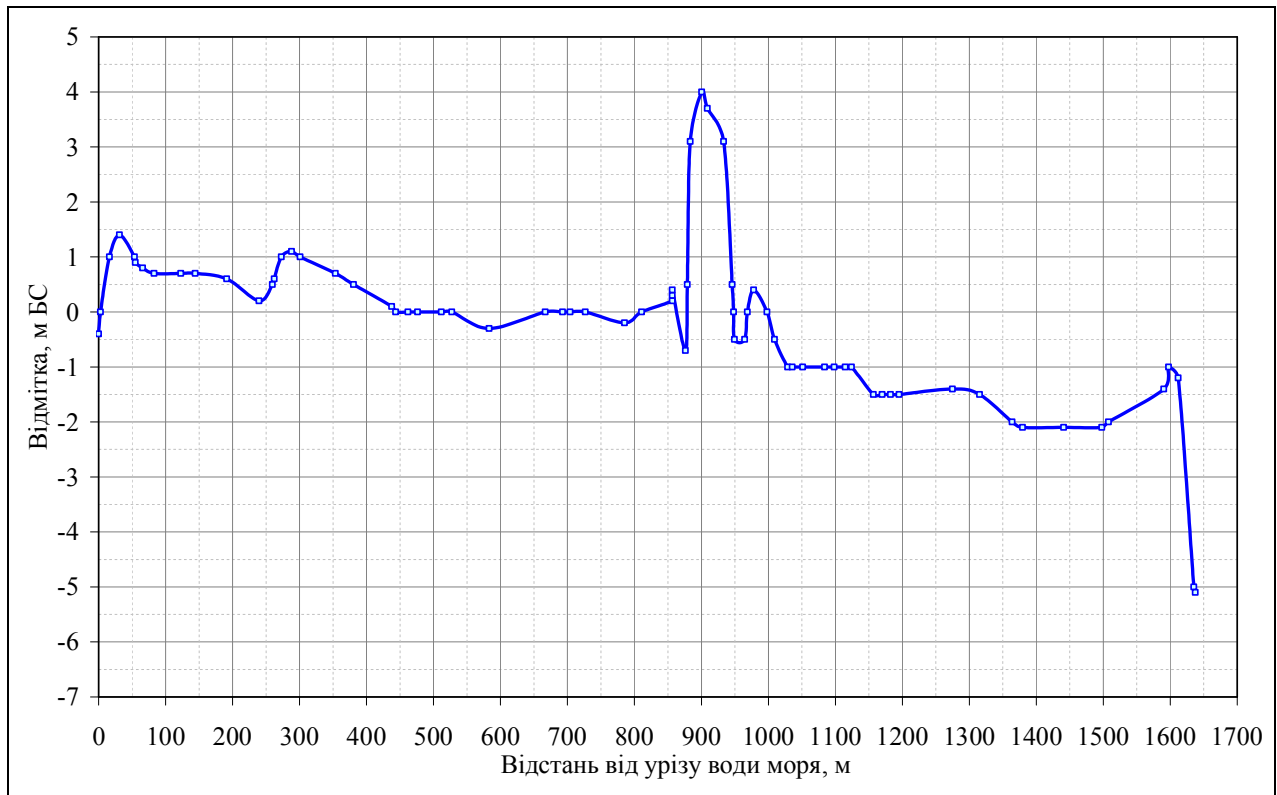


Рисунок 1.32 – Профіль поверхні пересипу на ділянці можливої траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (канал або трубопровід) «море-лиман», за даними карт М 1:2000

1.3.3 Характеристика штучних водойм пересипу між лиманом та морем на ділянці з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман»

В п. 1.1.4 надані історичні відомості та описано сучасне використання і водний режим штучних озер пересипу на ділянці можливої траси з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» (рис. 1.3б, 1.13, 1.14 і 1.25б). В даному пункті вже наведені результати натурних гідроекологічних досліджень цих водойм ОДЕКУ в 2012 р., а саме: дані батиметричної зйомки (табл. 1.9) та батиметричні карти (рис. 1.33 і 1.34), основні морфометричні характеристики, розподіл мінералізації води в озері 1 (рис. 1.35), хімічний склад води та дані візуальних спостережень за станом цих водойм (табл. 1.10), результати оцінки якості та сучасного екологічного стану їх вод (табл. 1.11-1.20). Це пов'язано з тим, що при будівництві з'єднувального каналу (або трубопроводу) для

поповнення лиману морськими водами, штучні озера (ставки) пересипу можуть бути використані як буферні водойми, наприклад, для додаткового очищення морських вод за принципом біоплато або для зменшення солоності морської води шляхом їх перемішування з відносно прісними водами цих озер. Використання водойм пересипу при реалізації системи альтернативного поповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря (з Одеської затоки) через з'єднувальну гідротехнічну споруду «море-лиман» також дозволить заощадити бюджетні кошти на проектування та будівництво частини з'єднувального самопливного каналу (чи трубопроводу) на ділянці цих озер (довжина ділянки становить 630 м), тому що вони самі можуть бути використані як складова гідротехнічної споруди для самопливної подачі морських вод в лиман в системі «море-озера-лиман».

Крім цього, якщо буде вирішено поповнювати Куяльницький лиман питною водою, можливо необхідно буде вирішувати питання видалення з цих вод залишкового хлору, який може негативно вплинути на гідробіонтів лиману. В цьому випадку, для вирішення цієї проблеми може бути використана схема наповнення лиману водою питної якості крізь водойми пересипу, які будуть виконувати функцію буферних водойм для вивільнення залишкового в питній воді хлору. Треба відмітити, що оцінка сучасного стану та характеристик штучних водойм пересипу і визначення можливого їх використання в системах альтернативного наповнення Куяльницького лиману (морською або питною водою) є також досить актуальною при плануванні та створенні в 2012-2015 рр. на пересипу парку водно-болотних угідь – «Ветланд-парку», що заплановано в «Регіональній програмі збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки» [1].

Таблиця 1.9 – Результати промірів глибин у штучних водоймах пересипу (озера 1 та 2) між лиманом і морем на ділянці траси з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» в 2012 р.

№ п/п	Географічні координати (в системі WGS-84), °		Глибина, м
	пн. ш.	сх. д.	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Озеро 1			
1	46,56387	30,75852	2,00
2	46,56408	30,75887	2,10
3	46,56426	30,75899	1,00
4	46,56424	30,75943	2,20
5	46,56559	30,75941	0,90

Продовження табл. 1.9

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
6	46,56518	30,75970	1,90
7	46,56471	30,76008	1,80
8	46,56439	30,76045	0,90
9	46,56410	30,76068	2,40
10	46,56399	30,76071	2,30
11	46,56355	30,76105	2,20
12	46,56317	30,76117	1,90
13	46,56269	30,76138	1,40
14	46,56244	30,76170	1,20
15	46,56267	30,76172	0,80
16	46,56311	30,76185	1,70
17	46,56359	30,76189	1,90
18	46,56404	30,76198	2,00
19	46,56441	30,76219	2,20
20	46,56445	30,76220	2,20
21	46,56508	30,76258	2,20
22	46,56564	30,76271	2,20
23	46,56568	30,76271	2,20
24	46,56653	30,76278	2,30
25	46,56708	30,76286	2,00
26	46,56728	30,76238	2,20
27	46,56737	30,76206	2,20
28	46,56751	30,76131	2,20
29	46,56759	30,76071	1,60
30	46,56724	30,76094	2,00
31	46,56695	30,76093	1,70
32	46,56676	30,76118	2,30
33	46,56656	30,76149	2,40
34	46,56653	30,76152	2,40
35	46,56631	30,76185	2,20
36	46,56592	30,76254	1,80
37	46,56571	30,76220	1,20
38	46,56540	30,76169	2,30
39	46,56518	30,76130	2,20
40	46,56467	30,76085	1,90
41	46,56447	30,76054	1,20
42	46,56407	30,75996	2,40
43	46,56378	30,75956	2,40
44	46,56346	30,75924	1,20

Продовження табл. 1.9

1	2	3	4
45	46,56321	30,75889	1,00
46	46,56420	30,75913	1,80
47	46,56423	30,75913	0,80
48	46,56454	30,75892	1,60
49	46,56483	30,75927	2,10
50	46,56473	30,75898	2,50
51	46,56465	30,75867	2,50
52	46,56450	30,75827	2,60
53	46,56414	30,75788	1,30
54	46,56415	30,75804	2,80
55	46,56422	30,75833	2,40
56	46,56430	30,75868	2,70
57	46,56463	30,75853	2,30
58	46,56485	30,75842	2,30
59	46,56481	30,75864	2,30
60	46,56473	30,75930	1,90
Озеро 2			
1	46,56319	30,75822	0,32
2	46,56304	30,75808	0,80
3	46,56280	30,75778	0,80
4	46,56236	30,75740	0,90
5	46,56227	30,75732	1,20
6	46,56207	30,75710	0,90
7	46,56185	30,75689	0,90
8	46,56164	30,75671	0,90
9	46,56140	30,75647	0,80
10	46,56108	30,75614	0,61
11	46,56082	30,75598	0,48
12	46,56059	30,75570	0,50
13	46,56043	30,75536	0,40
14	46,56028	30,75515	0,27
15	46,56056	30,75503	0,56
16	46,56097	30,75496	0,64
17	46,56119	30,75489	0,85
18	46,56159	30,75485	0,90
19	46,56184	30,75472	0,90
20	46,56226	30,75457	1,10
21	46,56239	30,75455	1,00
22	46,56192	30,75485	0,90

Продовження табл. 1.9

1	2	3	4
23	46,56179	30,75533	0,80
24	46,56161	30,75594	0,80
25	46,56151	30,75644	0,90
26	46,56139	30,75694	0,90
27	46,56130	30,75728	0,26
28	46,56151	30,75726	0,60
29	46,56195	30,75718	1,00
30	46,56215	30,75718	1,00
31	46,56261	30,75708	0,80
32	46,56313	30,75698	0,51
33	46,56317	30,75694	0,30
34	46,56308	30,75718	0,86
35	46,56310	30,75763	0,80
36	46,56310	30,75768	0,80
37	46,56313	30,75787	0,80

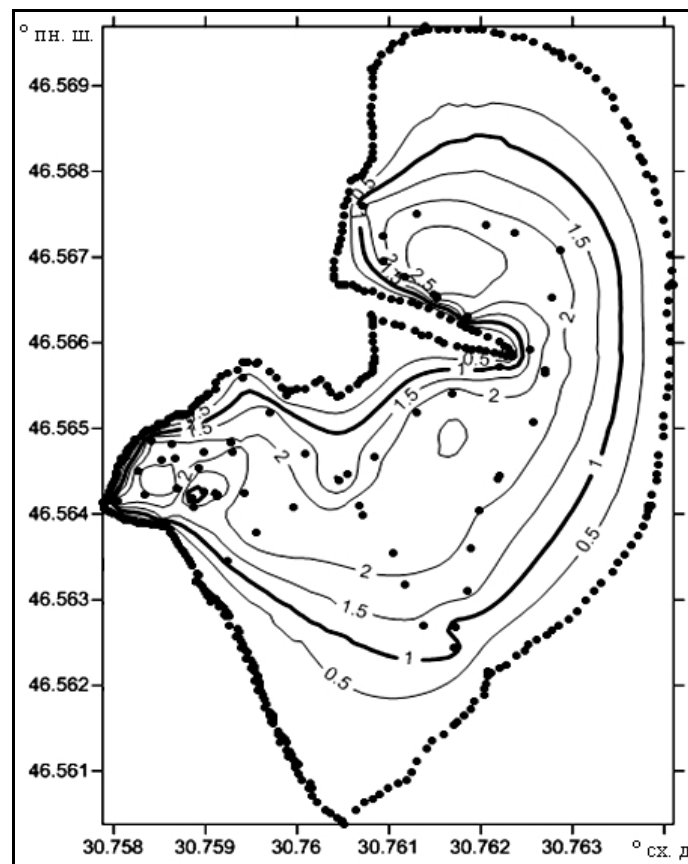


Рисунок 1.33 – Батиметрична карта озера 1 на ділянці траси з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» (станом на 2012 р.)

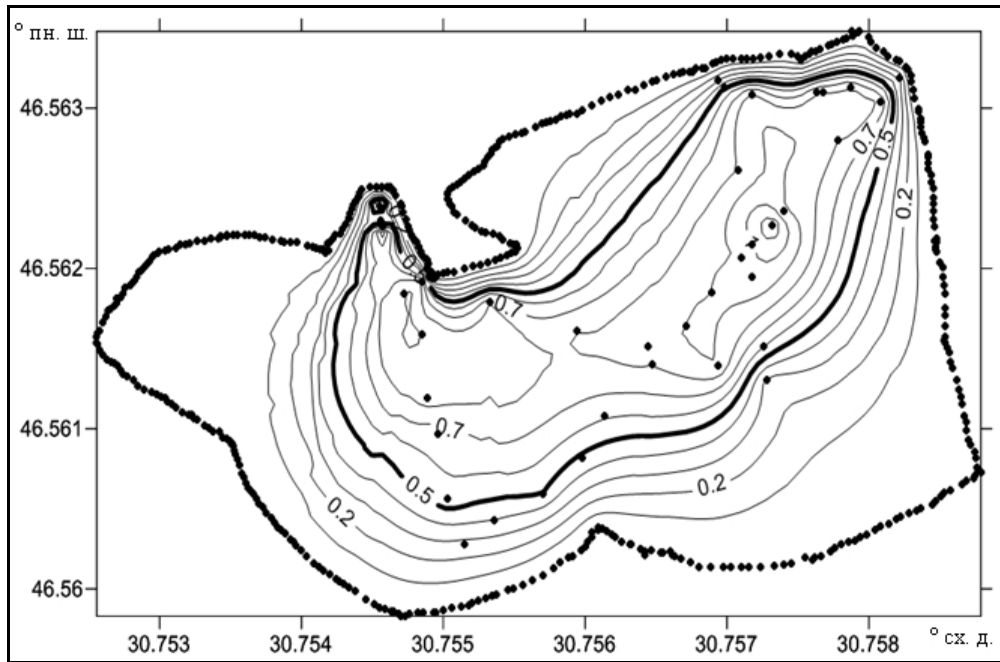


Рисунок 1.34 – Батиметрична карта озера 2 на ділянці траси з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» (станом на 2012 р.)

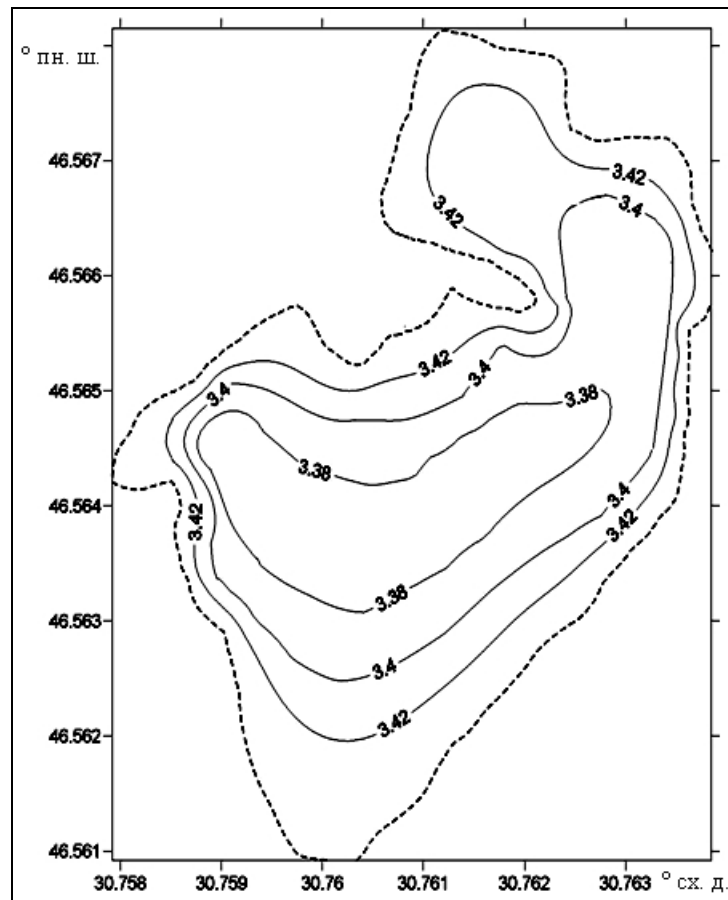


Рисунок 1.35 – Розподіл мінералізації води (мг/дм³) в озері 1 на ділянці траси з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» (станом на 22.05.2012 р.)

За результатами батиметричної зйомки в 2012 р. штучних водойм пересипу встановлено, що площа водної поверхні озера 1 становила майже 0,377 млн. м², об'єм води – майже 0,393 млн. м³, а середня глибина – 1,04 м, площа водної поверхні озера 2 становила майже 0,167 млн. м², об'єм води – майже 0,058 млн. м³, а середня глибина – 0,34 м. Також встановлено, що перетік води впродовж періоду з квітня по вересень 2012 р. був з озера 1 в озеро 2, а в періоди інтенсивних зливових дощів, як наприклад, 24 травня 2012 р., в ставках пересипу спостерігається швидке та значне підвищення рівня води, в деяких випадках на 0,5 м, що пояснюється сучасними умовами формування водного режиму цих ставків (див. п. 1.1.4).

З табл. 1.10 видно, що температура води в озерах пересипу змінювалася від 21,4 °С до 24,3 °С, прозорість води – від 1,3 (озеро 2) до 0,60 м (озеро 1), колір води – від жовтого (озеро 2) до коричневатого-жовтого (озеро 1), спостерігався слабкий вуглеводний (озеро 1) та гнильний (озеро 2) запах води з інтенсивністю 2 бала, рН – від 7,98 (озеро 1) до 8,11 (озеро 2), значення окислювально-відновного потенціалу – від мінус 50,5 мВ (озеро 2) до мінус 154,2 мВ (озеро 1), що опосередковано свідчить про вміст та стадію трансформації органічних речовин у воді цих озер.

Мінералізація води озер в середньому становить 3533 мг/дм³ та зменшується до 1600-1800 мг/дм³ – після інтенсивних атмосферних опадів. Сірководню – немає. Вміст розчиненого кисню змінювався від 3,13 мгО₂/дм³ (озеро 2) до 6,55 мгО₂/дм³ (озеро 1), БСК₅ – від 1,35 до 0,13 мгО₂/дм³.

На узбережжі озер знаходяться несанкціоновані звалища сміття, на ділянках прибережних смуг акваторії водойм (особливо прилеглих до Об'їзної дороги м. Одеси) була нафтова плівка, а в деяких місцях дна водойм виявлені нафтопродукти (мазут).

Оцінка якості води та екологічного стану штучних водойм пересипу виконувався доцентом кафедри гідроекології та водних досліджень ОДЕКУ Захаровою М.В. на основі даних натурних спостережень, здійснених ОДЕКУ в 2012 р. за «Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [38] та за методом Гідрохімічного інституту [39].

Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями дозволяє здійснити екологічну оцінку якості води – одержати інформацію про воду як складову водної екосистеми, життєве середовище гідробіонтів і важливу частину природного середовища людини.

Для оцінки якості води за окремими показниками визначались значення двох блокових індексів якості води (сольового складу і еколого-санітарного або трофо-сапробіологічного). На підставі значень блокових індексів якості води, визначалася їх приналежність до певного класу і категорії якості води за допомогою екологічної класифікації [38].

Таблиця 1.10 – Хімічний склад води штучних водойм (озер) пересипу між лиманом і морем на ділянці траси з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лимани» в 2012 р. (за даними лабораторії хімії навколишнього середовища ОДЕКУ, завідувача – Гриб К.О.)

Штучні водойми (озера)	Дата, дд.мм.рр.	Погодні явища	Візуальні спостереження	$t_{\text{води}},$ °C	Прозорість води (за б/д), $P, \text{м}$	Кольоровість води (за ШК)		Запах води		Присмак води	
						№	колір	характер	бал	характер	бал
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
озеро 1	22.05.12	тихо, ясно	нафтова плівка, сміття, мазут на дні	21,4	0,60	18	коричневато- жовтий	вуглеводний	2	ніякого присмаку	0
озеро 2	22.05.12	тихо, ясно	нафтова плівка, сміття, мазут на дні	24,3	1,30	16	жовтий	гнильний	2	ніякого присмаку	0
канал з озера 4	26.05.12	ясно, штиль, після зливи 24.05.2012 р.	чисто, течія спрямована в лиман	-	(до дна)	-	без кольору	ніякого запаху	0	ніякого присмаку	0
Середнє		-	-	22,9	0,95	17	коричневато- жовтий	-	1	ніякого присмаку	0
Найменше		-	-	21,4	0,60	-	без кольору	ніякого запаху	0	ніякого присмаку	0
Найбільше		-	-	24,3	1,30	18	коричневато- жовтий	-	2	ніякого присмаку	0

Продовження табл. 1.10

Штучні водойми (озера)	Дата, дд.мм.рр.	pH	Eh , мВ	Мінералізація води, α , мг/дм ³			Густина води, ρ , кг/м ³	Солоність води, S , ‰	ППП (вміст OP)	
				солемір «ВСЕГИНГЕО»	кондуктометр «ЭКСПЕРТ»	за сухим залишком (СЗ)			мг/дм ³	% (від сухого залишку)
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>
озеро 1	22.05.12	7,98	-154,2	4500	3580	4487	1001	4,483	841	18,7
озеро 2	22.05.12	8,11	-50,5	4300	3420	4321	1000	4,321	691	16,0
канал 3 озера 4	26.05.12	-	-	-	1616	1791	998	1,795	384	21,4
Середнє		8,05	-102,4	4400	2872	3533	1000	3,533	639	18,7
Найменше		7,98	-154,2	4300	1616	1791	998	1,795	384	16,0
Найбільше		8,11	-50,5	4500	3580	4487	1001	4,483	841	21,4

Продовження табл. 1.10

Штучні водойми (озера)	Дата, дд.мм.рр.	Сірководень, H_2S (якісно)	Розчинений у воді кисень, O_2 , мг O_2 /дм ³	BPK_5 , мг O_2 /дм ³	Нітрити NO_2^- , мгN/дм ³	Нітрати NO_3^- , мгN/дм ³	Амоній NH_4^+ , мгN/дм ³	Азот загальний, N , мгN/дм ³	Фосфати, PO_4^{3-} , мгP/дм ³
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>	<i>26</i>	<i>27</i>	<i>28</i>	<i>29</i>
озеро 1	22.05.12	відсутній	3,13	3,13	0,096	0,194	1,735	2,025	0,056
озеро 2	22.05.12	відсутній	6,55	6,50	0,079	0,175	0,451	0,705	0,012
канал 3 озера 4	26.05.12	відсутній	-	-	-	-	-	-	-
Середнє		відсутній	4,84	4,82	0,088	0,185	1,093	1,365	0,034
Найменше		відсутній	3,13	3,13	0,079	0,175	0,451	0,705	0,012
Найбільше		відсутній	6,55	6,50	0,096	0,194	1,735	2,025	0,056

Продовження табл. 1.10

Штучні водойми (озера)	Дата, дд.мм.рр.	Жорсткість води, T , мг-екв/дм ³			Кальцій, Ca^{2+}		Магній, Mg^{2+}	
		загальна	карбонатна (тимчасова)	не карбонатна (постійна)	мг-екв/дм ³	мг/дм ³	мг-екв/дм ³	мг/дм ³
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>30</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>
озеро 1	22.05.12	22,625	1,800	20,825	5,375	107,715	17,250	209,760
озеро 2	22.05.12	23,500	2,025	21,475	6,500	130,260	17,000	206,720
канал 3 озера 4	26.05.12	-	-	-	-	-	-	-
Середнє		23,063	1,913	21,150	5,938	118,988	17,125	208,240
Найменше		22,625	1,800	20,825	5,375	107,715	17,000	206,720
Найбільше		23,500	2,025	21,475	6,500	130,260	17,250	209,760

Продовження табл. 1.10

Штучні водойми (озера)	Дата, дд.мм.рр.	Натрій та калій, $Na^{+} + K^{+}$		Гідрокарбонати, HCO_3^{-}		Сульфати, SO_4^{2-}		Хлориди, Cl^{-}	
		мг-екв/дм ³	мг/дм ³	мг-екв/дм ³	мг/дм ³	мг-екв/дм ³	мг/дм ³	мг-екв/дм ³	мг/дм ³
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>37</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>
озеро 1	22.05.12	46,456	1161,408	1,800	109,800	40,050	1923,600	27,500	974,875
озеро 2	22.05.12	38,410	960,247	2,025	123,525	36,950	1774,710	31,750	1125,538
канал 3 озера 4	26.05.12	-	-	-	-	-	-	-	-
Середнє		42,433	1060,828	1,913	116,663	38,500	1849,155	29,625	1050,207
Найменше		38,410	960,247	1,800	109,800	36,950	1774,710	27,500	974,875
Найбільше		46,456	1161,408	2,025	123,525	40,050	1923,600	31,750	1125,538

Значення екологічного (інтегрального) індексу якості води (I_E), відповідно до [38] визначалося за формулою

$$I_E = \frac{(I_1 + I_2 + I_3)}{3}, \quad (1.1)$$

де I_1 – індекс забруднення компонентами сольового складу;

I_2 – індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників;

I_3 – індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

Перелік показників, за якими здійснювалося оцінювання якості води за відповідними категоріями, наведений в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Показники екологічної оцінки якості води

Показники сольового складу	Трофо-сапробіологічні показники
Мінералізація, мг/дм ³	Прозорість, м
	pH
	Розчинений кисень, мгО ₂ /дм ³
Хлориди, мг/дм ³	БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³
	Азот амонійний, мгN/дм ³
	Азот нітритний, мгN/дм ³
Сульфати, мг/дм ³	Азот нітратний, мгN/дм ³
	Фосфор фосфатний, мгP/дм ³

Результати визначення блокових індексів за осередненими даними наведені в табл. 1.12 та 1.13.

Таблиця 1.12 – Класи та категорії якості води штучних водойм пересипу за окремими показниками (згідно «Методики екологічної оцінки якості води за відповідними категоріями» [38]) за даними ОДЕКУ (станом на 2012 р.)

Штучні водойми (озера)		Показники сольового блоку					
		Мінералізація (за СЗ)		Сульфати, SO ₄ ²⁻		Хлориди, Cl ⁻	
		Клас	Категорія	Клас	Категорія	Клас	Категорія
Озера 1 та 2	Середнє	IV	6	V	7	IV	6
	Найгірше	V	7	V	7	IV	6

Продовження табл. 1.12

Штучні водойми (озера)		Показники трофо-сапробіологічного (еколого-санітарного) блоку							
		Прозорість води		<i>pH</i>		Розчинений кисень, O ₂		БСК ₅	
		Клас	Категорія	Клас	Категорія	Клас	Категорія	Клас	Категорія
Озера 1 та 2	Середнє	II	2	II	3	IV	6	III	5
	Найгірше	III	4	II	3	V	7	III	5

Продовження табл. 1.12

Штучні водойми (озера)		Показники трофо-сапробіологічного (еколого-санітарного) блоку							
		Азот нітритний, NO ₂ ⁻		Азот нітратний, NO ₃ ⁻		Азот амонійний, NH ₄ ⁺		Фосфор фосфатний, PO ₄ ³⁻	
		Клас	Категорія	Клас	Категорія	Клас	Категорія	Клас	Категорія
Озера 1 та 2	Середнє	IV	6	I	1	IV	6	II	3
	Найгірше	IV	6	I	1	IV	6	III	4

В цілому за критеріями іонного складу в 2012 р. води озер пересипу характеризуються приналежністю до сульфатного класу вод та належать до групи натрію, тип II. Виконана класифікація якості солонуватих вод озер пересипу за компонентами сольового складу показала, що практично по кожному з показників сольового складу спостерігається зміна якості вод від IV класу, 6 категорії до V класу, 7 категорії, що відповідає «поганому» та «дуже поганому» стану, «брудному» та «дуже брудному» ступеню чистоти.

Найбільшим вмістом і приналежністю до V класу, 7 категорії характеризуються речовини, що належать до трофо-сапробіологічного блоку (NO₂⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻). Дефіцит O₂ і приналежністю до V класу, 7 категорії та значна концентрація сполук азоту (NO₂⁻, NH₄⁺) характеризують воду за станом як «погану», за чистотою як «брудну», за трофністю як «політрофну», за сапробністю як «α''-мезосапробну».

Підсумовуючи результати оцінки екологічного стану вод штучних водойм пересипу (табл. 1.13) слід відзначити, що за середніми та за максимальними значеннями стан вод озер 1 та 2 відповідає IV класу, 6 категорії (за станом – «погані», за чистотою – «брудні», за трофністю – «політрофні», за сапробністю – «α''-мезосапробні»).

За індексом трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників води озер пересипу відповідають III класу, 4 категорії, що свідчить про їхній «задовільний» стан, про «слабку забрудненість» за ступенем чистоти, про «евтрофність» за трофністю, про « β ''-мезосапробність» за сапробністю.

Комплексна оцінка за величиною інтегрального (екологічного) індексу свідчить про те, що екосистема штучних водойм (озер) пересипу за середніми та максимальними значеннями на сьогодні характеризується приналежністю до III класу, 5 категорії, тобто це є свідченням того, що води за станом є «посередні», за чистотою «помірно забруднені», за трофністю – «евполітрофні», за сапробністю – « α' -мезосапробні».

Таблиця 1.13 – Екологічна оцінка якості води штучних водойм пересипу (згідно «Методики екологічної оцінки якості води за відповідними категоріями» [38]) за даними ОДЕКУ (станом на 2012 р.)

Штучні водойми (озера)		Сольовий блок			
		I_1	Клас (категорія)	Екологічна класифікація	
				За станом	За ступенем чистоти
Озера 1 та 2	Середнє	6,33	IV (6)	Погані	Брудні
	Найгірше	6,67	IV (6)	Погані	Брудні

Продовження табл. 1.13

Штучні водойми (озера)		Сольовий блок			
		I_2	Клас (категорія)	Екологічна класифікація	
				За станом	За ступенем чистоти
Озера 1 та 2	Середнє	4,00	III (4)	Задовільні	Слабко забруднені
	Найгірше	4,50	III (4)	Задовільні	Слабко забруднені

Продовження табл. 1.13

Штучні водойми (озера)		Інтегральний (екологічний) індекс					
		I_E	Клас (категорія)	Екологічна класифікація			
				За станом	За ступенем чистоти	Трофність	Сапробність
Озера 1 та 2	Середнє	5,17	III (5)	Посередні	Помірно забруднені	Евполітрофні	α' -мезосапробні
	Найгірше	5,58	III (5)	Посередні	Помірно забруднені	Евполітрофні	α' -мезосапробні

Оцінюючи екологічний стан за окремими показниками можна відзначити перевищення вмісту сульфатів у водах і дефіцит вмісту розчиненого кисню, що є причиною переважання несприятливих анаеробних умов, а також значне забруднення сполуками азоту, а саме, азоту нітритного та амонійного, що є свідомством протікання зворотнього процесу трансформації азотних сполук в умовах значного біогенного навантаження. За комплексною екологічною оцінкою якості вод, екологічний стан водойм пересипу, в цілому, можна охарактеризувати як «поганий» за середніми значеннями, як «дуже поганий» – за максимальними значеннями.

Метод Гідрохімічного інституту (ГХІ) [39], який розроблений і використовується у діяльності установ Державної гідрометеослужби та Державного агентства водних ресурсів України, полягає в одержанні однозначної оцінки якості води і проведенні на її основі класифікації води за ступенем придатності для основних видів водокористування.

Для оцінки якості води озер пересипу за методом ГХІ, як цільові, були використані рибогосподарські нормативи ГДК.

Метод ГХІ для встановлення рівня якості води водних об'єктів передбачає проведення трьохступеневої класифікації за ознаками повторюваності випадків забруднення, кратності перевищення нормативів, а також з урахуванням характеру забрудненості води окремими гідрохімічними показниками.

Перший ступінь класифікації заснований на встановленні міри стійкості забрудненості. В якості міри стійкості забрудненості використовується широко поширена в гідрохімічній практиці повторюваність випадків перевищення ГДК

$$H_i = \left(\frac{N_{\text{ГДК}}}{N_i} \right) \cdot 100, \quad (1.2)$$

де H_i – повторюваність випадків перевищення ГДК i -го інгредієнта;

$N_{\text{ГДК}}$ – кількість випадків, коли вміст i -го інгредієнта перевищує його ГДК;

N_i – загальна кількість результатів аналізу i -го інгредієнта.

При аналізі забрудненості за ознаками повторюваності виділяються як якісно помітні такі характеристики: забрудненість може характеризуватися, як «одинична» (до 10 % випадків), «нестійка» (10-30 % випадків), «стійка» (30-50 % випадків), «характерна» (50-100 % випадків). Якісним виразам виділених характеристик забрудненості води присуджуються кількісні вирази (a , b , c , d) в балах від 1 до 4. Другий ступінь класифікації заснований на встановленні рівня забрудненості, в якості якого використовується також широко поширений в гідрохімічній практиці показник кратності перевищення ГДК

$$K_i = \frac{C_i}{C_{\text{ГДК}}}, \quad (1.3)$$

де K_i – кратність перевищення ГДК i -го інгредієнта;

C_i – концентрація i -го інгредієнта у воді водного об'єкта, мг/дм³;

$C_{ГДК}$ – гранично допустима концентрація (ГДК) i -го інгредієнта, мг/дм³.

При аналізі загального ступеня забрудненості за рівнем забрудненості окремими речовинами, забрудненість характеризується, як: «низька» (до 2·ГДК), «середня» (від 2·ГДК до 10·ГДК), «висока» (від 10·ГДК до 50·ГДК), «дуже висока» (> 50·ГДК).

Якісним виразам виділених характеристик забрудненості води присуджуються кількісні вирази (a_1, b_1, c_1, d_1) в балах від 1 до 4. При поєднанні 1-го та 2-го ступенів класифікації води по кожному з гідрохімічних інгредієнтів визначаються узагальнені оцінні бали (S_i), одержані як добуток оцінок (a, b, c, d) та (a_1, b_1, c_1, d_1) за окремими характеристиками. Значення S_i може становити від 1 до 16 (чим більше, тим гірша якість води по окремому інгредієнту).

Третій ступінь класифікації полягає в узагальненні даних по окремих гідрохімічних показниках. Для цього обчислюється комбінаторний індекс забрудненості (КІЗ) шляхом додавання всіх узагальнених оціночних балів (S_i) по окремих гідрохімічних показниках

$$КІЗ = \sum_{i=1}^n S_i. \quad (1.4)$$

При цьому ті гідрохімічні показники, для яких узагальнений оціночний бал $S_i \geq 11$, вважаються лімітуючими ознаками забрудненості (ЛОЗ), тобто вони є найбільш забруднюючими речовинами і переводять якість води до категорії «неприпустимо брудна».

Надалі розраховується показник усередненої забрудненості – питомий комбінаторний індекс забруднення (ПКІЗ)

$$ПКІЗ = \sum_{i=1}^n S_i / n. \quad (1.5)$$

В залежності від кількості речовин – ЛОЗ, встановлюється клас і розряд якості води («слабко забруднена», «забруднена», «брудна», «дуже брудна») та робиться експертний висновок щодо придатності води для обраного виду водокористування. За методом ГХІ розрахунок виконувався для 13 гідрохімічних показників згідно рибогосподарських нормативів ГДК (ГДК_{р-г}).

Спочатку було виконано дослідження стійкості та кратності перевищень ГДК у воді озер пересипу за окремими показниками.

За результатами розрахунків повторюваності випадків перевищення ГДК (табл. 1.14) видно, що відсутність випадків перевищення ГДК спостерігається тільки по NO_3^- , найбільший відсоток перевищення ГДК – 100 %, спостерігається по всім іншим показникам (pH , O_2 , БСК_5 , $T_{\text{заг}}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, SO_4^{2-} , Cl^- , мінералізації, NO_2^- , NH_4^+).

Таблиця 1.14 – Повторюваність випадків перевищення ГДК_{р-г} в воді штучних водойм пересипу (озера 1 та 2) за даними ОДЕКУ (станом на 2012 р.)

Штучні водойми (озера)	pH	Розчинений кисень, O_2	БСК_5 ,	Жорсткість, $T_{\text{заг}}$
	ГДК _{р-г}			
	7,5	6,00 мг O_2 /дм ³	3,00 мг O_2 /дм ³	7,00 мг-екв/дм ³
	Повторюваність випадків перевищення ГДК _{р-г} , %			
1	2	3	4	5
Озера 1 та 2	100	100	100	100

Продовження табл. 1.14

Штучні водойми (озера)	Кальцій, Ca^{2+}	Магній, Mg^{2+}	Натрій і калій, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Сульфати, SO_4^{2-}	Хлориди, Cl^-	Мінералізація (за СЗ), α
	ГДК _{р-г} , мг/дм ³					
	180,00	40,00	170,00	100,00	300,00	1000,00
	Повторюваність випадків перевищення ГДК _{р-г} , %					
1	6	7	8	9	10	11
Озера 1 та 2	0	100	100	100	100	100

Продовження табл. 1.14

Штучні водойми (озера)	Азот нітритний, NO_2^-	Азот нітратний, NO_3^-	Азот амонійний, NH_4^+
	ГДК _{р-г} , мгN/дм ³		
	0,020	9,100	0,390
	Повторюваність випадків перевищення ГДК _{р-г} , %		
1	12	13	14
Озера 1 та 2	100	0	100

За результатами розрахунків кратності перевищення окремими гідрохімічними показниками нормативів ГДК_{р-г} (табл. 1.15) у воді озер пересипу видно, що перевищення ГДК_{р-г} фіксувалися для pH , O_2 , БСК₅, $T_{заг.}$, Mg^{2+} , $Na^+ + K^+$, SO_4^{2-} , Cl^- , мінералізації, NO_2^- , NH_4^+ , які становили від 1·ГДК_{р-г} до 20·ГДК_{р-г}. Відсутні перевищення для Ca^{2+} , NO_3^- .

Таблиця 1.15 – Кратність перевищення ГДК_{р-г} в воді штучних водойм пересипу (озера 1 та 2) за даними ОДЕКУ (станом на 2012 р.)

Штучні водойми (озера)	pH	Розчинений кисень, O_2	БСК ₅ ,	Жорсткість, $T_{заг.}$
	ГДК _{р-г}			
	7,5	6,00 мг O_2 /дм ³	3,00 мг O_2 /дм ³	7,00 мг-екв/дм ³
	Кратність перевищення ГДК _{р-г}			
1	2	3	4	5
Озера 1 та 2	1,07	1,42	1,61	3,29

Продовження табл. 1.15

Штучні водойми (озера)	Кальцій, Ca^{2+}	Магній, Mg^{2+}	Натрій і калій, $Na^+ + K^+$	Сульфати, SO_4^{2-}	Хлориди, Cl^-	Мінералізація (за СЗ), α
	ГДК _{р-г} , мг/дм ³					
	180,00	40,00	170,00	100,00	300,00	1000,00
	Кратність перевищення ГДК _{р-г}					
1	6	7	8	9	10	11
Озера 1 та 2	0,66	5,21	6,24	18,49	3,50	3,53

Продовження табл. 1.15

Штучні водойми (озера)	Азот нітритний, NO_2^-	Азот нітратний, NO_3^-	Азот амонійний, NH_4^+
	ГДК _{р-г} , мгN/дм ³		
	0,020	9,100	0,390
	Кратність перевищення ГДК _{р-г}		
1	12	13	14
Озера 1 та 2	4,38	0,02	2,80

Результати оцінки якісного стану вод штучних водойм (озер) пересипу наведені у табл. 1.16.

Таблиця 1.16 – Оцінка якісного стану води в штучних водоймах пересипу (озера 1 та 2) за даними ОДЕКУ (станом на 2012 р.)

Штучні водойми (озера)	Якість води по окремому інгредієнту, S_i , бал			
	pH	Розчинений кисень, O_2	БСК ₅	Жорсткість $T_{заг.}$
1	2	3	4	5
Озера 1 та 2	4	4	4	8

Продовження табл. 1.16

Штучні водойми (озера)	Якість води по окремому інгредієнту, S_i , бал					
	Кальцій, Ca^{2+}	Магній, Mg^{2+}	Натрій і калій, $Na^{+}+K^{+}$	Сульфати, SO_4^{2-}	Хлориди, Cl^{-}	Мінералізація (за СЗ), α
1	6	7	8	9	10	11
Озера 1 та 2	1	8	8	12	8	8

Продовження табл. 1.16

Штучні водойми (озера)	Якість води по окремому інгредієнту, S_i , бал		
	Азот нітритний, NO_2^{-}	Азот нітратний, NO_3^{-}	Азот амонійний, NH_4^{+}
1	12	13	14
Озера 1 та 2	8	1	8

Комплексна характеристика стану забрудненості води озер пересипу свідчить про стійку забрудненість дуже високого рівня за вмістом SO_4^{2-} , що також характеризує воду як «неприпустимо брудну».

За вмістом Ca^{2+} , NO_3^{-} вода характеризується як «слабко забруднена».

В той же час за pH , O_2 , БСК₅ вода характеризується як «брудна», а за $T_{заг.}$, Mg^{2+} , $Na^{+}+K^{+}$, Cl^{-} , мінералізацією, NO_2^{-} , NH_4^{+} – як «дуже брудна».

Загальний стан якості вод озер пересипу (табл. 1.17) за рибогосподарськими нормами і методикою ГХІ в 2012 р. характеризується як «дуже брудний», що відповідає IV класу якості, розряд б.

Результати визначення класу якості та забрудненості води окремими речовинами дозволяють зробити висновок, що за хімічним складом води штучних водойм пересипу (озера 1 та 2) не можуть бути безпечно використані для рибогосподарських потреб без ризику для риб та кінцевого споживача – людини (табл. 1.18).

Таблиця 1.17 – Характеристика якості води за рибогосподарськими нормами (ГДК_{р-г}) в штучних водоймах пересипу (озера 1 та 2) за даними ОДЕКУ (станом на 2012 р.)

Штучні водойми (озера)	КІЗ, бал	ПКІЗ, бал	Клас та розряд якості води	Речовини ЛОЗ
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Озера 1 та 2	82,0	6,3	IV, б – «Дуже брудна»	SO ₄ ²⁻

Таблиця 1.18 – Вплив забруднення на можливість використання води природних та штучних водойм

Характеристика якості води	Види водокористування					
	Господарсько- питне	Рекреація	Побутове використання	Рибне господарство	Промисловість	Зрошення
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Слабко забруднена	Придатна після очистки	Використо- вується	Придатна	Придатна для деяких видів риб	Придатна для всіх видів	Придатна
Забруднена	Не придатна	Не придатна	Не придатна	Не придатна	Утруднено	Придатна з обме- женнями

Продовження табл. 1.18

1	2	3	4	5	6	7
Брудна	Не придатна	Взагалі не придатна	Не придатна	Не придатна	Можливо для спеці- альних цілей після очищення	Ускладнено
Дуже брудна	Не придатна	Не використо- вується	Взагалі не- можливо	Не- можливо	Можливо в окремих випадках	Можливо в окремих випадках

Усунення впливу речовин ЛОЗ (табл. 1.18) дозволить поліпшити ситуацію. Обмежений водообмін і накопичення забруднювальних речовин в умовах інтенсивного випаровування з водної поверхні штучних водойм призводять до дефіциту (відсутності) розчиненого у воді кисню та, як наслідок, до значного біогенного навантаження, а отже деградації цих озер.

1.3.4 Наявна забудова і місцезнаходження основних підземних комунікацій на території пересипу вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу або каналу) «море-лиман» у сучасних умовах

Для оцінки наявної забудови та місцезнаходження основних підземних комунікацій на території пересипу вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу чи каналу) «море-лиман» у сучасних умовах були використані наступні листи планів місцевості М 1:500 – 2-б-7.06.0, 2-б-8.06.п0, 2-б-11.06.0, 2-б-12.06.0, 2-б-15.06.к0, 2-б-16.06.0, 1-а-13.06.0, 2-Г-4, 1-в-1.06.0, 1-в-5.06.0, 1-в-6.06.0, 1-в-9.06.0, 1-в-10.06.к0, 1-в-13.06.к0, 1-в-14.06.п0 (табл. 1.21, рис. 1.36-1.50).

Таблиця 1.21 – Положення листів планів М 1:500 ділянок на території пересипу вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу чи каналу) «море-лиман»

<i>Куяльницький лиман</i> (північ)		-	
2-б-7.06.0	2-б-8.06.п0	-	-
2-б-11.06.0	2-б-12.06.0	-	-
2-б-15.06.к0	2-б-16.06.0	1-а-13.06.0	-
-	2-Г-4	1-в-1.06.0	-
-	-	1-в-5.06.0	1-в-6.06.0
-	-	1-в-9.06.0	1-в-10.06.к0
-	-	1-в-13.06.к0	1-в-14.06.п0
-		<i>Одеська затока</i> (південь)	

1.3.5 Рекомендації щодо можливої траси проходження з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу чи каналу) «море-лиман» на території пересипу у сучасних умовах

З урахуванням наявної забудови, місцеположення основних наземних і підземних комунікацій та рельєфу поверхні території пересипу (рис. 1.26-1.31 та рис. 1.36-1.50), найбільш можливим варіантом для проходження траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу чи каналу) «море-лиман» у сучасних умовах є напрямок вздовж лінії, за якою побудовані профілі поверхні пересипу за даними нівелювання (табл. 1.17, рис. 1.25) та за даними карт М 1:2000 (табл. 1.18, рис. 1.32).

Рисунок 1.36 – План М 1:500 (лист **2-б-7.06.0**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»



Рисунок 1.37 – План М 1:500 (лист **2-б-8.06.п0**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»

Рисунок 1.38 – План М 1:500 (лист **2-б-11.06.0**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»

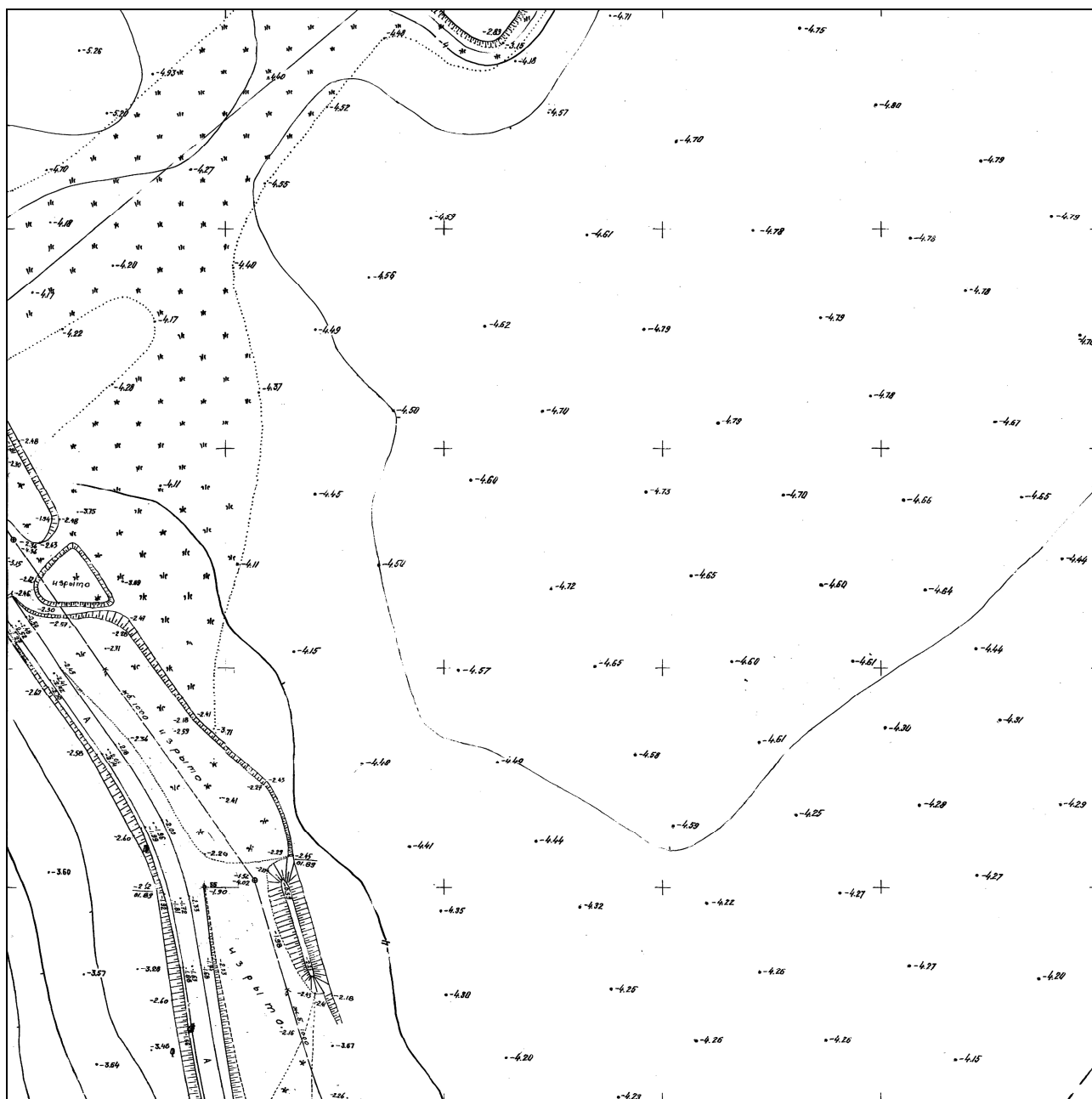


Рисунок 1.39 – План М 1:500 (лист **2-б-12.06.0**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лимани»

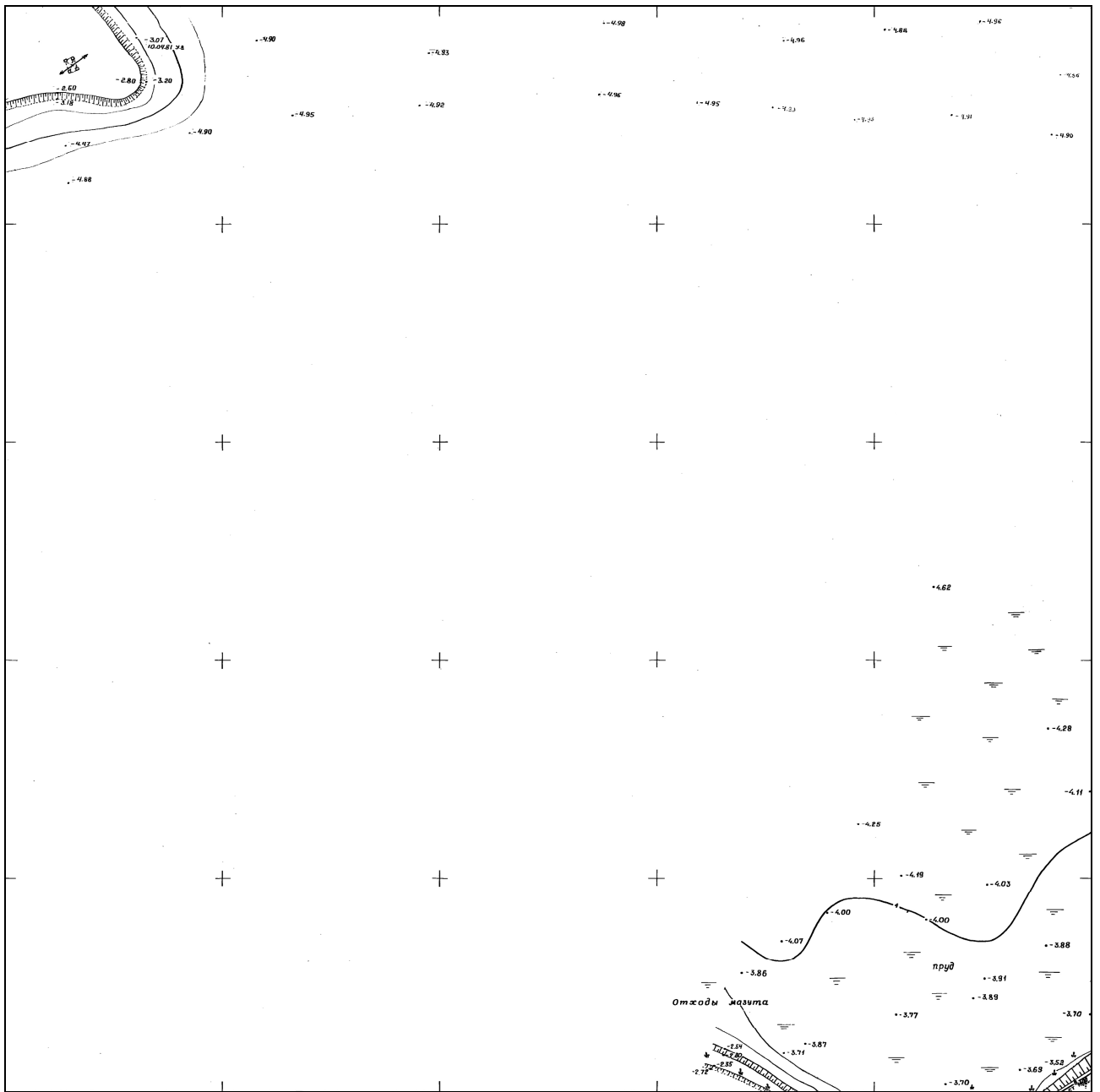


Рисунок 1.40 – План М 1:500 (лист **2-б-15.06.к0**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»

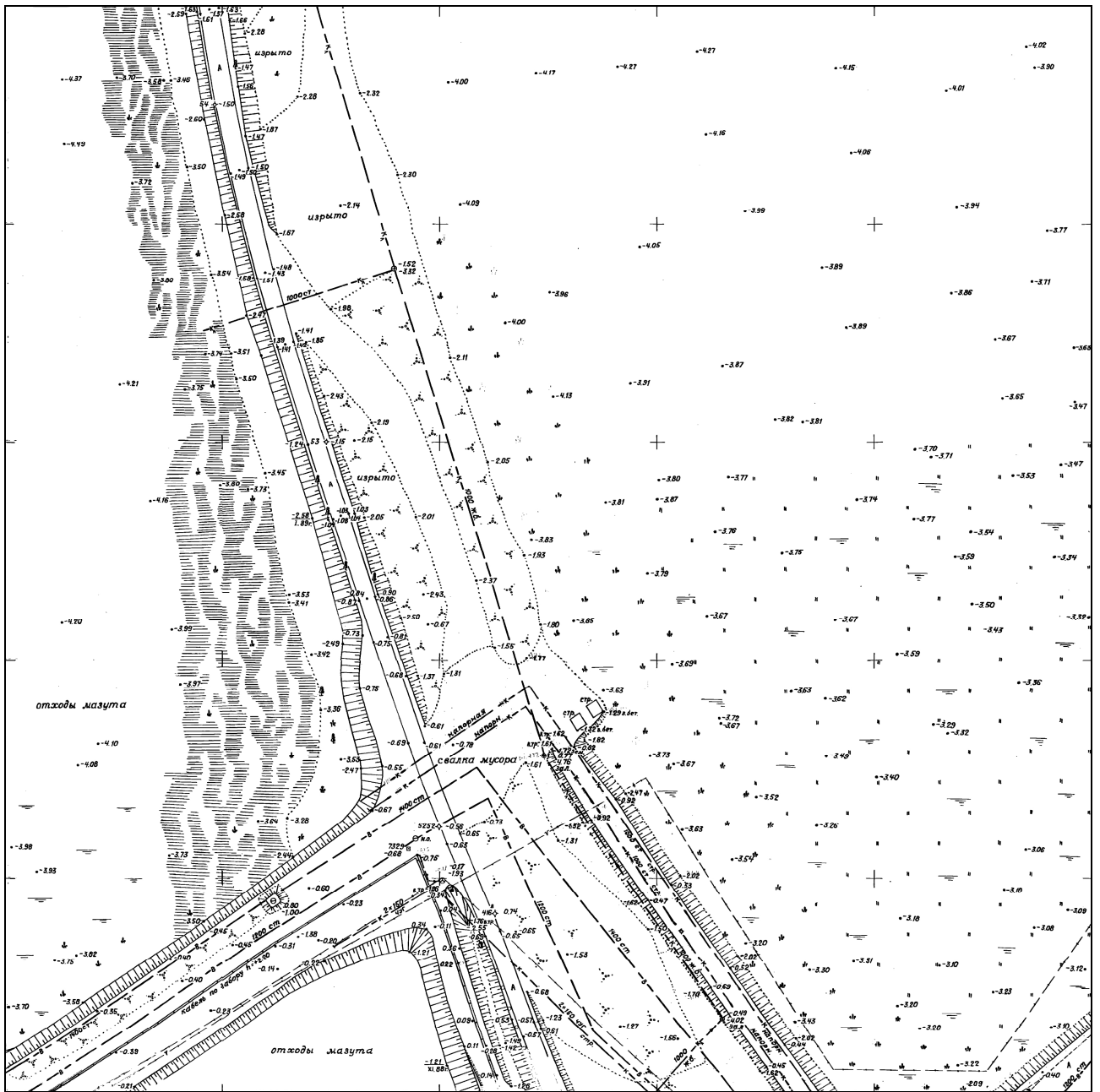


Рисунок 1.41 – План М 1:500 (лист 2-б-16.06.0) ділянки території пересіпму між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»

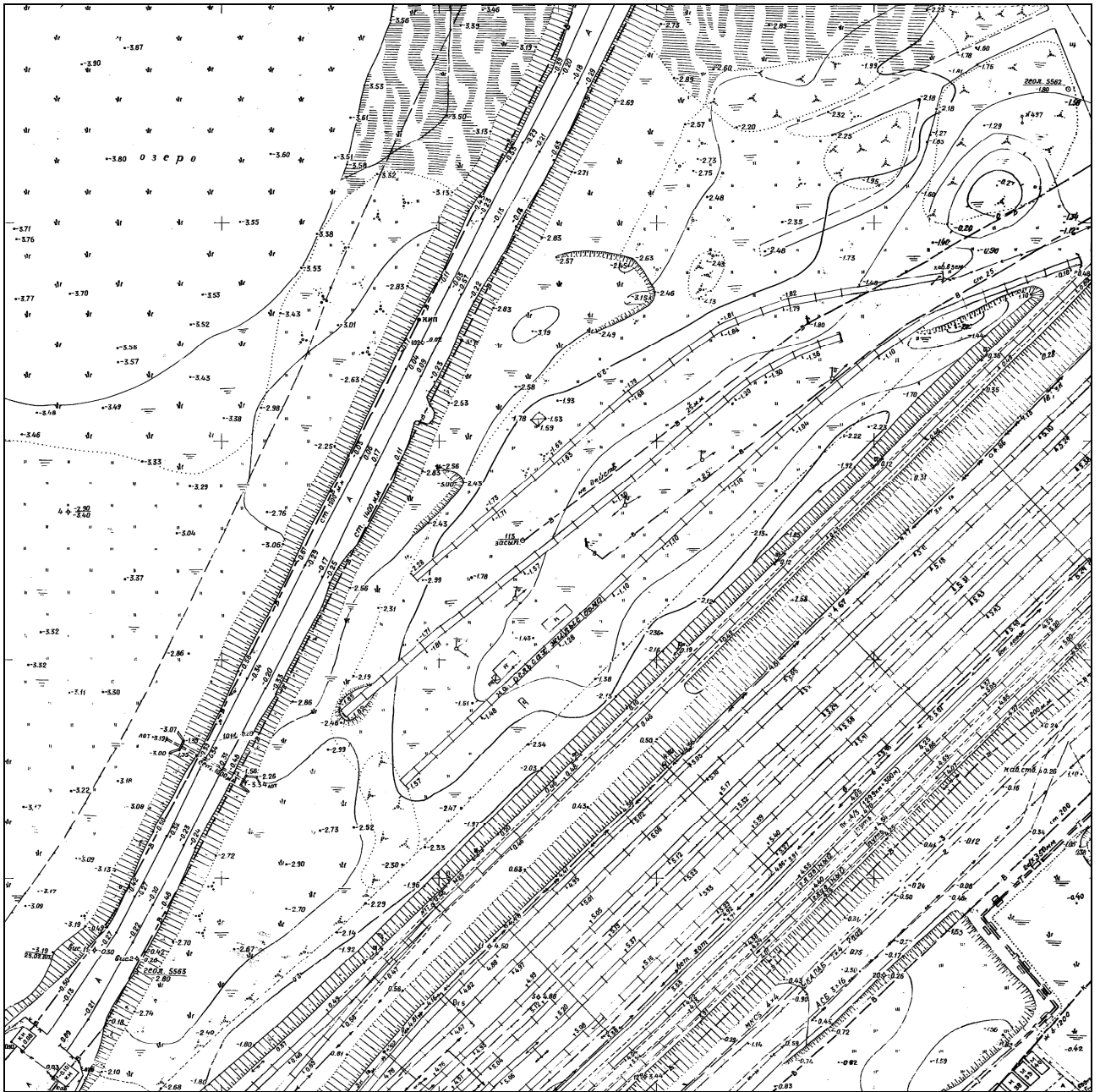


Рисунок 1.42 – План М 1:500 (лист 1-а-13.06.0) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»

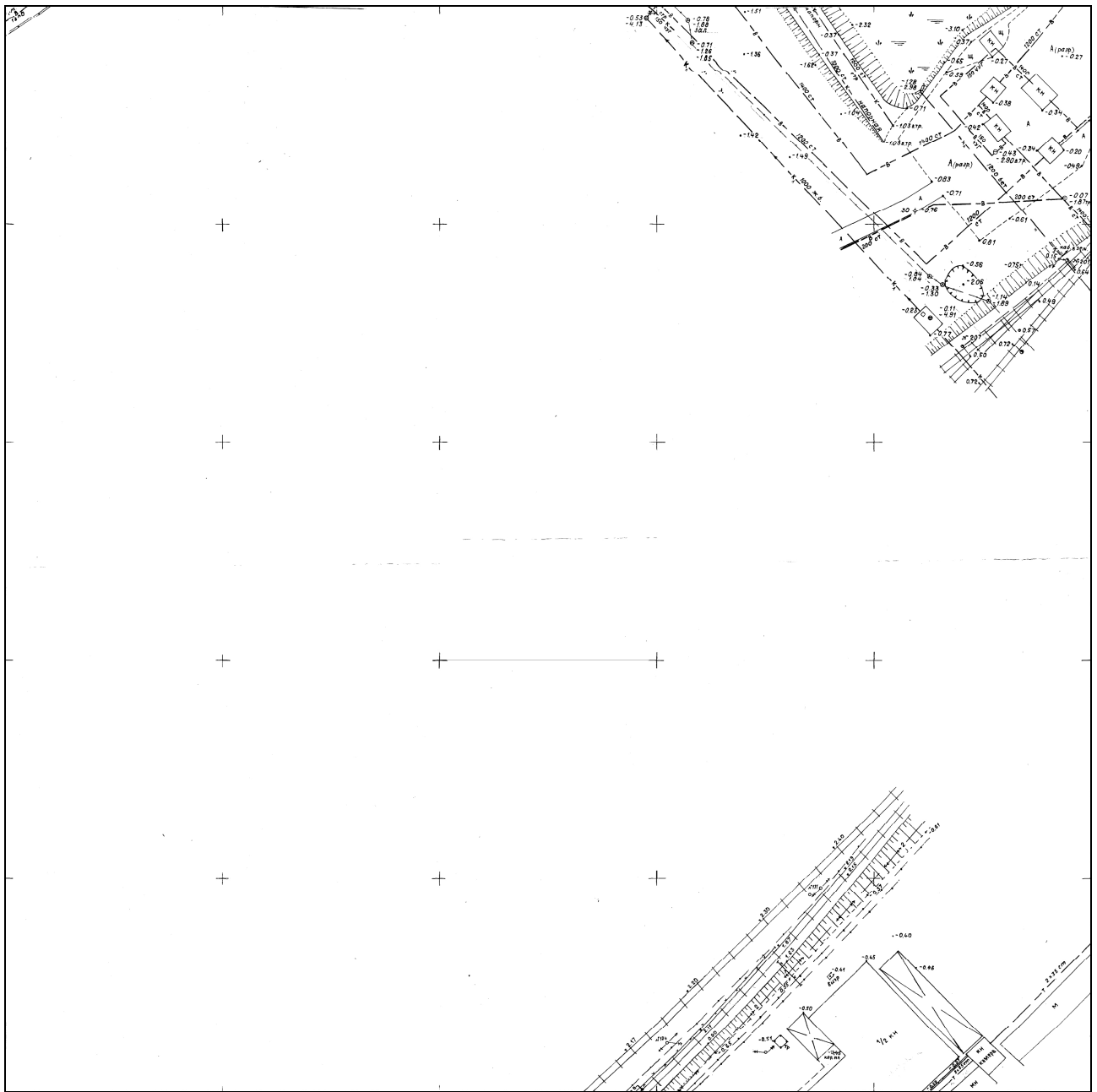


Рисунок 1.43 – План М 1:500 (лист 2-Г-4) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»



Рисунок 1.44 – План М 1:500 (лист 1-в-1.06.0) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»



Рисунок 1.45 – План М 1:500 (лист **1-в-5.06.0**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лимани»

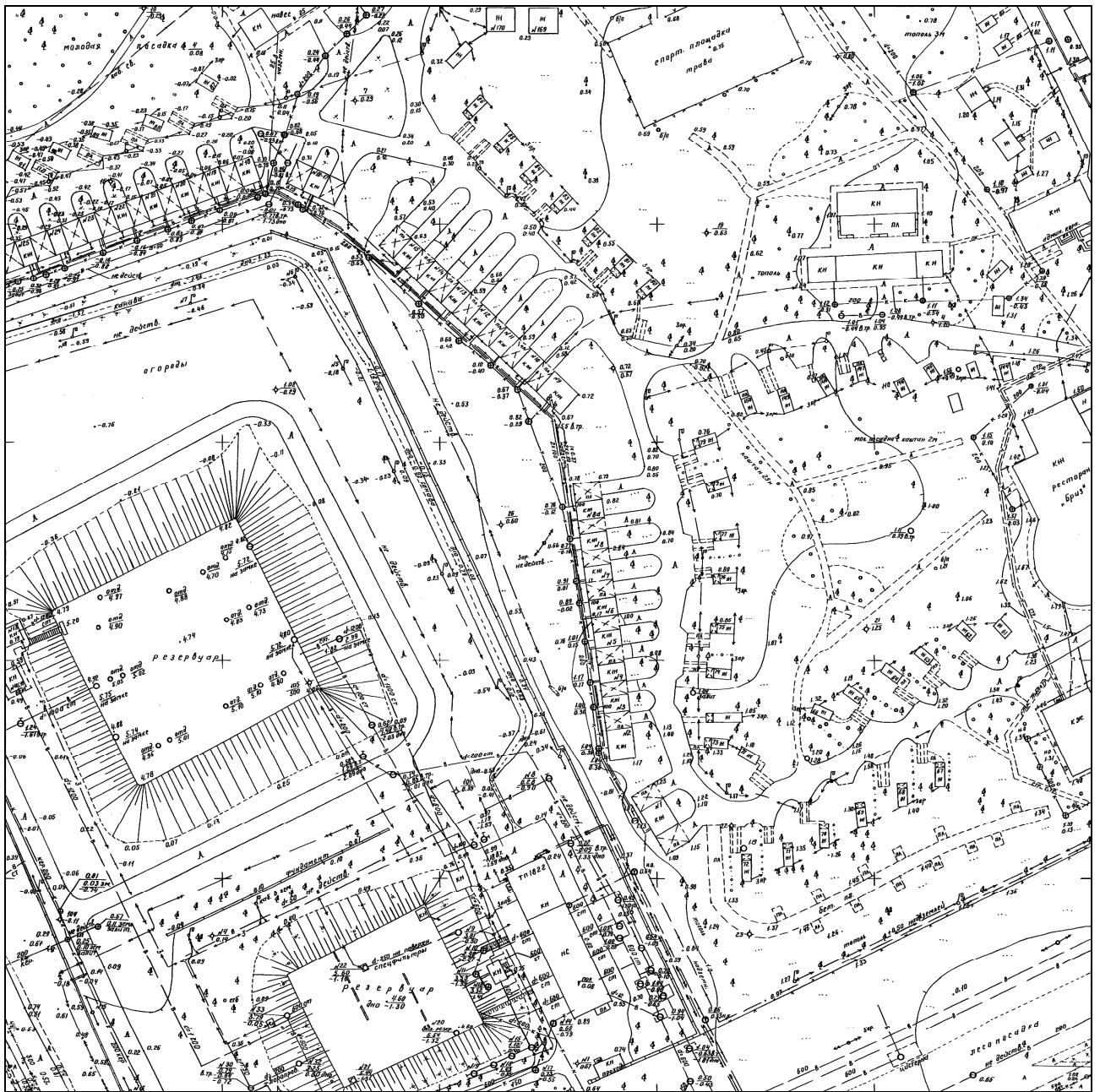


Рисунок 1.46 – План М 1:500 (лист 1-в-6.06.0) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»



Рисунок 1.47 – План М 1:500 (лист 1-в-9.06.0) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»



Рисунок 1.48 – План М 1:500 (лист **1-в-10.06.к0**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»



Рисунок 1.49 – План М 1:500 (лист 1-в-13.06.к0) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-ліман»

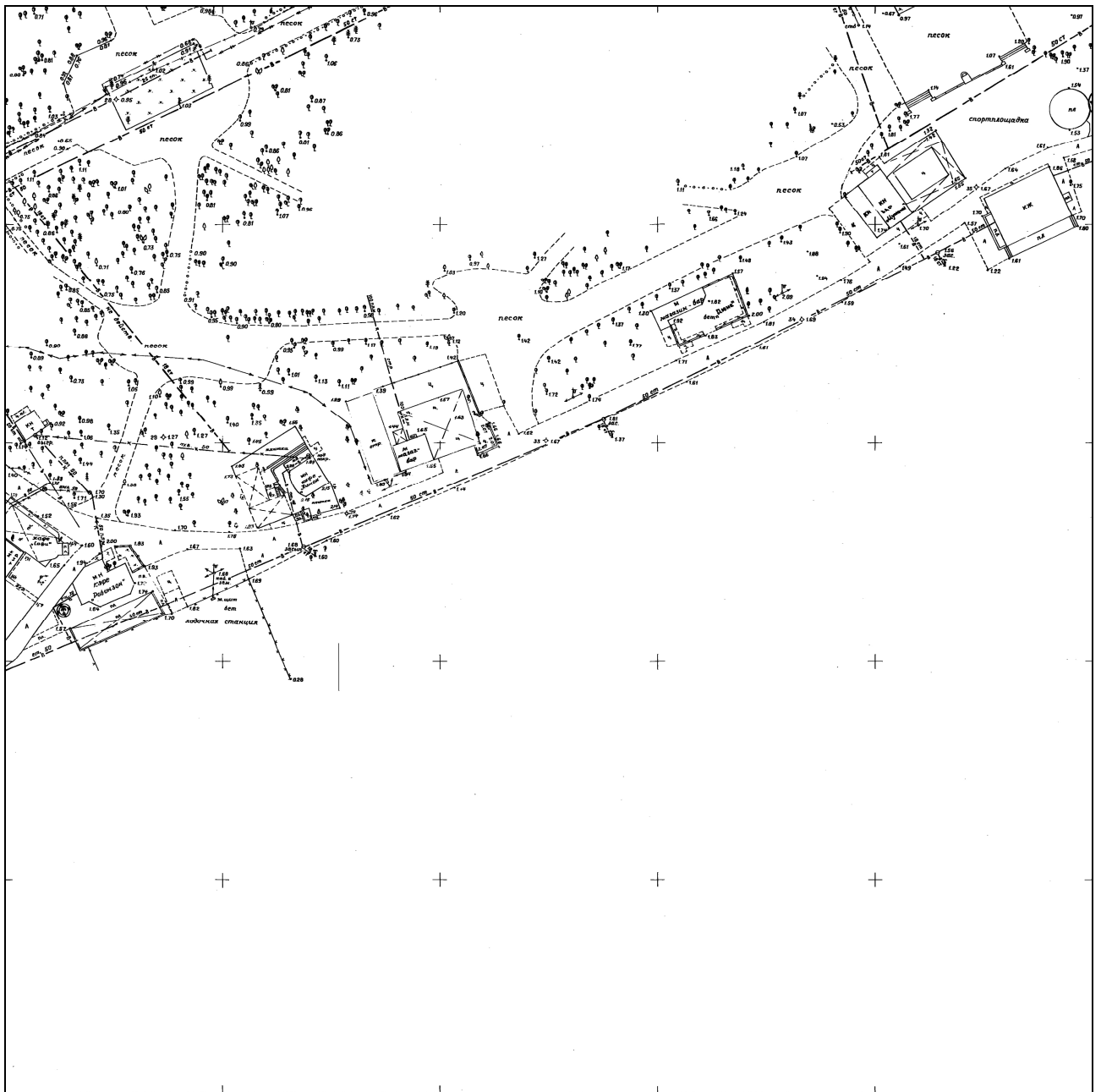


Рисунок 1.50 – План М 1:500 (лист **1-в-14.06.п0**) ділянки території пересипу між лиманом і морем вздовж траси з'єднувальної гідротехнічної споруди (каналу або трубопроводу) «море-лиман»

В цьому випадку траса з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу чи каналу) «море-лиман» буде мати найменшу довжину – 1570 м, та пройде по дещо ламаній лінії через такі ділянки сучасної території пересипу:

- а) ділянка довжиною 225 м – парк «Лузанівка» (60-70 м західніше центральної алеї);
- б) ділянка довжиною 50 м – під трамвайними шляхами та Миколаївською дорогою (5-10 м східніше вул. Красна);
- в) ділянка довжиною 375 м – на території КНС-10 (вздовж її західної межі) або вздовж східної сторони вул. Красна;
- г) ділянка довжиною 165 м – на території гаражів, розташованих вздовж південної сторони насипу залізної дороги (район станції «Сортирувальна», напроти вул. Красна);
- д) ділянка довжиною 85 м – під насипом залізної дороги (район станції «Сортирувальна», по лінії між вул. Красна і дамбою між озерами 1 та 2);
- е) ділянка довжиною 630 м – вздовж дамби між озерами 1 та 2 (з сторони озера 1);
- ж) ділянка довжиною 40 м – під насипом Об'їзної дороги м. Одеса.

В зв'язку з тим, що будівництво такої з'єднувальної гідротехнічної споруди як трубопровід або канал «море-лиман» у сучасних умовах забудови та місцеположення наземних і підземних комунікацій на території пересипу буде коштувати десятки, а можливо – сотні, мільйонів гривень, з метою можливої мінімізації витрат на побудову даної гідротехнічної споруди, за наявними планами М 1:500 місцевості пересипу (рис. 1.36-1.50) було оцінено можливість використання існуючих трубопроводів, насамперед – зливової каналізації.

Такий варіант поповнення Куяльницького лиману морськими водами Одеської затоки раніше – в 1995 р., вже пропонувався вченими ОГМІ (нині – ОДЕКУ) та ОДУ ім. І.І. Мечникова (нині – ОНУ ім. І.І. Мечникова) [16].

При такому варіанті поповнення лиману морськими водами можна використати зливовий каналізаційний залізобетонний трубопровід діаметром $D = 1000$ мм, довжиною 1170 м та ухилом в сторону лиману ($I \approx 3,86$ ‰).

Цей трубопровід проходить по дещо ламаній лінії, місцеположення якої майже повністю співпадає з запропонованим вище місцеположенням траси будівництва з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу чи каналу) «море-лиман». Існуючий трубопровід має наступні характеристики та місцеположення на території пересипу:

- а) початок трубопроводу – оглядовий колодязь 175 м в північно-західному напрямку (азимут лінії $A \approx 335^\circ$) від Миколаївської дороги вздовж східної сторони (під городами) вул. Красна (відмітка поверхні колодязя – 0,15 м БС, відмітка дна – мінус 2,52 м БС);

б) ділянка довжиною 325 м – в північно-західному напрямку ($A \approx 332^\circ$) вздовж східної сторони вул. Красна від початку трубопроводу до середини території гаражів, розташованих вздовж південної сторони насипу залізної дороги в районі станції «Сортирувальна»;

в) ділянка довжиною 20 м – в північно-західному напрямку ($A \approx 325^\circ$) під територією гаражів в районі станції «Сортирувальна»;

г) ділянка довжиною 55 м – в західному напрямку ($A \approx 270^\circ$) під територією гаражів до початку південної сторони насипу залізної дороги в районі станції «Сортирувальна»;

д) ділянка довжиною 85 м – в північно-західному напрямку ($A \approx 318^\circ$) під насипом залізної дороги в районі станції «Сортирувальна» від південної до північної сторони насипу в місці оглядової камери чи колодязю;

е) ділянка довжиною 95 м – в північно-західному напрямку ($A \approx 318^\circ$) від оглядової камери чи колодязю з північної сторони насипу залізної дороги в районі станції «Сортирувальна» до оглядового колодязю під дамбою між озером 1 та ставком з відходами мазуту;

ж) ділянка довжиною 25 м – в північно-східному напрямку ($A \approx 40^\circ$) від оглядового колодязю під дамбою між озером 1 та ставком з відходами мазуту до оглядового колодязю на схилі дамби з сторони озера 1;

з) три ділянки загальною довжиною 525 м – в північно-західному напрямку ($A \approx 326-345^\circ$) від оглядового колодязю на схилі дамби з сторони озера 1 вздовж східного схилу дамби між озерами 1 та 2 (з сторони озера 1) до південної сторони насипу Об'їзної дороги м. Одеса;

и) ділянка довжиною 40 м (стальна труба діаметром $D = 700$ мм в сталевому кожусі $D = 1000$ мм) – в північно-західному напрямку ($A \approx 326^\circ$) від південної до північної сторони насипу Об'їзної дороги м. Одеса (місце скиду зливових каналізаційних вод в лиман, відмітка дна труби – мінус 4,37 м БС).

Отже, існуючий зливовий каналізаційний залізобетонний трубопровід може забезпечити надходження самоплином морських вод до лиману з витратою води приблизно $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$ або щодоби – до 86400 м^3 , а за місяць – в середньому $2,6 \text{ млн. м}^3$.

Відстань від початку даного трубопроводу до урізу моря становить 450 м. Цей відрізок пересипу складається з таких ділянок:

а) ділянка довжиною 175 м – від початку трубопроводу зі східної сторони (під городами) вул. Красна до перехрестя з Миколаївською дорогою;

б) ділянка довжиною 50 м – від перехрестя вул. Красна з Миколаївською дорогою під Миколаївською дорогою та трамвайними шляхами;

в) ділянка довжиною 225 м – парк «Лузанівка» (60-70 м західніше центральної алеї).

Треба відзначити, що на першій ділянці (довжиною 175 м) також існує чавунний зливовий каналізаційний трубопровід з діаметром $D = 300$ мм та довжиною 175 м, який проходить вздовж західної сторони вул. Красна (під дорогою) між початком зливого каналізаційного трубопроводу ($D = 1000$ мм) та перехрестям вул. Красна з Миколаївською дорогою. Можливо цей чавунний трубопровід ($D = 300$ мм) має продовження під Миколаївською дорогою та трамвайними шляхами до північної межі парку «Лузанівка», але, нажаль, на відповідному листі плану М 1:500 (рис. 1.48) відсутня необхідна для підтвердження цього припущення інформація («біла пляма»).

Таким чином, з'єднавши наявні зливі каналізаційні трубопроводи – чавунний ($D = 300$ мм) та залізобетонний ($D = 1000$ мм), під вул. Красна (перпендикулярний напрямку вулиці відрізок довжиною приблизно 11 м), для забезпечення поповнення Куяльницького лиману морськими водами з витратою приблизно $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$ залишається прорити канал або прокласти трубу на території парку «Лузанівка» (60-70 м західніше центральної алеї) від його північної межі до урізу води моря довжиною 225 м.

2 НАУКОВО-МЕТОДИЧНА БАЗА ТА ОЦІНКА НЕОБХІДНИХ ОБСЯГІВ І РЕЖИМУ НАДХОДЖЕННЯ ДО ЛИМАНУ ВОД ЧОРНОГО МОРЯ ТА РІЧКИ ДНІСТЕР

При моделюванні наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря та р. Дністер використовувалась модель водно-сольового балансу, де складовими прихідної частини є об'єми та мінералізація (солоність) води в лимані на початку розрахункового періоду (року), річні об'єми та мінералізація води атмосферних опадів, об'єми побутового стоку та мінералізація річкових вод, об'єми та солоність морських або дністровських вод, а до витратної частини балансу належать об'єми випаровування з водної поверхні лиману.

Модель водно-сольового балансу Куяльницького лиману при моделюванні наповнення лиману водами Чорного моря, р. Дністер чи інших водойм має вигляд

$$W_2 S_2 = W_1 S_1 + W_{P_k} S_{P_k} + W_r S_r + W_a S_a - W_{E_k}, \quad (2.1)$$

де W_1 – об'єм води в лимані на початку розрахункового періоду, млн. м³;

W_2 – об'єм води в лимані в кінці розрахункового періоду, млн. м³;

W_{P_k} – об'єм атмосферних опадів, що випали на водну поверхню лиману, млн. м³;

W_r – об'єм побутового стоку води (поверхневого, силового, підземного та з озер пересипу) з басейну лиману в ложе водойми, млн. м³;

W_a – об'єм припливу вод в лиман з альтернативних джерел (Чорне море або р. Дністер), млн. м³;

W_{E_k} – об'єм випаровування з водної поверхні лиману, млн. м³;

S_1 – мінералізація (солоність) ропи в лимані на початку розрахункового періоду, г/дм³ (‰);

S_2 – мінералізація (солоність) ропи в лимані в кінці розрахункового періоду, г/дм³ (‰);

S_{P_k} – мінералізація (солоність) атмосферних опадів, що випали на водну поверхню лиману, г/дм³ (‰);

S_r – мінералізація (солоність) вод побутового стоку води (поверхневого, схилового, підземного та з озер пересипу) з водозбірного басейну лиману в ложе водойми, г/дм³ (‰);

S_a – мінералізація (солоність) вод, які надходять в лиман з альтернативних джерел (Чорне море, р. Дністер тощо), г/дм³ (‰).

Моделювання водно-сольового балансу лиману виконувалось при умовах періоду з 1960 по 2010 рр. [6]. Нормальний підпертий рівень води в лимані (НПР) прийнятий рівним відмітці мінус 5,5 м БС (обґрунтування вибору НПР наведено нижче).

Вибір НПР лиману на відмітці мінус 5,5 м БС при поповненні водойми водами Чорного моря, р. Дністер або з інших водойм обумовлений двома головними чинниками:

а) забезпечення режиму функціонування лиману, при якому рівні води, а відповідно солоності, будуть знаходитися у межах сприятливих для лікувальних цілей ($S_{бал} = 128 \text{ ‰}$) і для існування специфічних організмів лиману та створення лікувальної грязі ($S_{бал} = 40-200 \text{ ‰}$);

б) при формуванні особливо катастрофічних весняних водопіль і дощових паводків дуже низької забезпеченості на басейні лиману рівні води у водоймі не повинні перевищувати відмітки, при яких буде відбуватися затоплення об'їзної дороги, території санаторію, пересипу тощо (пояснено нижче).

В басейні Куяльницького лиману можуть формуватись особливо катастрофічні весняні водопілля та дощові паводки дуже низької забезпеченості [16, 19, 29 та ін.].

В зв'язку з цим, для прогнозування можливого затоплення території санаторію, об'їзної дороги, території пересипу тощо, необхідно визначити максимальні рівні води при виникненні високих весняних водопіль та дощових паводків в умовах поповнення лиману морськими водами до НПР = -5,5 м БС.

Для оцінки об'ємів та рівнів води за наявності вищевказаних явищ в умовах наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря або р. Дністер до НПР = -5,5 м БС, що відповідає об'єму лиману 75 млн. м³, були визначені об'єми припливу води з водозбору лиману при формуванні весняних водопіль і дощових паводки 1-відсоткової забезпеченості та при їх накладанні один на ін. Встановлено, що при формуванні весняного водопілля такої забезпеченості до лиману з його басейну надійде об'єм води рівний 89,6 млн. м³. При формуванні дощового паводку 1-відсоткової забезпеченості стік з водозбору до лиману становитиме 42,1 млн. м³. При накладанні цих явищ одне на інше об'єм припливу води в лиман складе 131,7 млн. м³. У випадку, якщо до початку водопілля або паводку 1-відсоткової забезпеченості, та при їх накладанні, рівень води в лимані буде дорівнювати НПР = -5,5 м БС, то після їх проходження об'єми та рівні води в лимані будуть наступними:

а) після 1-відсоткового водопілля – $W = 165 \text{ млн. м}^3$, $H = -4,0 \text{ м БС}$;

б) після 1-відсоткового паводку – $W = 117 \text{ млн. м}^3$, $H = -4,7 \text{ м БС}$;

в) при накладанні водопілля та паводку – $W = 207 \text{ млн. м}^3$, $H = -3,0 \text{ м БС}$.

Якщо припустити, що до початку водопілля або паводку 1-відсоткової забезпеченості, та при їх накладанні, рівень води і об'єм наповнення лиману будуть максимальними та дорівнювати $H = 4,35 \text{ м БС}$ та $W = 140 \text{ млн. м}^3$, то після їх проходження об'єми та рівні води в лимані будуть наступними:

а) після 1-відсоткового водопілля – $W = 230 \text{ млн. м}^3$, $H = -3,0 \text{ м БС}$;

б) після 1-відсоткового паводку – $W = 182 \text{ млн. м}^3$, $H = -3,7 \text{ м БС}$;

в) при накладанні водопілля та паводку – $W = 272 \text{ млн. м}^3$, $H = -2,4 \text{ м БС}$.

Із порівняння можливих максимальних відміток рівня води в лимані (мінус 2,4-3,0 м БС) після проходження водопілля або паводку 1-відсоткової забезпеченості, а також при їх накладанні, з картами та планами місцевості нижньої частини лиману та пересипу (див. розділ 1) видно, що у сучасних умовах затоплення вказаних вище територій і об'єктів не відбудеться (наприклад, найнижчі відмітки об'їзної дороги становлять приблизно мінус 1,0 м БС), тому обрана відмітка НПР = -5,5 м БС може вважатися достатньо обґрунтованою.

Вихідні дані для моделювання водно-сольового балансу лиману в умовах періоду з 1960 по 2010 рр. (річні шари атмосферних опадів, що випали на водну поверхню лиману; об'єми побутового стоку води (поверхневого, схилового та підземного) з водозбірного басейну лиману в ложе водойми; річні шари води, що випаровувалася з водної поверхні; крива об'єму води та крива площ водної поверхні лиману) були взяті з роботи [6], яка виконувалась ОДЕКУ в 2009 р.

Річний об'єм атмосферних опадів, що випали на водну поверхню лиману, W_{PK} , млн. м³, визначався за формулою

$$W_{PK} = P_k F_{лим}, \quad (2.2)$$

де P_k – шар атмосферних опадів, що випали на водну поверхню за рік, м;
 $F_{лим}$ – площа водної поверхні лиману, млн. м², яка визначалась з використанням кривої площ (рис. 2.1) лиману [6, 7, 9].

Річний об'єм води, що випаровувалася з водної поверхні лиману, W_{Ek} , млн. м³, визначався за формулою

$$W_{Ek} = E_k F_{лим}, \quad (2.3)$$

де E_k – шар води, що випаровувалася з водної поверхні лиману за рік, м, який визначався з використанням кривої площ (рис. 2.1) лиману та даних метеостанції «Болград», E_B , м, про річні шари води, що випаровувалася з водної поверхні оз. Ялпуг, приведених до умов Куяльницького лиману з урахуванням розрахункових значень солоності води лиману [6, 7, 9]

$$E_k = E_B k_S, \quad (2.4)$$

де k_S – коефіцієнт $k_S = f(S)$ [6, 7, 9], який дорівнює

$$k_S = -0,002 S_1 + 0,984, \quad (2.5)$$

де S – мінералізація (солоність) ропи в лимані, мг/дм³ (‰).

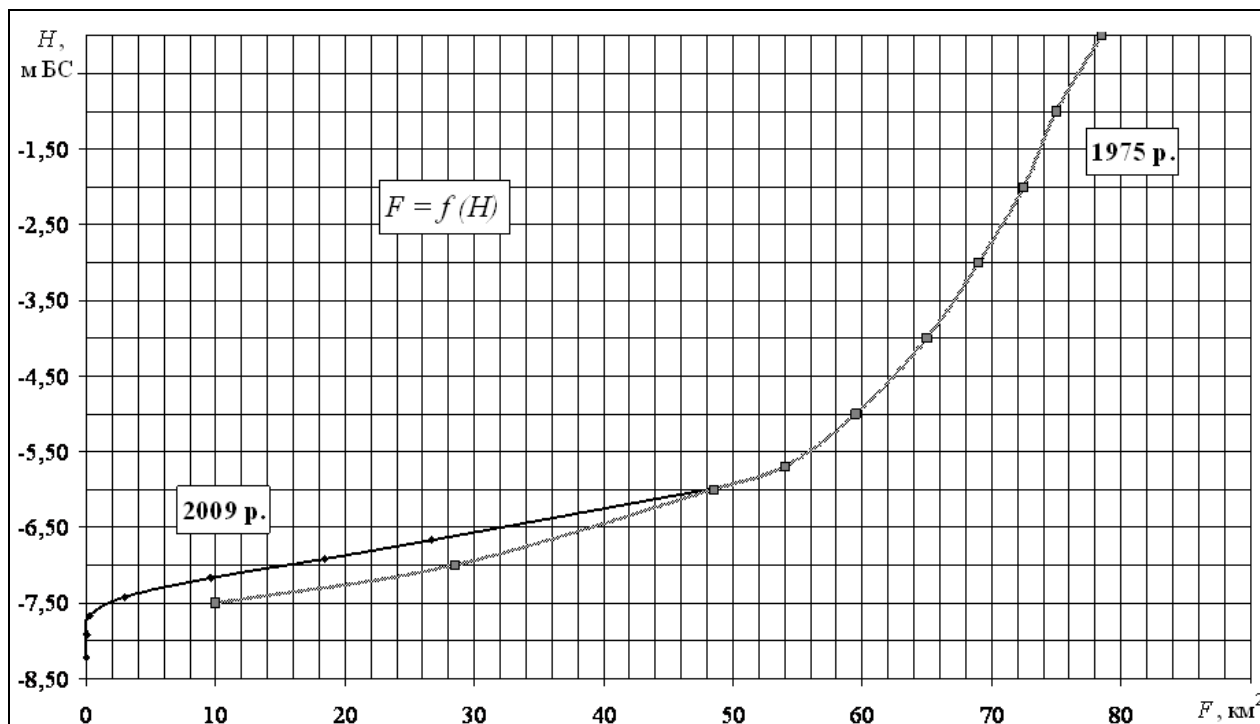


Рисунок 2.1 – Крива площ $F = f(H)$ водної поверхні Куяльницького лиману [6]

Об'єм припливу вод в лиман з альтернативних джерел (Чорне море, р. Дністер тощо), W_a , млн. м³, визначався як різниця між об'ємом води в лимані при НПР = -5,5 м БС, що відповідає 75 млн. м³, та об'ємом води в лимані на початку розрахункового періоду (року), W_1 , млн. м³. Початковий об'єм води лиману визначався за даними про рівень води на початок року та кривої об'ємів води лиману (рис. 2.2). Якщо рівень води в лимані на початку розрахункового періоду (року) був вищим за НПР (-5,5 м БС), то W_a приймався рівним 0 млн. м³.

В прихідній частині розрахункового рівняння водно-сольового балансу Куяльницького лиману (2.1), прийнятого для розрахунку рівнів і солоності води лиману при поповненні його об'єму морськими або дністровськими водами, відсутні такі складові як фільтрація морських вод через пересип між лиманом і морем та приплив підземних вод через дно чаші водойми. Це пов'язано з тим, що об'єми цих вод є дуже незначними по відношенню до інших складових водно-сольового балансу лиману і становить десяті та соті відсотків або, інколи, 1-2 % його прихідної частини [6, 7, 9, 14-17, 19, 29 й ін.]. Найбільш ґрунтовні дослідження фільтрації морських вод через пересип між лиманом і морем та припливу підземних вод через дно чаші водойми виконані в 1995 р. під керівництвом професора Г.І. Швєбса та представлені в роботі [16], де наведено узагальнення результатів всіх попередніх досліджень цих складових водного балансу лиману та зроблено наступний висновок: «Таким образом, доля подземного водообмена лимана, скорее всего, несопоставимо мала по сравнению с его объёмом. ... Реальная возможность увеличения подземного питания Куяльницького лимана за счёт вод суши исключена».

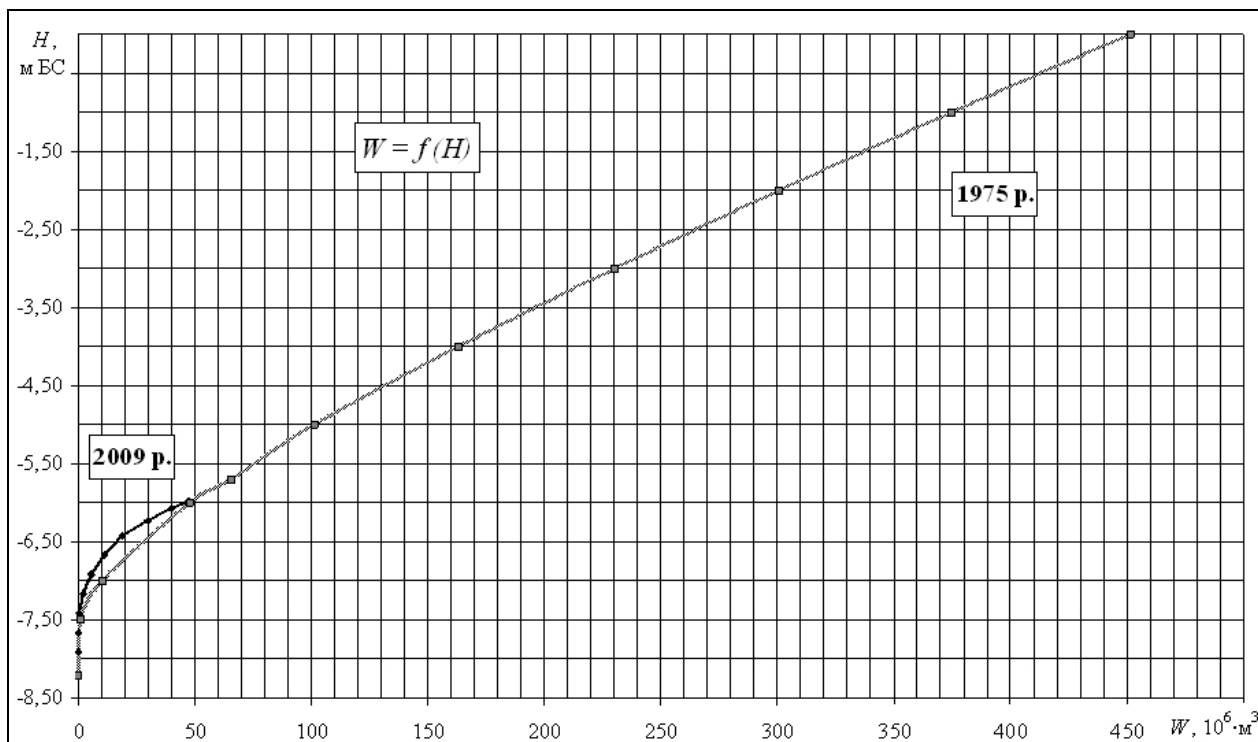


Рисунок 2.2 – Крива об'ємів води $W = f(H)$ Куяльницького лиману [6]

В балансових розрахунках мінералізація опадів, що випали на водну поверхню лиману, S_{PK} , приймалась рівною 0,035 ‰. Мінералізація вод побутового стоку води з басейну лиману в ложе водойми, S_r , приймалась рівною 3 ‰. Мінералізація вод, які надходять в лиман з альтернативних джерел, S_a , приймалась рівною 16 ‰ – морських вод, та 0,3 ‰ – вод р. Дністер.

Для поповнення лиману морськими водами, у першому наближенні, обраний зимово-весняний період року, виходячи з наступних позицій: 1) для цього періоду року притаманна найбільша вітрова активність, яка бути сприяти інтенсивному водооновленню вод Одеської затоки чистими водами відкритого моря; 2) низька температура води обумовлює мінімальні швидкості хіміко-біологічних процесів; 3) через відсутність або мінімальні значення випаровування з водної поверхні лиману ефективність «опріснення» його вод морськими буде максимальною.

Для поповнення Куяльницького лиману до НПР = -5,5 м БС водами Чорного моря в обраний зимово-весняний період року необхідно забезпечити самопливну подачу морських вод з витратою води $3 \text{ м}^3/\text{с}$. Основні результати розрахунків у вигляді багаторічного ходу можливих середньорічних рівнів і солоності води Куяльницького лиману при його поповненні до НПР = -5,5 м БС водами Чорного моря (з Одеської затоки) та р. Дністер, а також об'єми та час припливу води в зимово-весняний період року з витратою води $3 \text{ м}^3/\text{с}$ (в умовах періоду з 1960 по 2010 рр.) наведені на рис. 2.3-2.6 (початковий рівень води лиману приймався рівним мінус 7,00 м БС, а солоність води – 365 ‰).

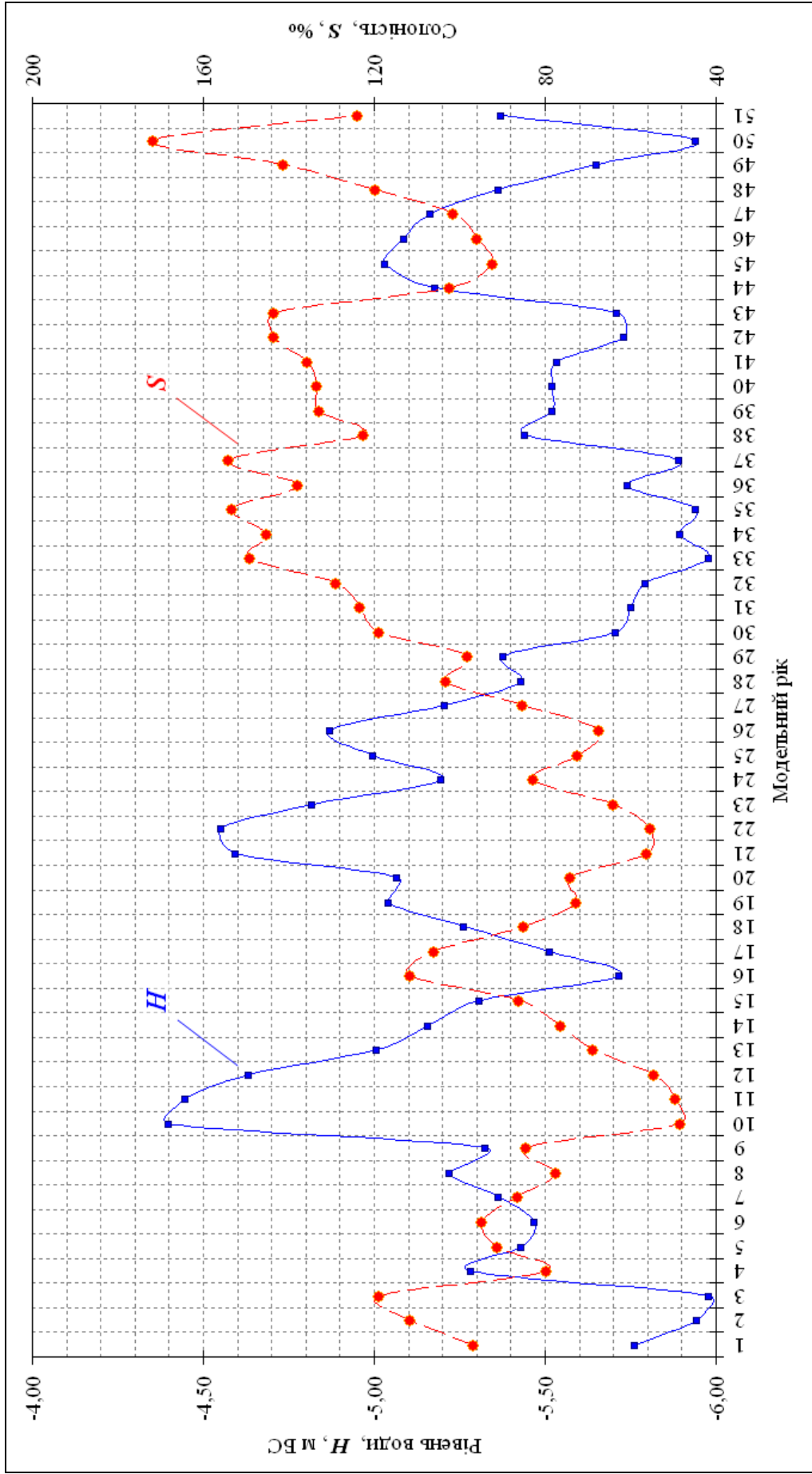


Рисунок 2.3 – Багаторічний хід можливих середньорічних значень рівнів та солоності води Куяльницького лиману, при поповненні лиману до НІР = -5,5 м БС водами Чорного моря (з витратою води $3 \text{ м}^3/\text{с}$) в зимово-весняний період року (в умовах періоду з 1960 по 2010 рр.)

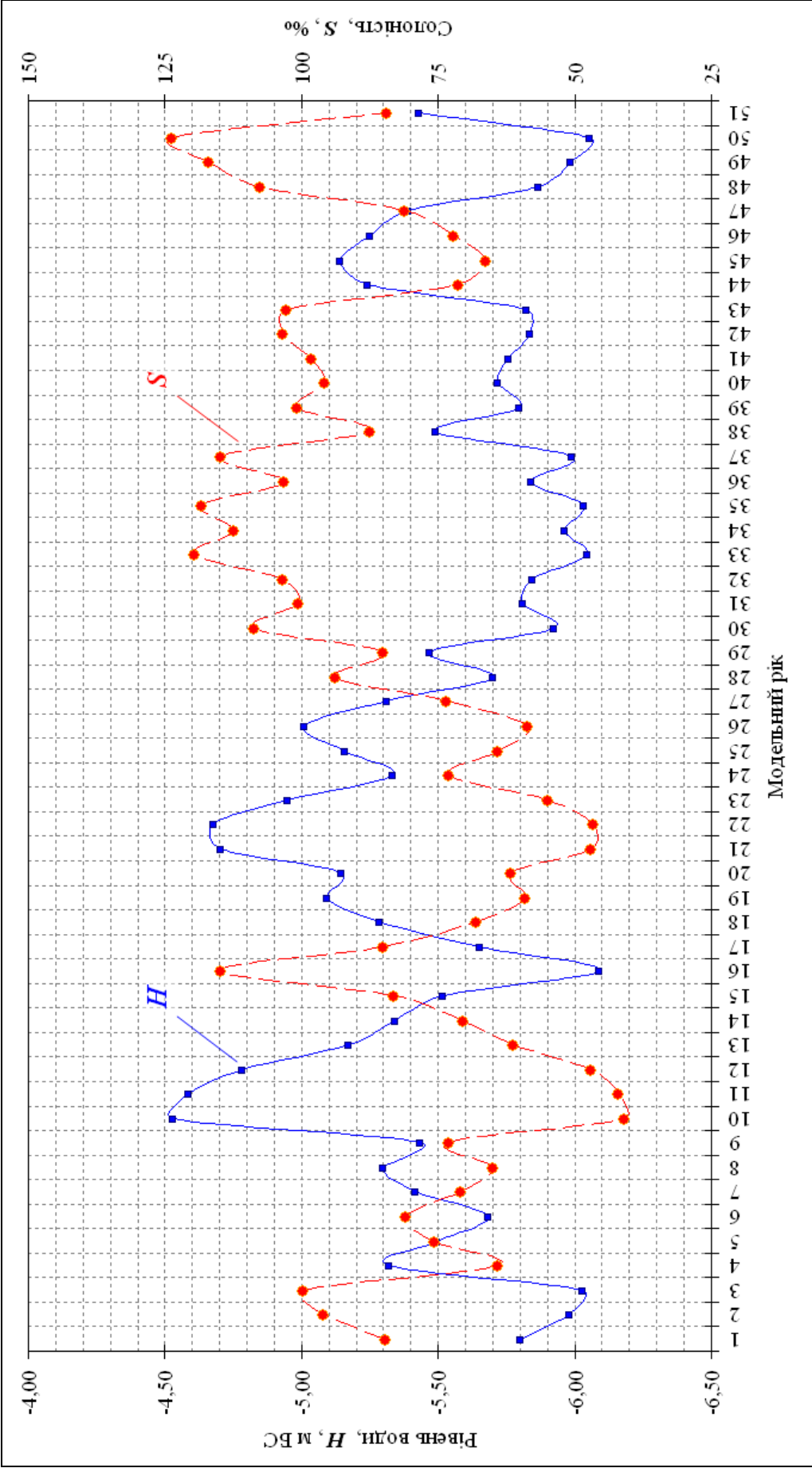


Рисунок 2.4 – Багаторічний хід можливих середньорічних значень рівнів та солоності води Куяльницького лиману, при поповненні лиману до НІР = -5,5 м БС водами р. Дністер (з витратою води 3 м³/с) в зимово-весняний період року (в умовах періоду з 1960 по 2010 рр.)

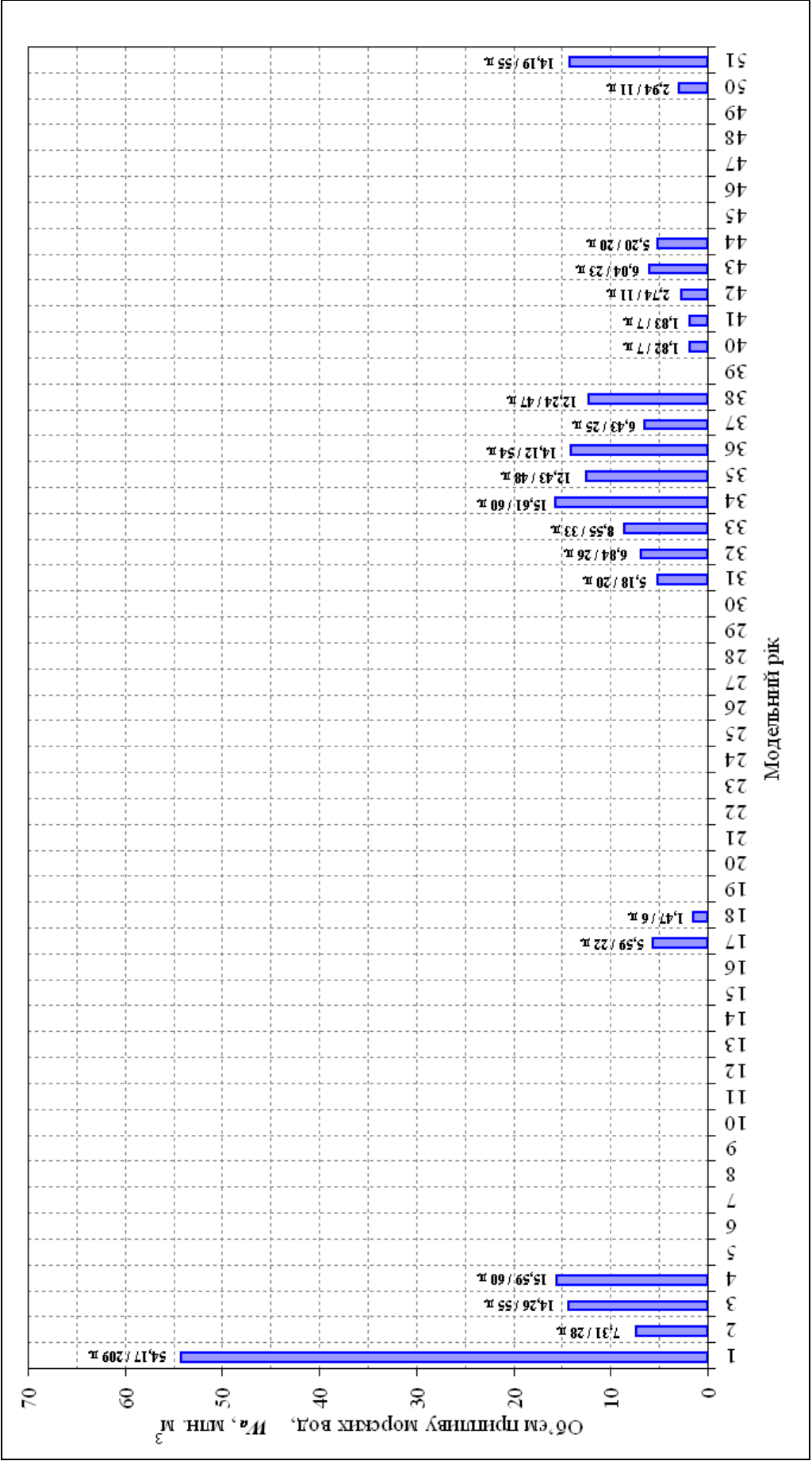


Рисунок 2.5 – Можливі щорічні об'єми, об'єми, млн. м³, (чисельник) та час, в добах, (знаменник) припливу води в Куяльницький лиман, при поповненні лиману до НІР = -5,5 м БС водами Чорного моря (з витратою води 3 м³/с) в зимово-весняний період року (в умовах періоду з 1960 по 2010 рр.)

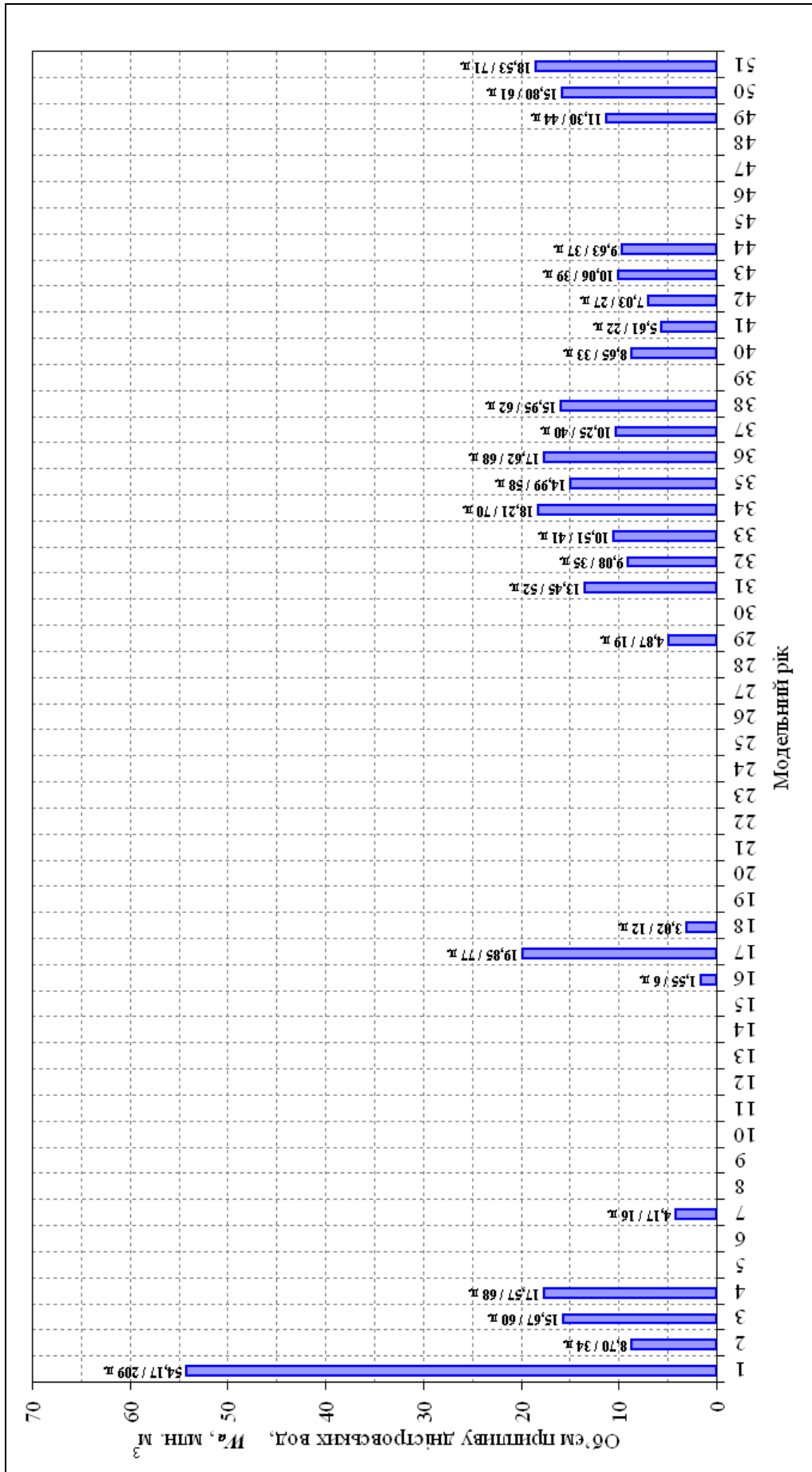


Рисунок 2.6 – Можливі щорічні об'єми, млн. м³, (чисельник) та час, в добах, (знаменник) припливу води в Куяльницький лиман, при поповненні лиману до НІР = -5,5 м БС водами р. Дністер (з витратою води 3 м³/с) в зимово-весняний період року (в умовах періоду з 1960 по 2010 рр.)

З рис. 2.3-2.4 видно, що при наповненні морськими водами середня багаторічна величина солоності ропи дорівнює 103 ‰, мінімальна солоність становить 48 ‰ (у роки з високою водністю), максимальна солоність – 172 ‰ (у роки низької водності), а при наповненні дністровськими водами середня багаторічна величина солоності ропи дорівнює 83 ‰, мінімальна солоність становить 41 ‰ (у роки з високою водністю), максимальна солоність – 124 ‰ (у роки низької водності). Тобто, в обох випадках солоність ропи лиману знаходиться у межах сприятливих як для лікувальних цілей, так і для існування специфічних організмів лиману та створення лікувальної грязі.

За результатами аналізу обсягів надходження морських вод до лиману (рис. 2.5), визначених при імітаційному моделюванні, встановлено, що для функціонування лиману у вказаному режимі необхідно забезпечити приплив морських вод в лиман впродовж 7-60 діб з витратою води 3 м³/с (за виключенням першого року). В перший рік період наповнення Куяльницького лиману до відмітки НІР (мінус 5,50 м БС) буде становити приблизно 7 місяців (об'єм морських вод, що надійдуть до лиману – 54,17 млн. м³), при початковому значенні рівня води в лимані мінус 7,00 м БС та солоності 365 ‰. Треба відмітити, що при поповненні лиману морськими водами (рис. 2.5) їх об'єми дещо нижчі ніж об'єми вод р. Дністер (рис. 2.6), що пов'язано з більш значним «опрісненням» лиманових вод прісними дністровськими водами, а відповідно – збільшенням випаровування з його водної поверхні.

З урахуванням того, що будівництво з'єднувальної гідротехнічної споруди «море-лиман» (каналу чи трубопроводу) для забезпечення самопливної подачі морських вод в лиман з витратою 3 м³/с у сучасних умовах забудови та наземних і підземних комунікацій пересипу буде коштувати десятки, а можливо – сотні, мільйонів гривень, в розділі 1 (див. п. 1.3.5) запропоновано розглянути можливість використання існуючого зливого каналізаційного залізобетонного трубопроводу діаметром $D = 1000$ мм, довжиною 1170 м, з ухилом в сторону лиману 3,86 ‰, який може забезпечити надходження самопливом морських вод до лиману з витратою води приблизно 1,0 м³/с.

Крім цього, для попередження можливого різкого впливу морських вод на процес пелюдогенезу в Куяльницькому лимані, поповнення його водами Чорного моря в початковий період бажано здійснювати поступово, тобто з рекомендованими витратами трубопроводу 1 м³/с.

Тому, далі було виконано моделювання середньорічних рівнів і солоності води лиману (рис. 2.7) при його поповненні до НІР = -5,5 м БС морськими водами, а також визначено їх об'єми та час подачі в лиман (рис. 2.8) з витратою 1 м³/с (в умовах періоду з 1960 по 2010 рр.). Початковий рівень води лиману приймався рівним мінус 7,00 м БС, а солоність води – 365 ‰.

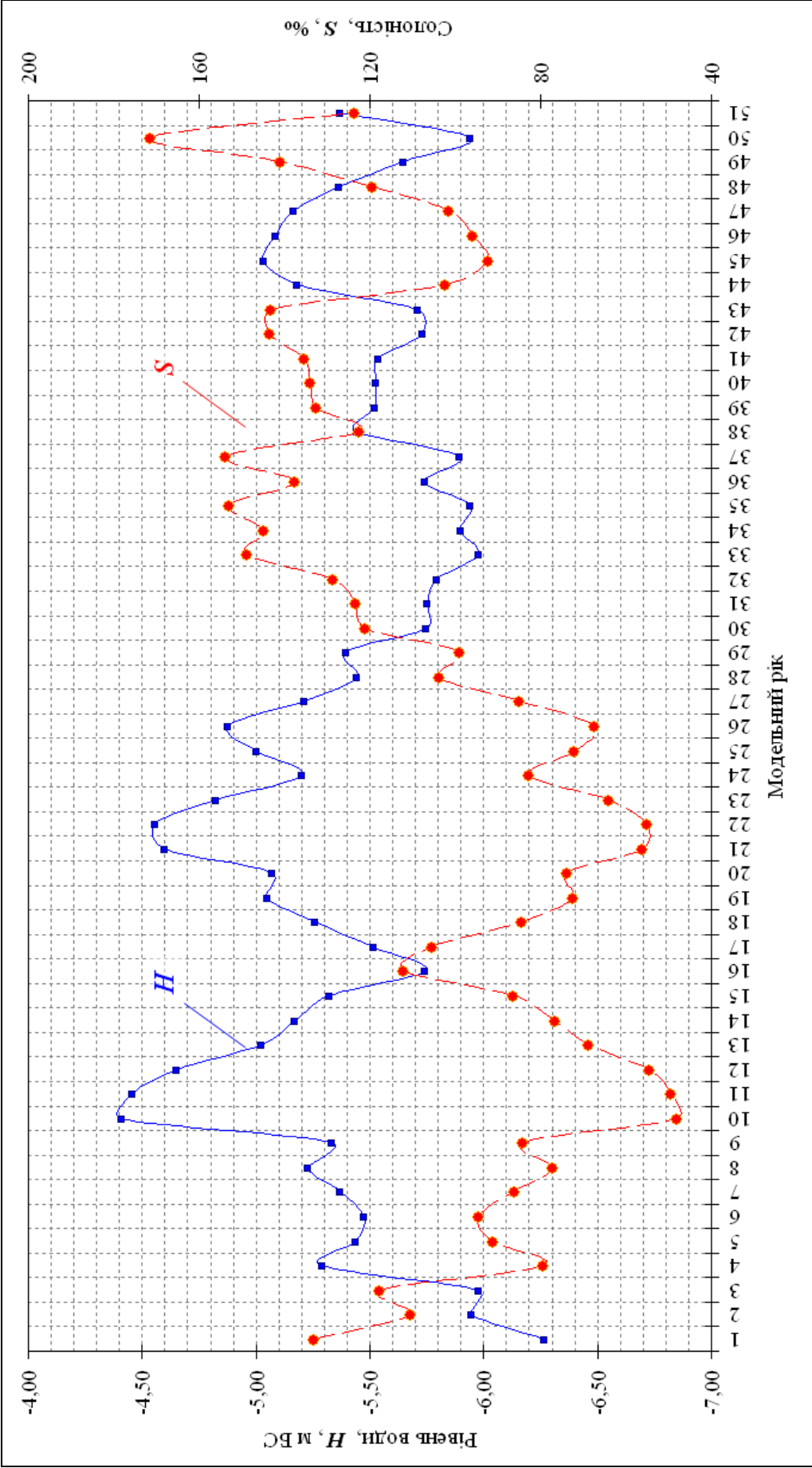


Рисунок 2.7 – Багаторічний хід можливих середньорічних значень рівнів та солоності води Куяльницького лиману, при поповненні лиману до НІР = -5,5 м БС водами Чорного моря з витратою води $1 \text{ м}^3/\text{с}$ (в умовах періоду з 1960 по 2010 pp.)

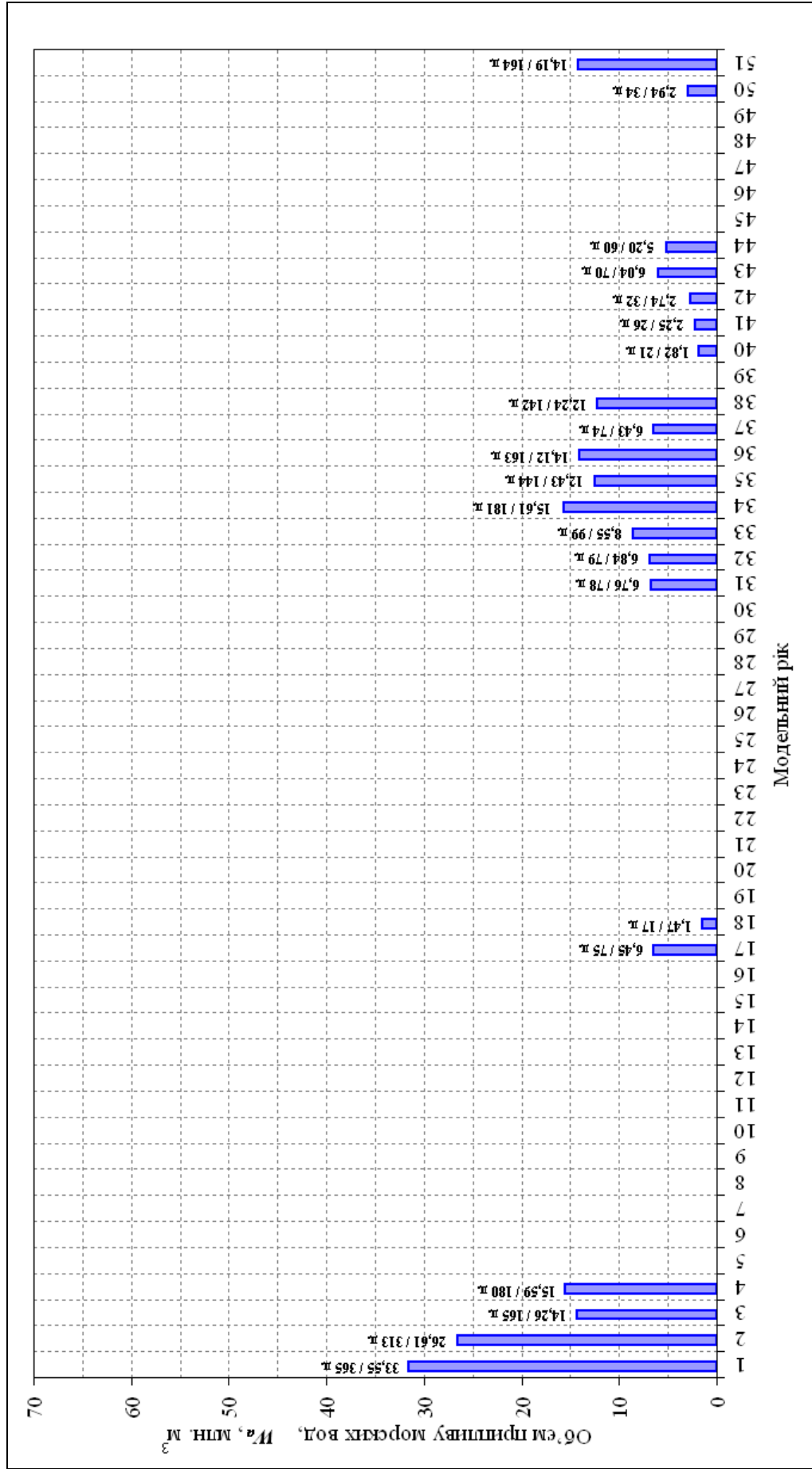


Рисунок 2.8 – Можливі щорічні об'єми об'єми, млн. m^3 , (чисельник) та час, в добах, (знаменник) припливу води в Куйальницький лиман, при поповненні лиману до НІР = -5,5 м БС водами Чорного моря з витратою води $1 m^3/s$ (в умовах періоду з 1960 по 2010 pp.)

З рис. 2.7 видно, що при наповненні лиману морськими водами через трубу з пропускною здатністю (витратою) $1 \text{ м}^3/\text{с}$ середня багаторічна величина солоності ропи, як і при витраті припливу морських вод $3 \text{ м}^3/\text{с}$, буде дорівнювати 103 ‰, мінімальна солоність – 48 ‰ (у роки з високою водністю), максимальна солоність – 172 ‰ (у роки низької водності). Тобто, в обох випадках (як при $3 \text{ м}^3/\text{с}$, так і при $1 \text{ м}^3/\text{с}$) солоність ропи лиману знаходиться у межах сприятливих для лікувальних цілей, існування специфічних організмів лиману та створення лікувальної грязі.

Треба відмітити, що при поповненні Куяльницького лиману морськими водами через трубу з пропускною здатністю (витратою) $1 \text{ м}^3/\text{с}$ в перші два роки приплив морських вод до лиману (рис. 2.8) повинен відбуватися безперервно на протязі майже 22,5 місяців (678 діб). В наступні роки, для поповнення лиману водами Чорного моря в рекомендований зимово-весняний період року, приплив морських вод з витратою $1 \text{ м}^3/\text{с}$ можна забезпечити впродовж 17-180 діб (або 0,5-6,0 місяців), в залежності від попереднього наповнення водойми.

В перший рік, при використанні існуючого трубопроводу з пропускною здатністю $1 \text{ м}^3/\text{с}$, наповнення лиману до НІР = - 5,50 м БС не відбудеться, і до водойми надійде 31,55 млн. м^3 морської води. Рівень води в лимані зросте на 1,26 м, а його відмітка в кінці року становитиме мінус 6,26 м БС. Таке поступове зростання рівня води в лимані задовольняє вимогам бальнеологів, щодо попередження можливого не бажаного впливу морських вод на процес пелюдогенезу в Куяльницькому лимані, яке могло б бути при його різкому поповненні водами Чорного моря в початковий період. На другий рік припливу морських вод з витратою $1 \text{ м}^3/\text{с}$, в лиман за 313 діб надійде 26,61 млн. м^3 морських вод. Рівень води зросте лише на 0,4 м, але відмітка рівня води у водоймі в кінці року вже становитиме мінус 5,94 м БС. В наступні роки поповнення лиману морськими водами до НІР = - 5,50 м БС буде мати періодичний характер: періоди від 2 до 8 років – з об'ємами поповнення морськими водами від 1,47 до 15,61 млн. м^3 ; періоди від 1 до 12 років – коли не буде потреби в поповненні лиману водами Чорного моря або з інших водойм.

Для оцінки внутрішньорічних змін рівнів і солоності води Куяльницького лиману при різних витратах припливу морських вод (1 та $3 \text{ м}^3/\text{с}$), з використанням середніх багаторічних даних про опади, випаровування та об'єми припливу з водозбірного басейну (табл. 2.1), при різному початковому рівні наповнення водойми (мінус 7,0, 6,5 та 6,0 м БС) та, відповідно, різній солоності води (365, 350 та 160 ‰), були розраховані середньомісячні рівні (рис. 2.9) та солоність (рис. 2.10) води при поповненні лиману морськими водами з припливом 1 та $3 \text{ м}^3/\text{с}$ (з солоністю 13-16 ‰ в різні місяці року).

З рис. 2.9 видно, що при поповненні лиману морськими водами з припливом $3 \text{ м}^3/\text{с}$ підвищення рівня води у водоймі від початкової відмітки (-7,0 м БС) до відмітки НІР (-5,5 м БС) відбувається лише на 9 місяць (крива 1).

Таблиця 2.1 – Середні багаторічні величини атмосферних опадів, випаровування з водної поверхні та об'ємів припливу води в басейні Куяльницького лиману та солоності морських вод в Одеській затоці

Характеристика	Місяці року												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Опади, мм	31,2	29,9	26,3	28,1	34,9	47,4	40,2	34,9	35,0	32,6	37,3	33,8	411,6
Випаровування, мм	0,0	0,0	42,8	65,7	105,5	131,6	151,5	139,8	96,6	58,2	25,1	9,9	826,7
Об'єм побутового стоку, млн. м ³	3,05	1,85	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,39	5,95	13,81
Солоність морських вод, ‰	15,05	14,43	13,9	13,09	12,96	14,25	15,74	15,74	15,72	15,27	14,8	15,07	14,67

Примітки: 1) опади, мм – за даними метеостанції «Одеса-ГМО» [6, 9];
 2) випаровування, мм – за даними метеостанції «Болград» [6, 7, 9];
 3) об'єм побутового стоку, млн. м³ – за даними гідрологічного поста в гирлі р. В. Куяльник – с. Северинівка [8] в середній за водністю рік 50-відсоткової забезпеченості; 4) солоність морських вод, ‰ – за даними ГМС «Одеса-Порт».

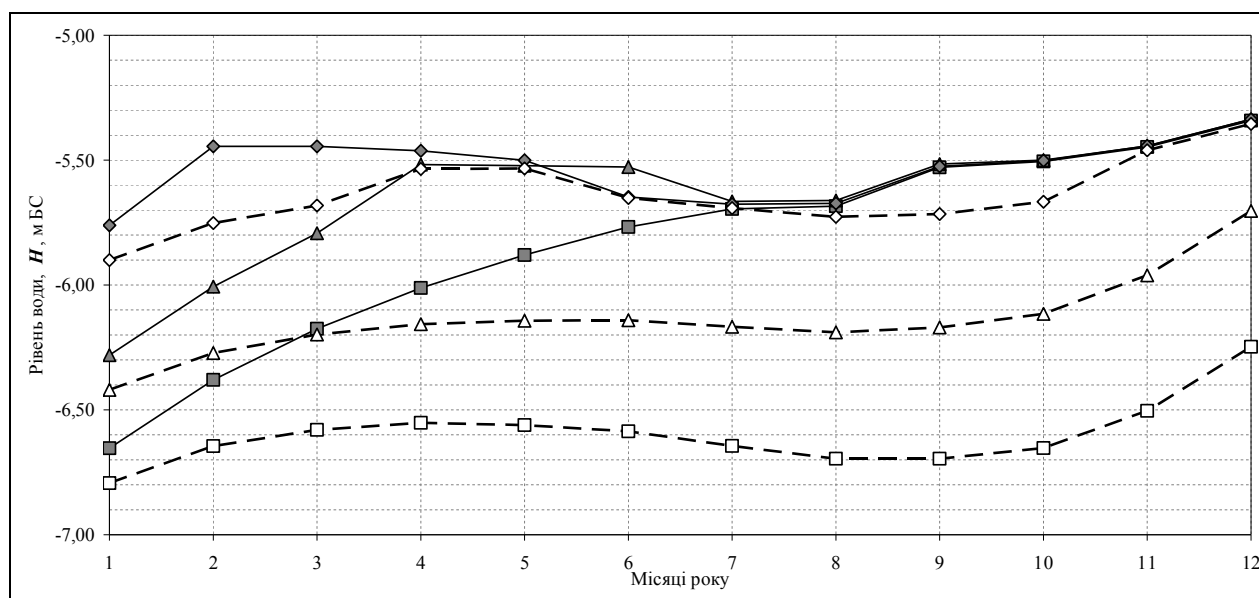


Рисунок 2.9 – Середньомісячні рівні води Куяльницького лиману при різних витратах припливу морських вод (1 та 3 м³/с) і середніх багаторічних значеннях атмосферних опадів, випаровування та побутового стоку в басейні водойми:

- Крива 1 (Н = -7,0 м БС; S = 365 ‰; Q_м = 3 м³/с);
- ◆— Крива 3 (Н = -6,0 м БС; S = 160 ‰; Q_м = 3 м³/с);
- ▲— Крива 2 (Н = -6,5 м БС; S = 350 ‰; Q_м = 3 м³/с);
- Крива 4 (Н = -7,0 м БС; S = 365 ‰; Q_м = 1 м³/с);
- △— Крива 5 (Н = -6,5 м БС; S = 350 ‰; Q_м = 1 м³/с);
- ◇— Крива 6 (Н = -6,0 м БС; S = 160 ‰; Q_м = 1 м³/с)

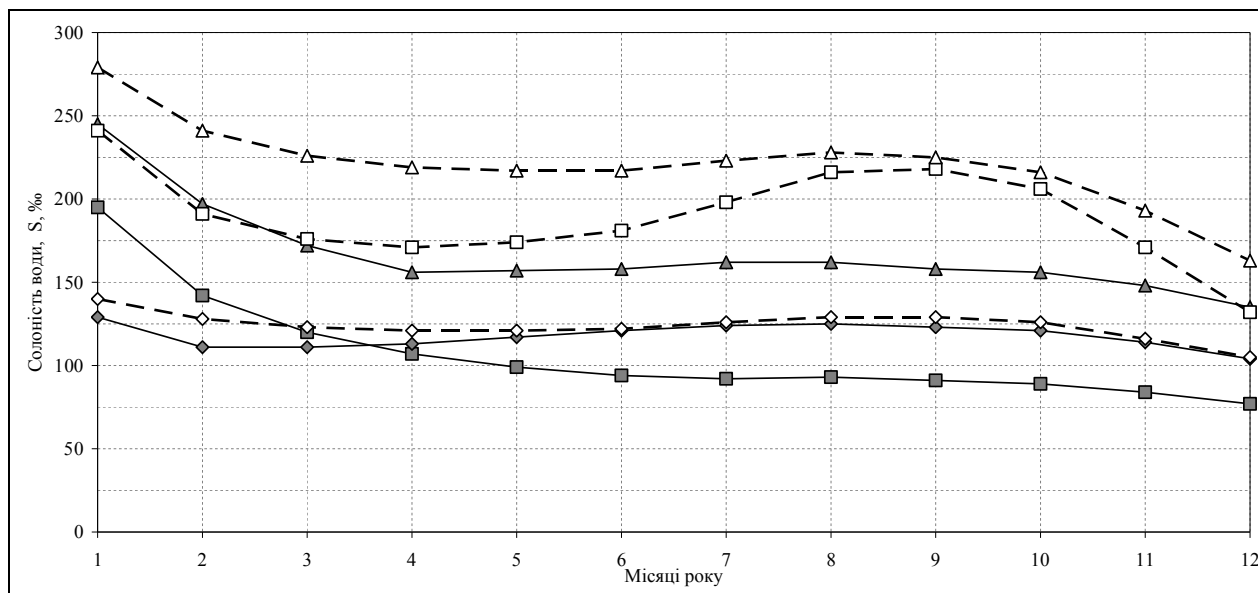


Рисунок 2.10 – Середньомісячні солоності води Куяльницького лиману при різних витратах припливу морських вод (1 та 3 м³/с) і середніх багаторічних значеннях атмосферних опадів, випаровування та побутового стоку в басейні водойми:

- Крива 1 (H = -7,0 м БС; S = 365 ‰; Q_м = 3 м³/с); —▲— Крива 2 (H = -6,5 м БС; S = 350 ‰; Q_м = 3 м³/с);
- ◆— Крива 3 (H = -6,0 м БС; S = 160 ‰; Q_м = 3 м³/с); —□— Крива 4 (H = -7,0 м БС; S = 365 ‰; Q_м = 1 м³/с);
- △— Крива 5 (H = -6,5 м БС; S = 350 ‰; Q_м = 1 м³/с); —◇— Крива 6 (H = -6,0 м БС; S = 160 ‰; Q_м = 1 м³/с)

Якщо ж рівні води в лимані до початку припливу морських вод з витратою 3 м³/с становлять мінус 6,5 м БС (крива 2) або мінус 6,0 м БС (крива 3), наповнення водойми до відмітки НПР (мінус 5,5 м БС) відбувається в межах рекомендованого зимово-весняного періоду року, відповідно, в квітні-травні (крива 2) та лютому (крива 1). Солоність води в лимані при подачі морських вод з припливом 3 м³/с (рис. 2.10) зменшується майже за однаковою тенденцією. В першому варіанті прийнятих початкових даних, значення солоності води (крива 1) за 4 місяця зменшуються майже на 260 ‰ (з 365 ‰ – на початку січня, до 107 ‰ – в кінці квітня), в другому варіанті (крива 2) – зменшуються за 4 місяця майже на 200 ‰ (з 350 ‰ – на початку січня, до 156 ‰ – в кінці квітня), в третьому варіанті (крива 3) – зменшуються за 2 місяця майже на 50 ‰ (з 160 ‰ – на початку січня, до 111 ‰ – в кінці лютого). Далі, до кінця року солоність води при всіх варіантах вихідних даних майже не змінюється, лише дещо підвищується в літні місяці року.

При безперервному поповненні лиману морськими водами з витратою припливу 1 м³/с (рис. 2.9, криві 4, 5, 6) режим рівнів води впродовж року можна поділити на три основні періоди: перший – з січня по квітень, коли йде підвищення рівня води на 15-45 см; другий – з травня по вересень, коли відбувається стабілізація відмітки рівня води з незначним її зниженням в червні-вересні; третій – з жовтня по грудень, коли йде підвищення рівня води

на 35-45 см, з досягненням і незначним перевищенням відмітки НПР (мінус 5,5 м БС) в кінці листопада (крива 6), при початковому рівні води на початку січня мінус 6,0 м БС. Отже, в усіх трьох розрахункових варіантах, при поповненні лиману морськими водами з припливом $1 \text{ м}^3/\text{с}$, йде поступове підвищення рівня води в середньому на 1 м (від 1,25 м – крива 4, до 0,75 м – крива 6).

Солоність води в лимані, при його поповненні морськими водами з припливом $1 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 2.10), при перших двох варіантах початкових умов зменшується майже за однаковою тенденцією. В першому варіанті прийнятих початкових даних, значення солоності води (крива 4) за 4 місяця зменшуються майже на 195 ‰ (з 365 ‰ – на початку січня, до 171 ‰ – в кінці квітня), а в другому варіанті (крива 5) – зменшуються за 4 місяця на 131 ‰ (з 350 ‰ – на початку січня, до 219 ‰ – в кінці квітня). Далі, при першому варіанті початкових даних (крива 4), з травня по вересень солоність води поступово збільшується, досягаючи в кінці вересня значення 218 ‰, а потім – з жовтня по кінець грудня, стрімко зменшується, досягаючи в кінці року 132 ‰. При другому варіанті початкових даних (крива 5), з травня по вересень солоність води майже не змінюється і становить приблизно 220 ‰, а потім – з жовтня по кінець грудня, знову зменшується до 163 ‰. При третьому варіанті вихідних даних (крива 6), солоність води впродовж року майже не змінюється і дорівнює в середньому 124 ‰, помітно зменшуючись лише в деякі осінньо-зимові місяці: в січні (з 160 до 140 ‰) та в листопаді-грудні (з 126 до 105 ‰).

Таким чином, режим поповнення лиману морськими водами з припливом $1 \text{ м}^3/\text{с}$, повністю задовольняє пропозиціям і вимогам бальнеологів, біологів та гідрохіміків, щодо плавного щорічного наповнення лиману морськими водами (не більш ніж на 1,0-1,5 м), забезпечуючи створення умов для поступової адаптації екосистеми водойми до менш мінералізованих морських вод та попередження не бажаного різкого впливу морських вод на процес пелюдогенезу в Куяльницькому лимані. Крім цього, починаючи з третього року поповнення лиману морськими водами з припливом $1 \text{ м}^3/\text{с}$, період такого поповнення буде тривати 0,5-6,0 місяців, тобто буде повністю проходити в зимово-весняний період року, для якого притаманні: 1) найбільша вітрова активність, що буде сприяти інтенсивному водооновленню вод Одеської затоки чистими водами відкритого моря; 2) низька температура води, яка буде обумовлювати мінімальні швидкості хіміко-біологічних процесів; 3) через відсутність або мінімальні значення випаровування з водної поверхні лиману ефективність його поповнення морськими водами буде максимальною.

Треба відмітити, що після підвищення рівня води в лимані до відмітки НПР (мінус 5,5 м БС) поповнення лиману морськими водами можна припиняти, починаючи наступну подачу морських вод лише в листопаді-грудні, якщо рівень води в лимані буде нижчий прийнятої відмітки НПР.

3 НАУКОВО-МЕТОДИЧНОЇ БАЗА ТА ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ІНТЕНСИВНОСТІ НАДХОДЖЕННЯ МОРСЬКИХ ВОД В ЛИМАН САМОПЛИНОМ ЧЕРЕЗ ШТУЧНИЙ З'ЄДНУВАЛЬНИЙ КАНАЛ АБО ТРУБОПРОВІД

В основу розрахунку трубопроводу і, як альтернативного варіанту, каналу «море-лиман» покладені дані нівелювання пересипу, виконаного ОДЕКУ в 2012 р. (рис. 1.25).

Рельєф поверхні пересипу забезпечує надходження морської води в лиман самоплином. Ця особливість дозволяє виключити з розгляду будівництво насосних станцій. Для регулювання кількості води, що надходить в лиман самоплином, необхідно передбачити дросельний затвор.

3.1 Розрахунок трубопроводу

Швидкість v і витрата Q при русі рідини в трубі [40-42]:

$$v = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \sum \xi + \lambda \frac{l}{d}}}, \quad (3.1)$$

$$Q = \omega \sqrt{\frac{2gH}{1 + \sum \xi + \lambda \frac{l}{d}}}, \quad (3.2)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення сили тяжіння;

H – натиск, м;

ξ – коефіцієнти втрат натиску на місцеві опори;

λ – коефіцієнт тертя по довжині труби;

ω – площа перетину труби, м²;

d – діаметр труби, м.

Втрати натиску на місцеві опори складаються з втрат на вході в трубопровід, на його повороти і на затвори. Опором в дросельних затворах при повному їх відкритті нехтуємо, зважаючи на мали коефіцієнти опору [41, 42].

Втратами натиску пов'язаними з поворотами трубопроводу можна нехтувати у разі плавних поворотів і невеликих їх радіусів.

Згідно формулі А.Д. Альтшуля [41] коефіцієнт тертя λ залежить від числа Рейнольдса Re :

$$\lambda = 0,11(E_0 + 68/Re)^{0,25}, \quad (3.3)$$

де E_0 – відносна шорсткість, рівна:

$$E_0 = E/d. \quad (3.4)$$

Шорсткість E визначається по таблицях [41, 42]. Її середні значення дорівнюють для:

- суцільнотягнутих сталевих труб – 1,20;
- суцільнозварних труб – 0,10;
- чавунних труб – 0,12;
- бетонних труб – 2,5.

Число Рейнольдса:

$$Re = (Vd)/\kappa, \quad (3.5)$$

де V – швидкість течії,

κ – кінематичний коефіцієнт в'язкості, рівний $1,792 \cdot 10^{-6}$ м²/с (при температурі 0 °С) та $1,006 \cdot 10^{-6}$ м²/с (при температурі 20 °С).

Число Рейнольдса також свідчить про квадратичний опір в трубопроводі.

Втрати на вхід в трубу прийняті згідно даним Ю. Вейсбаха [40].

По формулах (3.1-3.6) розраховані витрати і швидкості течії в бетонному трубопроводі різних діаметрів при натиску $H = 5$ м (рис. 3.1 та 3.2).

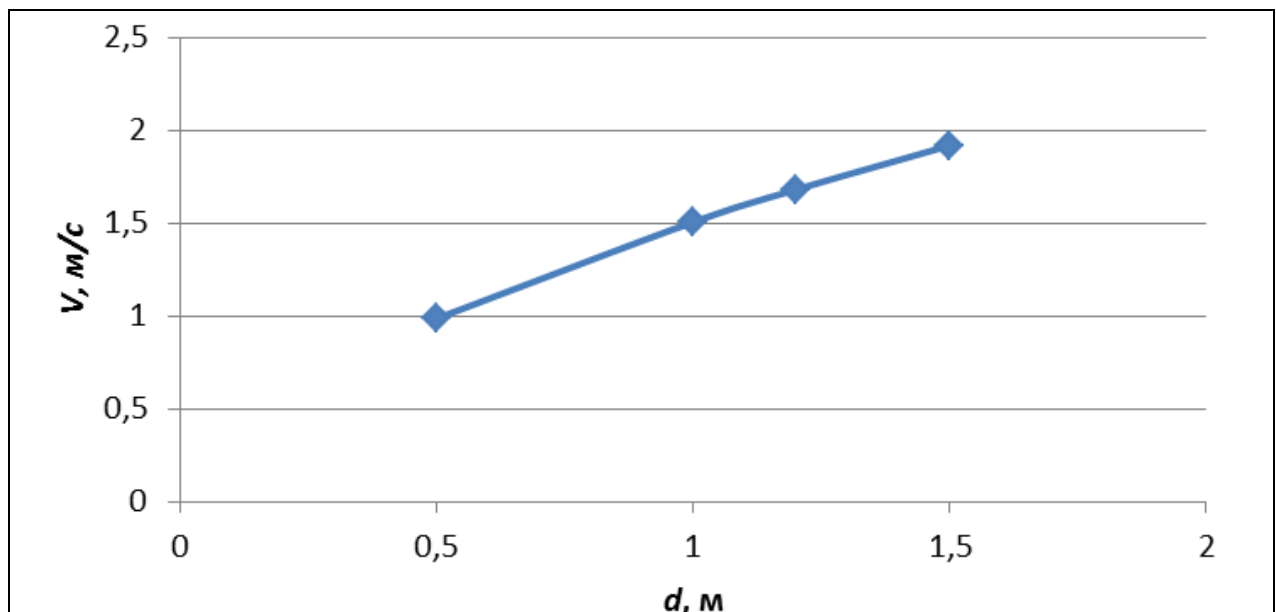


Рисунок 3.1 – Залежність швидкості течії води в бетонній трубі від її діаметру при натиску 5 м

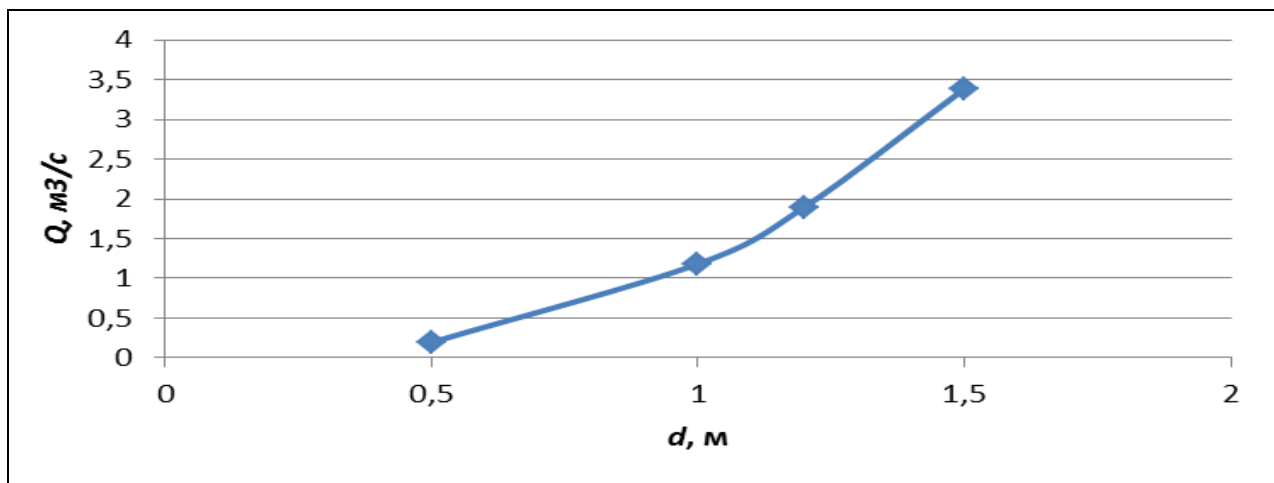


Рисунок 3.2 – Залежність витрати води в бетонній трубі від її діаметру при натиску 5 м

Для визначення приросту рівня води в лимані використана крива об'ємів Куяльницького лиману, отримана за даними промірів виконаних ОДЕКУ в 2009 р. [9] (рис. 3.3).

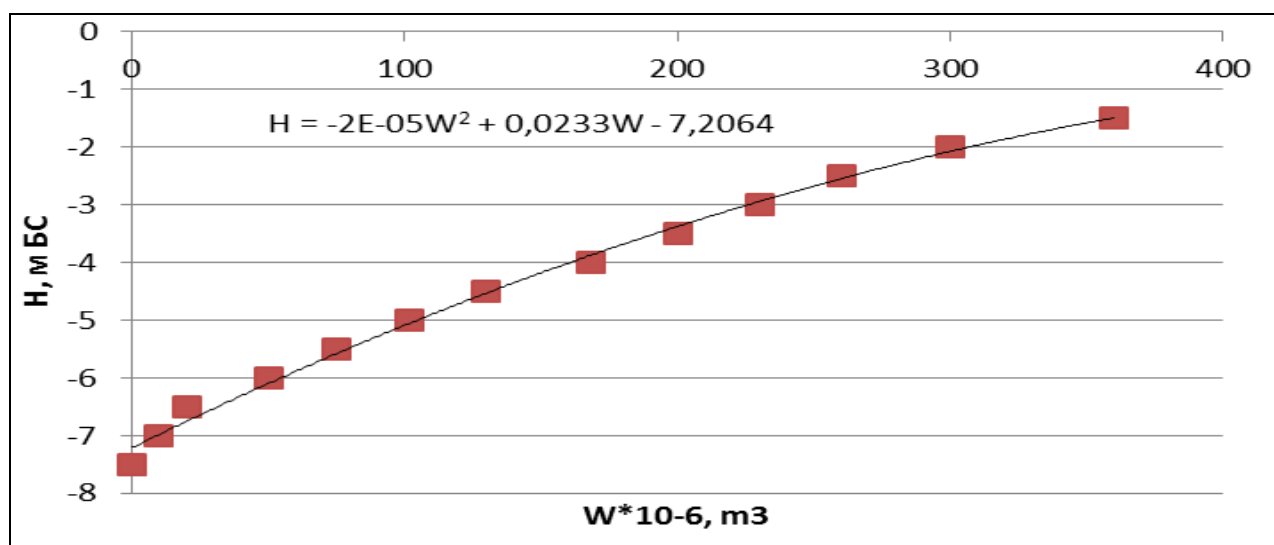


Рисунок 3.3 – Крива об'ємів води Куяльницького лиману за результатами батиметричної зйомки ОДЕКУ, виконаної в 2009 р.

З урахуванням рівняння наведеного на рис. 3.3, були визначені прирости рівня води в лимані за рік у залежності від діаметру трубопроводу (рис. 3.4).

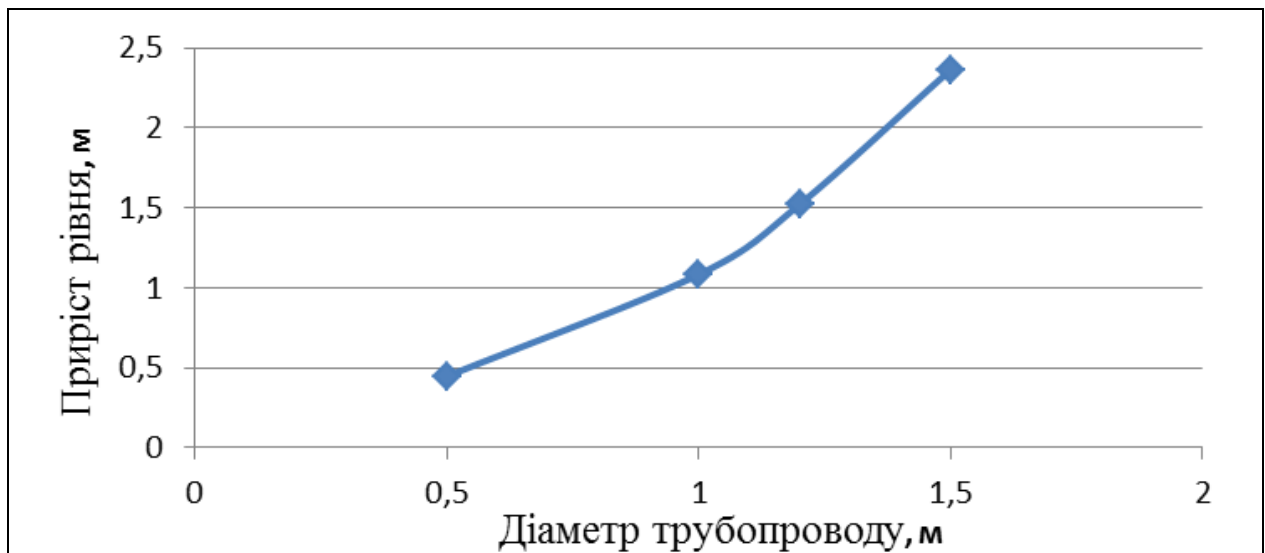


Рисунок 3.4 – Приріст рівня води в Куяльницькому лимані за рік у залежності від діаметру бетонного трубопроводу «море-лиман», при початковій відмітці рівня води в лимані мінус 6,41 м БС

3.2 Розрахунок каналу «море-лиман»

3.2.1 Визначення гідравлічно вигідного перетину каналу

Гідравлічно вигідним називають таку форму поперечного перетину каналу, яка, при заданих ухилах, площі живого перетину і шорсткості, має найбільшу пропускну спроможність. Максимальну пропускну спроможність витрат води, при заданих площах перетину і ухилах, мають перетини з найменшим змоченим периметром [40]. Таким гідравлічно вигідним перетином є напівкругле.

Для будівництва каналів зазвичай використовують трапецеїдальний профіль їх перетину, що обумовлено технологією будівництва і експлуатації. Для трапецеїдального профілю гідравлічно вигідною є така форма трапеції, яка при однаковій площі живого перетину володіє найменшим змоченим периметром. Така площа ω може бути виражена залежністю від глибини h та масштабу зіставлення укосів m [40]:

$$\omega = h^2(2\sqrt{1 + m^2} - m). \quad (3.6)$$

На практиці використовують зручніші «практичні» перетини із співвідношеннями ширини каналу b і глибини h (3.7), при втраті в них 2-3 % швидкості у порівнянні з гідравлічно вигідною швидкістю:

$$\frac{b}{h} = 2 \div 3,5 \quad (3.7)$$

З урахуванням (3.7) запишемо (3.6) у вигляді:

$$\omega = (b + mh)h. \quad (3.8)$$

3.2.2 Гідравлічний розрахунок каналу

Для розрахунків використані наступні дані:

- ширина каналу по дну b , м (задавалася змінною, 1 та 2 м);
 - глибина каналу обчислювалася за формулою (3.7), при $\frac{b}{h} = 2,5$;
 - масштаб зіставлення прийнятий $m = 2,5$;
 - ухил $i = 0,00021$;
 - коефіцієнт шорсткості $n = 0,014$ (для бетонних стінок [41, 42]).
- Витрата води Q , м³/с, обчислювалася за формулою:

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \quad (3.9)$$

де C – швидкісний коефіцієнт рівний, по формулі Маннінга:

$$C = 1/n(R^{\frac{1}{6}}), \quad (3.10)$$

де R – гідравлічний радіус, рівний

$$R = \frac{\omega}{\kappa}, \quad (3.11)$$

де κ – змочений периметр, рівний

$$\kappa = b + 2h\sqrt{1 + m^2}. \quad (3.12)$$

Розраховані по формулах (3.6)-(3.12) витрати води і швидкості течії приведені на рис. 3.5 та 3.6.

Критичні не замулюючи швидкості течії для діаметру частинок 0,25 мм спостерігаються при ширині каналу у дна $> 0,5$ м. Щоб канал не заростав, швидкість течії повинна бути $> 0,6$ м/с [40]. Питання запобігання замулюванню головної частини каналу в результаті вітро-хвильового зкаламучування та транспорту донних морських наносів вимагають спеціальних досліджень.

Проблемним завданням також є організація переходів каналом автомобільних доріг і залізниць.

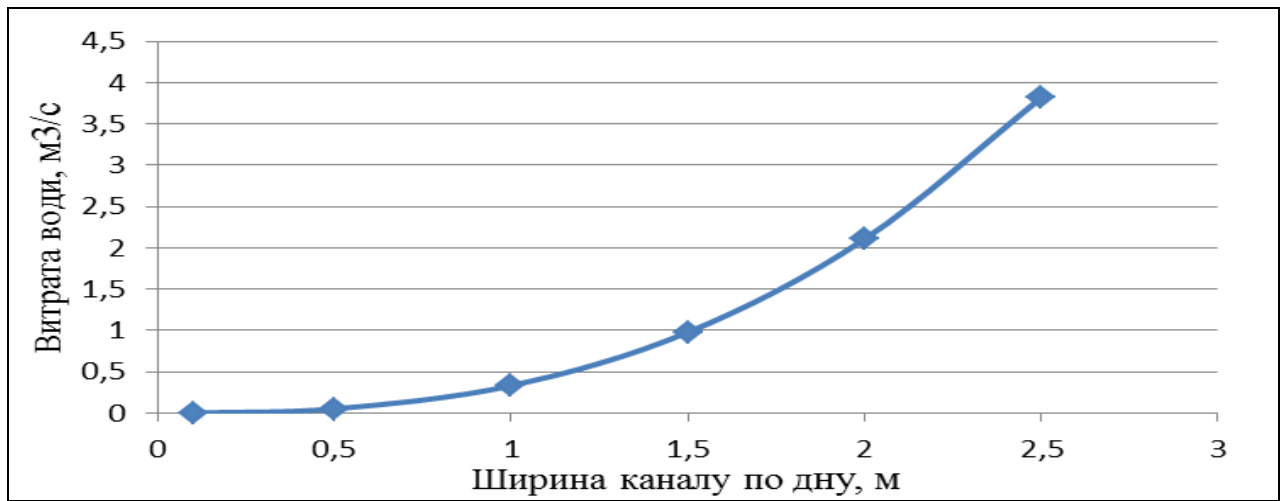


Рисунок 3.5 – Залежність витрат води в каналі Q , м³/с, від ширини каналу по дну b , м

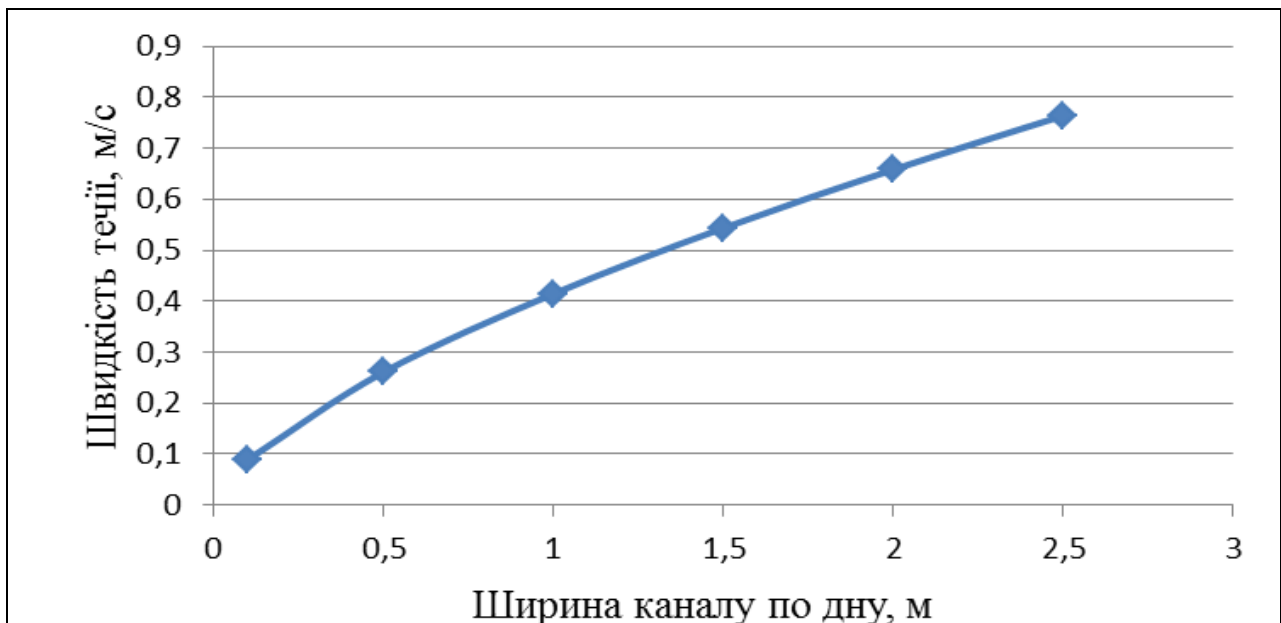


Рисунок 3.6 – Залежність швидкості течії води в каналі V , м/с, від ширини каналу по дну b , м

Таким чином, рельєф поверхні пересипу забезпечує надходження морської води в лиман самопливом, що дозволяє виключити з розгляду будівництво насосних станцій. Для регулювання кількості води, що поступає в лиман самопливом, необхідно передбачити дросельний затвор.

Надходження морської води в лиман, у залежності від діаметру трубопроводу, забезпечує (без врахування атмосферних опадів, що випадають на водну поверхню водойми, випаровування з водної поверхні лиману та припливу води його водозбірною басейну) наступне підвищення відміток рівня в лимані за рік (при початковій відмітці рівня води в лимані мінус 6,41 м БС):

- при діаметрі 1 м – підвищення рівня на 1,1 м;
- при діаметрі 1,5 м – на 2,5 м;
- при діаметрі 2 м – на 4,1 м.

При інших початкових відмітках рівня води в лимані, його приріст можна розрахувати по рівнянню, приведену на рис. 3.3. Користуючись затвором на трубопроводі можна регулювати надходження води в лиман залежно від водного і сольового балансу.

В порівнянні з трубопроводом, варіант будівництва відкритого каналу є менш переважним зважаючи на складність його експлуатації в умовах міста.

4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ МІНЛИВОСТІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАВИСІ В ПРИБЕРЕЖНІЙ ЗОНІ ЧОРНОГО МОРЯ В РАЙОНІ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ

4.1 Характеристика мінливості швидкості вітру над акваторією Чорного моря

Протягом всього року найбільшими швидкостями вітру відрізняється західна частина моря. Середні швидкості вітру, що спостерігалися у відкритому морі, більше, ніж на узбережжі. У холодну пору року швидкості вітру більше, ніж у теплу, і в морі і на узбережжі.

У холодне півріччя в західній половині моря середня швидкість вітру досягає 7-8 м/с, а в окремих районах перевищує 8 м/с. На узбережжі вона не перевищує 7 м/с.

На сході, у відкритому морі середня швидкість вітру в південних районах становить 5-6 м/с, у північних – 6-7 м/с, а на узбережжі змінюється від 2 м/с в південних районах до 6 м/с – у північних.

В тепле півріччя, як і в холодне, швидкості вітру збільшуються зі сходу на захід. Однак відмінності між окремими районами відкритого моря і між морем і узбережжям виявляються в цей час року меншими.

Річний хід швидкості вітру чітко виявляється як на узбережжі, так і у відкритому морі. Найбільші швидкості вітру спостерігаються в холодний період року, найменші – в травні - липні. Мінливість середньої швидкості вітру порівняно велика лише над відкритим морем. На більшій частині узбережжя різниця між найбільшими і найменшими середніми швидкостями вітру складає 0,5-2,0 м/с.

Про міжрічні коливання середньої швидкості вітру дозволяють судити розраховані за даними спостережень берегових гідрометеорологічних станцій середньоквадратичні відхилення (СКВ). В зимові місяці, коли міжрічна мінливість найбільш велика, СКВ складають 1-2 м/с, влітку вони знижуються до 0,5-0,9 м/с. СКВ середньої швидкості за рік складають 0,3-0,9 м/с.

Розподіл вітру по градаціях швидкості свідчить про найбільш характерний для берегових гідрометеорологічних станцій режим слабких вітрів. На більшій частині узбережжя протягом року переважають вітри слабші 5 м/с. Значну повторюваність, але меншу, ніж градація швидкості вітру 1-4 м/с, має градація швидкості вітру 5-6 м/с. У літні місяці повторюваність швидкостей вітру 1-4 м/с досягає 60 %, в зимові місяці повторюваність цих градацій майже зрівнюється і складає 20-30 %.

Незважаючи на переважання слабких вітрів, на узбережжі Чорного моря спостерігається, однак, досить значне число днів з сильним вітром (> 15 м/с).

Найбільше таких днів (34-35 діб/рік) має місце на північно-східному та північно-західному узбережжі моря. Найменшим числом днів з сильним вітром (20-22 діб/рік) відрізняються райони з невеликими середніми швидкостями вітру: Південний Берег Криму і південно-східні райони Кавказького узбережжя. Хоча дні з сильним вітром можливі в будь-які сезони, але в тепле півріччя вони спостерігаються рідше, ніж в холодне. У літні місяці на окремих гідрометеорологічних станціях такі дні бувають взагалі не щорічно.

Середні місячні і річні швидкості вітру на гідрометеорологічних станціях м. Одеса наведені в табл. 4.1.

За даними ГМС «Одеса-Порт», в районі Одеси найбільшу повторюваність має вітер західного напрямку (22,5 %). Вітри північного, північно-західного і південного напрямів мають практично однакову повторюваність (близько 14 %).

Таблиця 4.1 – Середня місячна та річна швидкість вітру (м/с) за період 1981-2000 рр. для ГМС «Одеса-Порт» і за 1961-1990 рр. для ГМС «Одеса-Обсерваторія»

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Одеса-Порт	4,8	4,7	5,0	4,3	4,3	4,3	4,2	4,0	4,4	4,9	5,6	4,9	4,6
Одеса-Обсерваторія	4,6	4,6	4,3	3,8	3,4	3,2	3,2	3,3	3,4	3,9	4,3	4,3	3,9

Сумарна повторюваність вітрів північних румбів протягом всього року складає 34,6 % (табл. 4.2). Переважання вітрів північних напрямів найбільш виражено в зимовий і літній періоди з повторюваністю, відповідно, 37,8 % і 34,8 %. Для весняного періоду (березень – травень) характерне поступове зменшення північно-східного, північного і північно-західного перенесень і посилення впливу вітрів південного і південно-східного напрямів.

Влітку південні вітри мають приблизно однакову повторюваність з північними і північно-західними вітрами. Восени збільшується повторюваність північного і північно-східного вітрів.

В районі Одеси спостерігаються досить значні швидкості вітрів. Максимальні швидкості вітру на ГМС «Одеса-Порт» наведені в табл. 4.3.

Дані обрані за період від початку існування станції до 1983 р. Як правило, найбільші швидкості вітру спостерігаються при вітрах переважаючих напрямків, але можливе значне посилення вітрів й інших напрямків.

Таблиця 4.2 – Повторюваність напрямів вітру (%) за даними ГМС «Одеса-Порт», середня за 1981-2000 рр.

Місяць	Півн.	Півн. Сх.	Сх.	Півд. Сх.	Півд.	Півд. Зах.	Зах.	Півн. Зах.
I	17,7	6,6	9,8	4,1	11,5	4,4	30,1	15,8
II	13,7	7,8	15,8	8,7	12,6	3,1	23,7	14,6
III	18,0	9,2	13,9	12,9	13,6	2,7	18,3	11,4
IV	11,9	5,8	15,1	20,1	16,4	2,9	17,2	10,6
V	10,5	3,9	12,5	23,0	18,6	3,5	16,9	11,1
VI	10,9	3,1	8,2	19,1	15,9	3,9	23,1	15,8
VII	14,1	2,0	5,6	15,3	11,8	2,8	27,7	20,7
VIII	14,7	3,5	7,5	14,7	12,1	3,8	24,3	19,4
IX	12,6	3,7	11,1	13,7	17,6	3,6	23,3	14,4
X	16,5	7,6	13,0	10,4	15,8	3,3	19,5	13,9
XI	15,5	8,6	18,1	8,5	12,5	3,5	20,5	12,8
XII	17,8	7,1	11,5	6,5	14,5	5,0	25,3	12,3
Рік	14,5	5,7	11,9	13,1	14,4	3,5	22,5	14,4

Таблиця 4.3 – Максимальні швидкості вітру, W_{max} м/с, на ГМС «Одеса-Порт»

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
W_{max} , м/с	30	28	40	24	30	24	26	24	26	28	29	28	40

4.2 Характеристика сильних вітрів над акваторією Чорного моря

Сильні вітри (понад 10 м/с) у всіх районах моря спостерігаються щорічно і у всі сезони. Їх повторюваність і тривалість істотно залежать від пори року. Найбільш інтенсивні і тривалі посилення вітру відзначаються в холодну частину року з листопада по березень. Найбільш часто сильні і штормові вітри встановлюються в північних районах моря, найменш – у південно-східних районах. У північних районах моря в середньому за рік спостерігалось 44-57 випадків сильних і штормових вітрів, в південно-східних – 15-17. В окремі роки повторюваність сильних вітрів зростає до 62-71 випадків на рік в північних районах моря і до 22-37 – в південних районах.

Найбільш рідко відзначаються сильні вітри в літні місяці на південному сході моря. Тривалість їх в середньому 13-14 годин в південному і кавказькому районах та 18-21 годину – в інших районах.

Сумарне за рік число годин з вітром більше 10 м/с зменшується з півночі на південь. Найбільше число годин з сильним вітром припадає на північно-західний, кримський і керч-туапсинський райони (в середньому більше 1000-1200 год/рік), найменше – на кавказький район (менше 200 год/рік).

Повторюваність сильних вітрів, їх сумарна тривалість мають чітко виражений річний хід. Максимум припадає на зимові місяці, мінімум - на літні. Аналіз розподілу сильних вітрів по градаціях швидкості показав, що у 80-85 % всіх виявлених випадків посилення вітру його швидкість не перевищує 15 м/с. Штормові вітри зі швидкістю понад 20 м/с спостерігаються найчастіше в 1-3 % випадків.

Напрямок переважаючих сильних вітрів істотно залежить від сезону. У літні місяці найбільша повторюваність сильних північних вітрів над західною половиною моря, сильних західних вітрів – в керч-туапсинському районі, сильних північно-західних вітрів – у кримському та північно-західному районах, сильних вітрів циклонічного характеру – в кавказькому районі. Сильні вітри над морем відзначаються в середньому 1-3 рази, а в холодну пору – 4-7 разів на місяць.

Розподіл сильних вітрів різних напрямків по градаціях швидкості залежить від району моря. Швидкості більше 20 м/с найчастіше досягають штормові вітри північно-східного напрямку в керч-туапсинському районі, східного напрямку – в кримському, південного і західного напрямку – в північно-західному районі. Сильні вітри переважних напрямків найбільш стійкі в часі. У літні місяці безперервна тривалість сильних вітрів знижується. Мало стійкі в часі сильні східні вітри. Сильні вітри найчастіше виникають над якоюсь однією з частин моря, головним чином над північно-східною. У холодну пору року зростає повторюваність сильних штормових вітрів, що поширюються на все море, найбільш стійких у часі і триваючих іноді по 2-3 доби. Рідше всього сильні вітри виникають в кавказькому районі. На узбережжі моря спостерігається значне число днів з сильним і штормовим вітром 45 м/с. Найбільше таких днів (34-35 за рік) відмічено на північно-східному та північно-західному берегах моря. Штормова діяльність на південному узбережжі моря розвинена слабше, ніж на північному. На західному узбережжі число днів з вітром силою більше 15 м/с становить 10-14.

Визначальним фактором вітрового режиму Чорного моря є структура баричного поля. Посилення швидкості вітру над морем обумовлено найчастіше циклонічною діяльністю.

4.3 Спектральний підхід до опису поверхневих вітрових хвиль

Для оцінки параметрів вітрового хвилювання, а також його дисипативних характеристик у прибережній зоні моря, в залежності від вітрових умов і батиметрії району, використовувалася чисельна хвильова модель SWAN (Simulating Waves Nearshore), розроблена в Delft University (Нідерланди) [43]. SWAN – спектральна модель, призначена для отримання оцінок хвильових параметрів в прибережних районах моря, озерах і естуаріях на підставі заданих вітрових умов, рельєфу дна і поля течій.

Версія 4.1 може використовуватися на будь-яких масштабах, доречних для вітрових гравітаційних хвиль. SWAN успішно апробована для різних мілководних зон Світового океану. Тестування моделі виконувалося на основі академічних, лабораторних і польових тестів, які дозволили порівняти модельні результати зі строгими рішеннями лінійної теорії хвиль, а також спостереженнями в лабораторних та польових умовах (рис. 4.1). Польові тести проводилися при наявності комплексних натурних спостережень, що включають вимірювання швидкості вітру і течій біля узбережжя Нідерландів, і поряд з лабораторними тестами, служать для верифікації моделі SWAN.

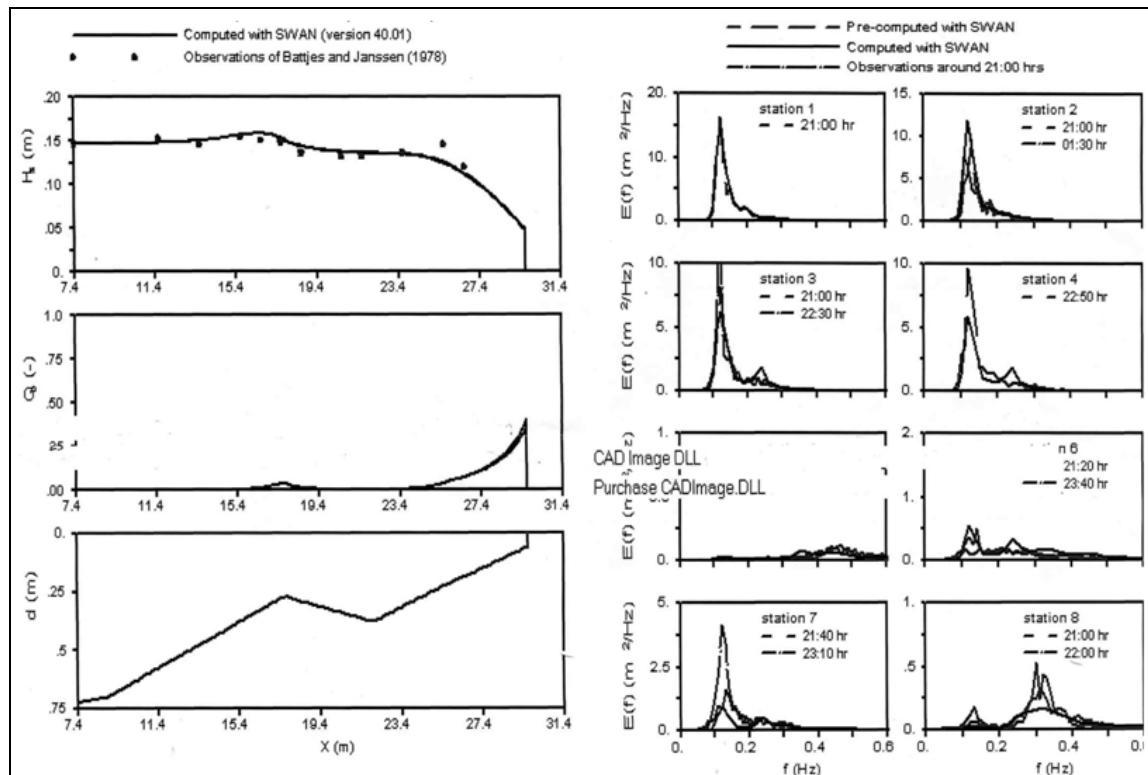


Рисунок 4.1 – Лабораторний тест обвалення вітрових хвиль, викликаного зменшенням глибин (а), і польовий тест поширення і трансформації вітрових хвиль (б)

У моделі враховуються наступні ефекти, пов'язані з поширенням хвиль:

- трансформація і рефракція хвиль, обумовлені просторовою неоднорідністю глибин; рефракція хвиль, що входять в зону течії;
- блокування і відображення від протилежно спрямованих течій;
- проходження хвиль через перешкоди, обумовлені ними блокування і відображення.

У SWAN представлені наступні процеси генерації та дисипації хвиль:

- генерація вітром;
- дисипація, обумовлена перекиданням хвиль;
- дисипація, обумовлена викликанням глибиною обваленням хвиль і просторовими варіаціями течій;
- дисипація, обумовлена тертям об дно;
- чотирьоххвильові та трихвильові взаємодії.

У SWAN обчислюється і враховується також хвильовий нагін. Хвилі описуються двовимірним хвильовим спектром щільності дії. Щільність дії дорівнює спектральній густині енергії, поділеній на відносну частоту:

$$N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$$

σ - відносна частота, θ - напрямок хвиль.

Розвиток хвильового спектру описується рівнянням спектрального балансу щільності дії, яке має вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma}, \quad (4.1)$$

де S вираз, що описує процеси генерації, дисипації і нелінійних взаємодій, $c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta$ - швидкості перенесення хвильової енергії у фазовому просторі, що визначаються в припущенні мінливого рельєфу дна і фонових течій на основі методу геометричної оптики:

$$\begin{aligned} c_{x\alpha} &= \frac{dx_\alpha}{dt} - \epsilon_g \frac{k_\alpha}{k} + u_{F\alpha}, \\ c_\theta &= \frac{d\theta}{dt} - \frac{1}{k} \left(\frac{\partial \omega}{\partial D} \frac{\partial H}{\partial m} + k_\alpha \frac{\partial u_{F\alpha}}{\partial m} \right), \\ c_\omega &= \frac{d\omega}{dt} - \frac{\partial \omega}{\partial H} \left(\frac{\partial H}{\partial t} + u_{F\alpha} \frac{\partial H}{\partial x_\alpha} \right) - c_g \frac{k_\alpha}{k} \frac{\partial u_{F\alpha}}{\partial l}, \end{aligned}$$

де H - глибина басейну, $u_{F\alpha}$ - швидкість фонових течій, l - просторова координата, що збігається з напрямком поширення хвиль, m - просторова

координата, перпендикулярна до напрямку поширення хвиль, $\alpha = 1, 2$, c_g – групова швидкість поширення хвиль.

Хвильове рівняння (4.1) вирішується з нульовими значеннями N на твердих границях розрахункової області. На рідких границях величина N розраховується через висоту і напрямок хвиль. Знаючи розподіл N , можна визначити частотно-кутовий спектр поверхневого хвилювання за допомогою співвідношення $E = \sigma N$ і на його підставі отримати оцінки спектральних характеристик хвилювання. Висота значної хвилі H_s визначається в моделі зі співвідношення

$$H_s = 4 \sqrt{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta}, \quad (4.2)$$

де ω - абсолютна кутова частота. Середній абсолютний хвильовий період в спектрі PER

$$PER = 2\pi \left(\frac{\iint \omega E(\omega, \theta) d\omega d\theta}{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \right)^{-1}. \quad (4.3)$$

Середня довжина хвилі $WLEN$

$$WLEN = 2\pi \left(\frac{\iint k E(\omega, \theta) d\omega d\theta}{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \right)^{-1}, \quad (4.4)$$

де k - хвильове число. Інтегрування рівняння балансу дії здійснюється за допомогою кінцево-різницевої схем за географічною та спектральною координатою. Хвильові компоненти в SWAN поширюються в географічному просторі за схемою спрямованих різниць проти потоку. В спектральному просторі схема спрямованої назад різниці доповнена центральною апроксимацією. Чисельний алгоритм моделі детально висвітлений в [43].

В моделі трансформації вітрових хвиль враховуються 4-ох та 3-ох хвильові взаємодії. На глибокій воді в еволюції хвильового спектру домінують 4-ох хвильові взаємодії. Вони передають хвильову енергію спектрального максимуму більш низьким частотам (змінюючи частоту максимуму на більш низькі значення) і більш високим частотам (там, де енергія дисипує через перекидання хвиль) [43]. На мілкій воді переважають 3-0 хвильові взаємодії з передачею енергії низьких частот високим частотам, що має своїм результатом більш високі гармоніки. Низькочастотна генерація енергії, викликана трихвильовими взаємодіями, тут не розглядається [43]. Чотирьоххвильові взаємодії обчислюються методом апроксимації дискретних взаємодій (АДВ).

По кожному спектральному напрямку використовується Апроксимація Спільних Трихвильових Взаємодій (Lumped Triad Approximation). Передача вітрової енергії хвилям описується в SWAN резонансним механізмом за Філіпсом і механізмом зворотного зв'язку за Майлзом.

Дисипація хвильової енергії представлена як сума трьох складових: перекидання хвиль, тертя о дно і викликаного зменшенням глибини руйнування хвиль. Перекидання хвиль спочатку контролювалося крутизною хвилі. У діючих зараз моделях третього покоління (включаючи SWAN) формулювання перекидання хвиль засновані на імпульсній моделі Хассельмана, переробленій WAMDI групою. За допомогою спектральної хвильової моделі SWAN описаний просторовий характер обвалення вітрових хвиль. Модель використовувалася також для обчислення орбітальної швидкості руху біля дна, що неявно описує турбулентний хвильовий режим в придонному шарі.

При обчисленні концентрації донного матеріалу у водній товщі використано наступний вираз для вертикального розподілу зважених наносів в придонному шарі [44]:

$$C = C_a e^{-Wz / \varepsilon_{s1}} \quad (4.5)$$

Для розрахунку вертикального розподілу концентрації зважених наносів поза межами придонного граничного шару використовувався вираз

$$C = C_a e^{-W\delta / \varepsilon_{s1}} \left(\frac{z}{\delta} \right)^{-W\delta / \varepsilon_{s1}}, \quad (4.6)$$

де C - об'ємна концентрація зважених наносів, W - гідравлічна крупність донних наносів, C_a - величина придонної концентрації наносів, δ - величина, що характеризує товщину придонного шару, z - вертикальна координата, ε_{s1} - коефіцієнт дифузії частинок в придонному шарі по вертикальній осі. Як показують дані експериментальних досліджень, в придонному шарі хвильових потоків концентрація зважених наносів досить добре апроксимується показовою функцією. Це дає можливість припускати, що в придонному шарі $\varepsilon_{s1} = \text{const}$ [44].

$$C_a = 0,035 \left(\lg \left(\frac{u_{*m}}{W} D_*^{0,7} \right) \right)^{3,75},$$

u_{*m} - максимальне значення динамічної швидкості в умовах зернистої шорсткості, D_* - параметр частинок, згідно з методикою [44].

Зіставлення розрахованих за (4.5) профілів відносних концентрацій наносів з лабораторними даними показало добру відповідність та здатність (4.5) відображати концентрації зависі в придонному шарі води.

Розрахунок стаціонарної складової хвильових тангенціальних напружень виконувався за формулою

$$u_{*B} = 0,0865 \frac{u_m^2 u_{*m} T}{\lambda} + 0,15 u_{*m}^2 \frac{\Delta^2}{L \delta},$$

$$L = 1,83 u_{*m} T$$

де u_m - придонна орбітальна швидкість у хвильовому потоці, u_{*m} - максимальне значення динамічної швидкості в умовах зернистої шорсткості, λ , T - довжина та період вітрових хвиль, Δ - висота донних рифелей, δ - товщина нестационарного турбулентного граничного шару [44].

В якості вихідної, використовувалася лінійна теорія хвиль малої амплітуди. Розрахунок стаціонарної складової хвильових тангенціальних напружень також здійснювався згідно з алгоритмом, наведеним у [44]. Критичне напруження донного тертя, при якій частинки відриваються від дна, розраховувалася за методикою Ван-Рейна:

$$\tau_{\text{cri}} = \rho g d_{\text{cp}} (\rho_c / \rho - 1) \theta_{\text{cri}},$$

$$\theta_{\text{cri}} = 0.24 D_*^{-1} \text{ K при } D_* < 4,$$

$$\theta_{\text{cri}} = 0.14 D_*^{-0.64} \text{ K при } 4 < D_* \leq 10,$$

$$\theta_{\text{cri}} = 0.04 D_*^{-0.1} \text{ K при } 10 < D_* \leq 20,$$

$$\theta_{\text{cri}} = 0.013 D_*^{0.29} \text{ K при } 20 < D_* \leq 150,$$

$$\theta_{\text{cri}} = 0.55 \text{ K}^3 \text{ при } 150 < D_*.$$

4.4 Обвалення вітрових хвиль в прибережній акваторії м. Одеси

Наведемо результати моделювання трансформації і просторового розподілу зон обвалення вітрових хвиль в контактній зоні море - суша (узбережжя м.Одеси). Вітрові хвилі сприяють перемішуванню прибережних вод і зважуванню донних відкладень на мілководді, що, в остаточному підсумку, підвищує транспортуючу здатність потоків. Просторовий розподіл зон обвалення вітрових хвиль має немаловажне значення при протіканні ерозійно-аккумуляційних процесів, транспортуванні та перерозподілі наносів. Розрахунок

трансформації і обвалення вітрових хвиль проводився на акваторії при вітро-хвильових умовах малої забезпеченості. При моделюванні вищевказаних процесів, включаючи нелінійні взаємодії між хвилями, використовувався спектральний підхід, описаний в п. 4.3.

Поле глибин акваторії (рис. 4.2), розміром 750×1194 м, апроксимовано розрахунковою сіткою з кроком 27 м по осях x і y , які спрямовані на схід і північ, відповідно

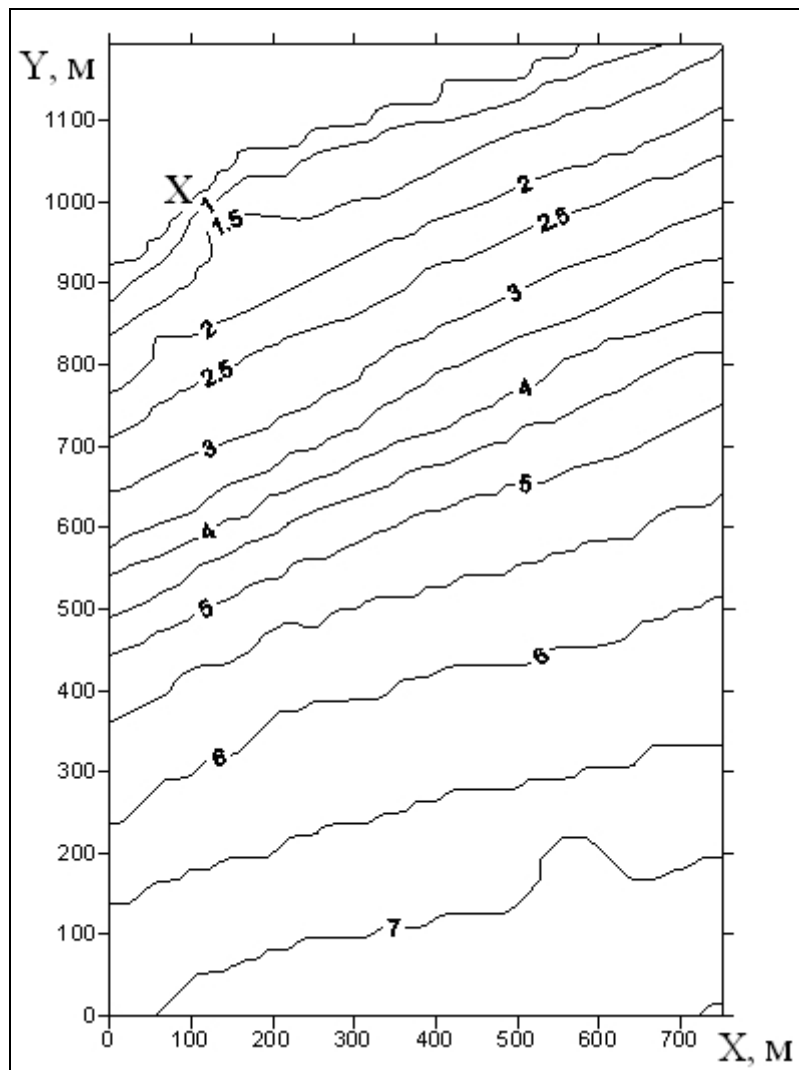


Рисунок 4.2 – Просторовий розподіл глибин (м) в районі передбачуваного будівництва морської частини з'єднувальних споруд (позначено символом X на рисунку)

Вважалося, що хвилювання генерується вітром 15 м/с південного напрямку. На відкритій морській, тобто східній, границі розрахункової області задавалися період і висота значної хвилі h_s . Середні характеристики

хвилювання знаходилися з емпіричних співвідношень, що зв'язують їх зі швидкістю вітру, довжиною розгону і глибиною моря [45]. Висота значної хвилі визначалася із співвідношення, що пов'язує її з середньою висотою хвилі [45]:

$$\bar{h}=0.6 h_s$$

При південному вітрі швидкістю 15 м/с усталене хвилювання на глибокій морській границі розрахункової області характеризується наступними значеннями параметрів: висота значної хвилі – 2,1 м, середній хвильовий період – 4,4 с. Розраховані характеристики вітрового хвилювання при заданих вітрових умовах узгоджуються з даними спостережень над хвилюванням, отриманими Геофізичною обсерваторією Одеського державного екологічного університету.

Хвильовий спектр визначався з дискретністю 4° по кутовій координаті. Для частотної координати використовувалася нерівномірна сітка з 25 вузлами. Мінімальна частота 0,01 Гц. Інші частоти визначалися за рекурентною формулою. Максимальне значення висоти хвилі в зоні обвалення визначалося співвідношенням $h_{max} = \gamma \cdot H$, де $\gamma = 0.78$ - параметр обвалення.

4.5 Результати моделювання

Моделювалася трансформація вітрових хвиль при реально існуючій конфігурації берегової лінії і промірах глибин, виконаних у 2012 р. Розраховане поле мінливості висот вітрових хвиль на прибережній акваторії наведено на рис. 4.3. При південному вітрі висота значної хвилі в південній частині акваторії може досягати 2,0 – 2,1 м, а на решті її частини – менш 2,0 м. По мірі подальшого просування хвиль по мілководдю до берега їх висота змінюється несуттєво: на окремих ділянках акваторії збільшується не більш ніж на 5 см, але в цілому – зменшується. Остаточне руйнування хвиль спостерігається в прибережній мілководній зоні, про що свідчить згущення у берегової лінії ізоліній висот значних хвиль.

На рис. 4.3 наведено одержане за модельними розрахунками поле висот значних хвиль, які спочатку поширювалися по нормалі до південної морської границі розрахункової області. Найбільш інтенсивне зменшення висот значних хвиль починається з ізобати 3,5 м.

Чинником, що визначає втрати хвильової енергії за рахунок тертя об дно, є орбітальна швидкість хвильового руху у дна U_{rms} .

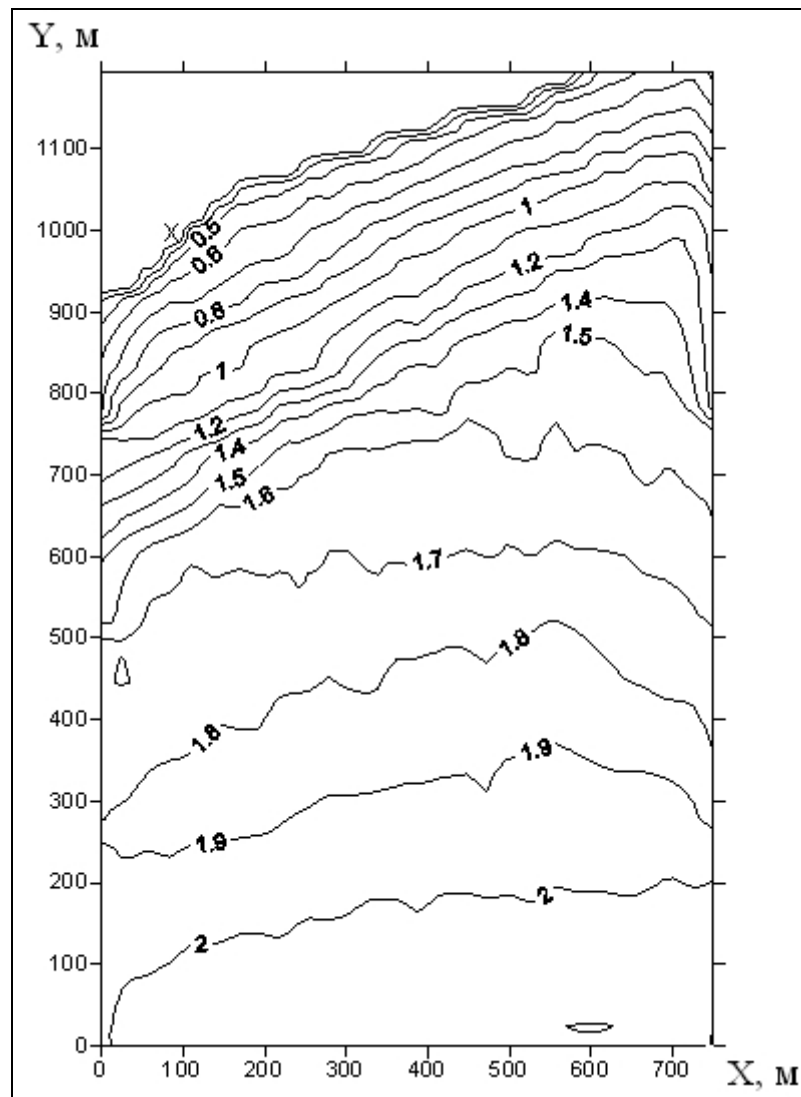


Рисунок 4.3 – Просторовий розподіл висот значних хвиль (м) в районі передбачуваного будівництва морської частини з'єднувальних споруд (позначено символом X на рисунку)

Згідно [1],

$$S_{ds,b}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta)$$

де $S_{ds,b}(\sigma, \theta)$ - дисипація хвильової енергії за рахунок тертя об дно, $E(\sigma, \theta)$ - хвильова енергія, C_{bottom} - коефіцієнт придонного тертя, пропорційний орбітальній швидкості хвильових рухів поблизу дна U_{rms} , d - локальна

глибина, k - хвильове число. Орбітальна швидкість хвильового руху у дна є також показником інтенсивності зважування донного матеріалу хвилями.

У просторовому розподілі орбітальної швидкості хвильового руху простежується зона інтенсифікації в районі ізобати 3-3,5 м (рис. 4.4).

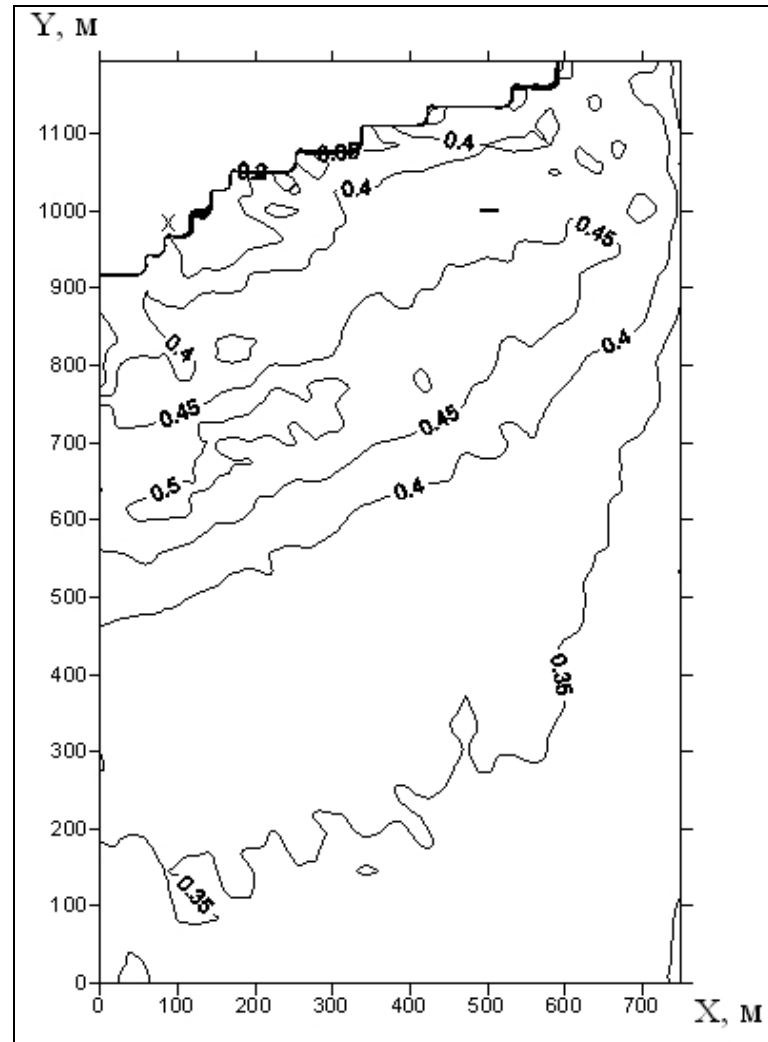


Рисунок 4.4 – Просторовий розподіл орбітальної швидкості хвильового руху у дна (м/с) в районі передбачуваного будівництва морської частини з'єднувальних споруд

Збільшення придонної орбітальної швидкості хвильового руху в даному районі призведе до більш інтенсивного зкаламучування донних відкладень на цих ділянках і підвищенню концентрації зависі у водній товщі (рис. 4.5-4.6). Максимуми придонних орбітальних швидкостей при штормовому вітрі 15 м/с досягають 0,5 м/с (рис. 4.4). Аналіз просторового розподілу концентрації зависі у дна (рис. 4.5) і на рівні 1 м від поверхні дна (рис. 4.6) свідчить, що за штормових умов в досліджуваній прибережній мілководній морській акваторії,

максимальні концентрації зависі спостерігаються в придонному шарі до 1 м завтовшки, на відстані 230 м від берега. В решті вертикальної товщі води, поза межами придонного пограничного шару, концентрації різко падають. Про це свідчать також вертикальні профілі концентрації зависі.

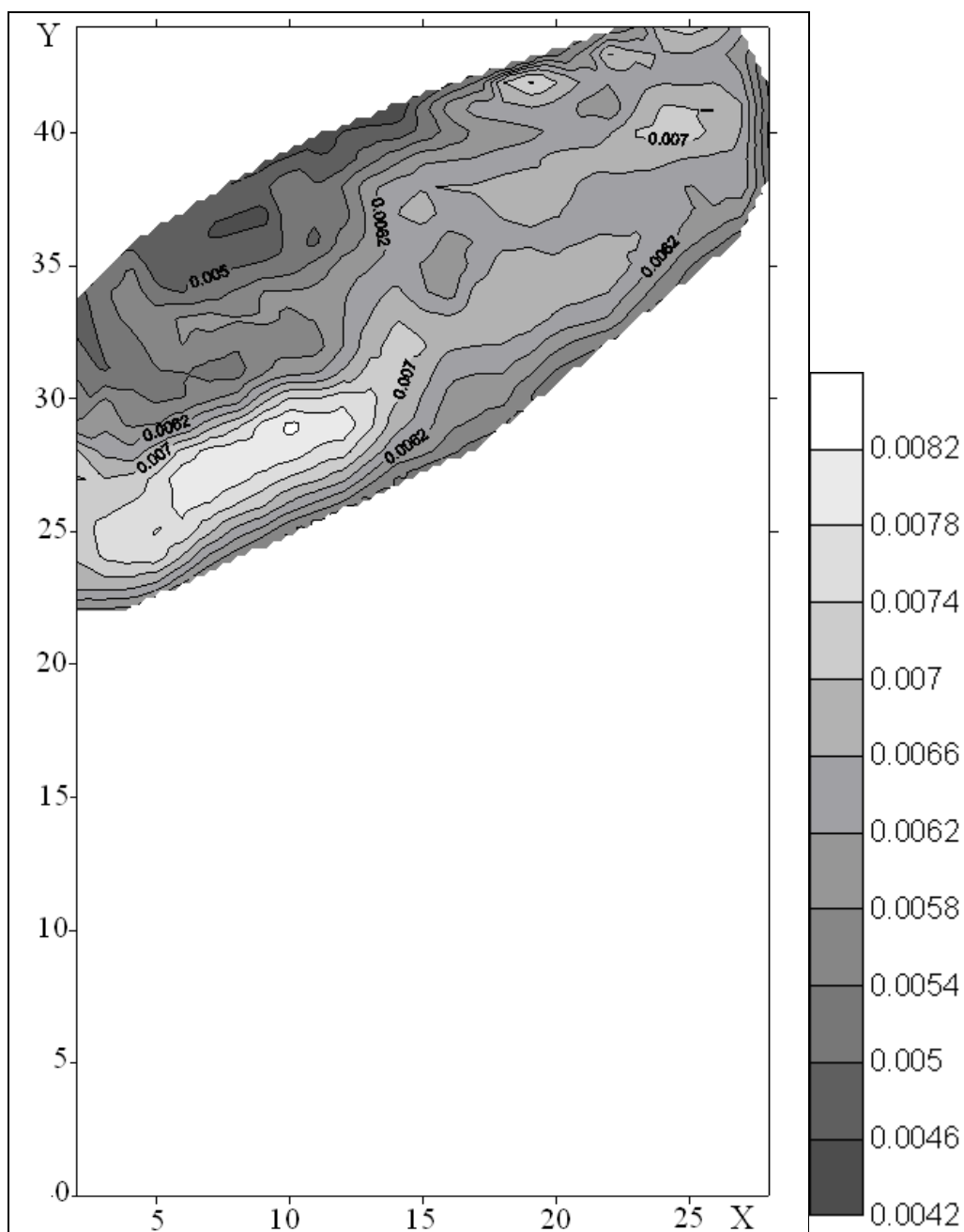


Рисунок 4.5 – Просторовий розподіл відносної концентрації зависі у дна
(на осях координат вказані номери вузлів розрахункової сітки,
горизонтальний просторовий крок – 27 м)

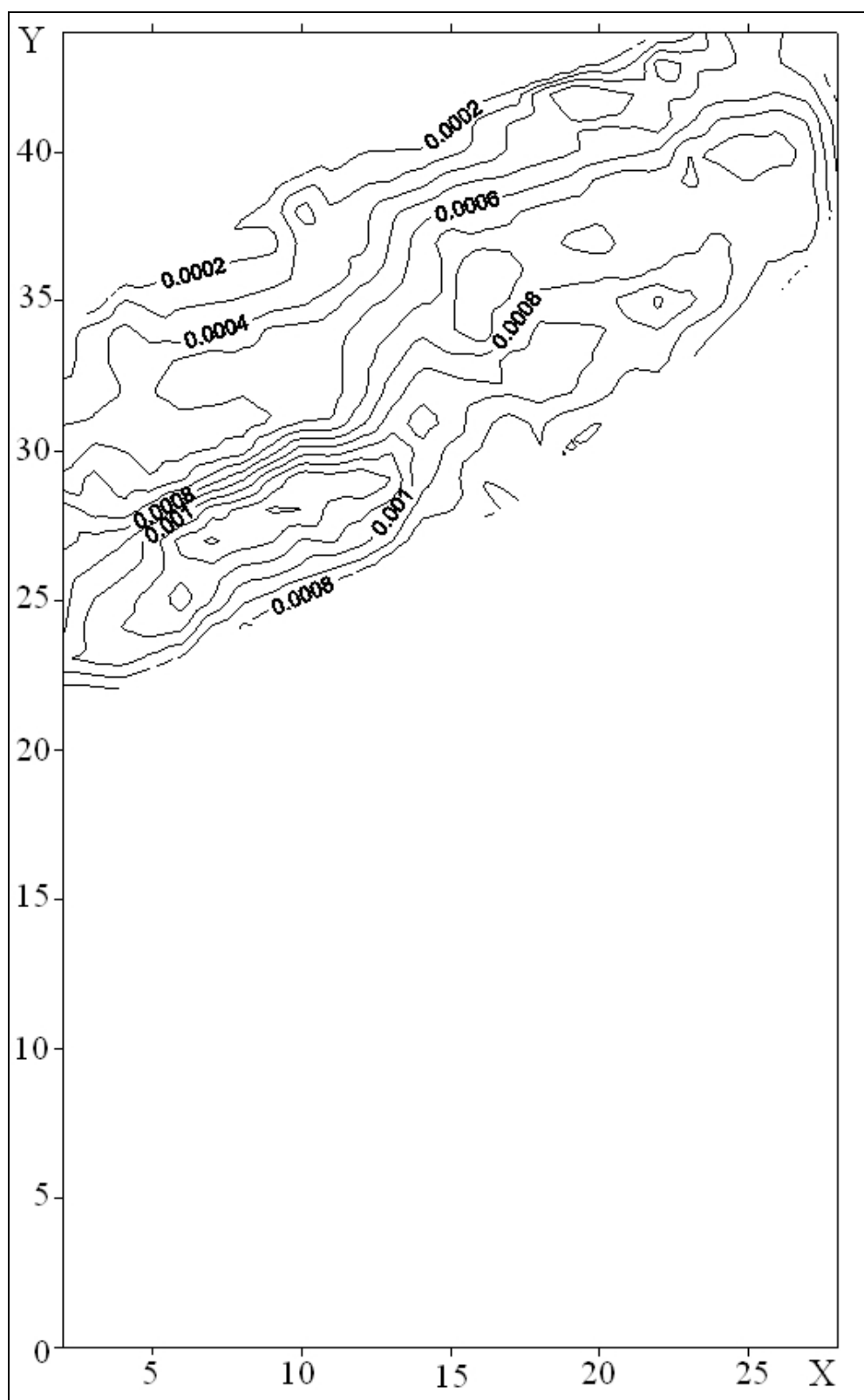


Рисунок 4.6 – Просторовий розподіл відносної концентрації зависі на рівні 1 м від поверхні дна (на осях координат вказані номери вузлів розрахункової сітки, горизонтальний просторовий крок – 27 м)

При розрахунку концентрацій домішки перевірялася умова перевищення хвильовими придонними напруженнями критичних значень, за якими відбувається відрив частинок від дна. Як показали розрахунки, ця умова починає виконуватися при переході хвиль через ізобату 3,5 м на відстані 300-335 м від берега.

На рис. 4.7 наведені вертикальні розрізи концентрації зависі у водній товщі вздовж Y-координати для $x = 108$ м та $x = 189$ м від початку обраної системи координат (рис. 4.2).

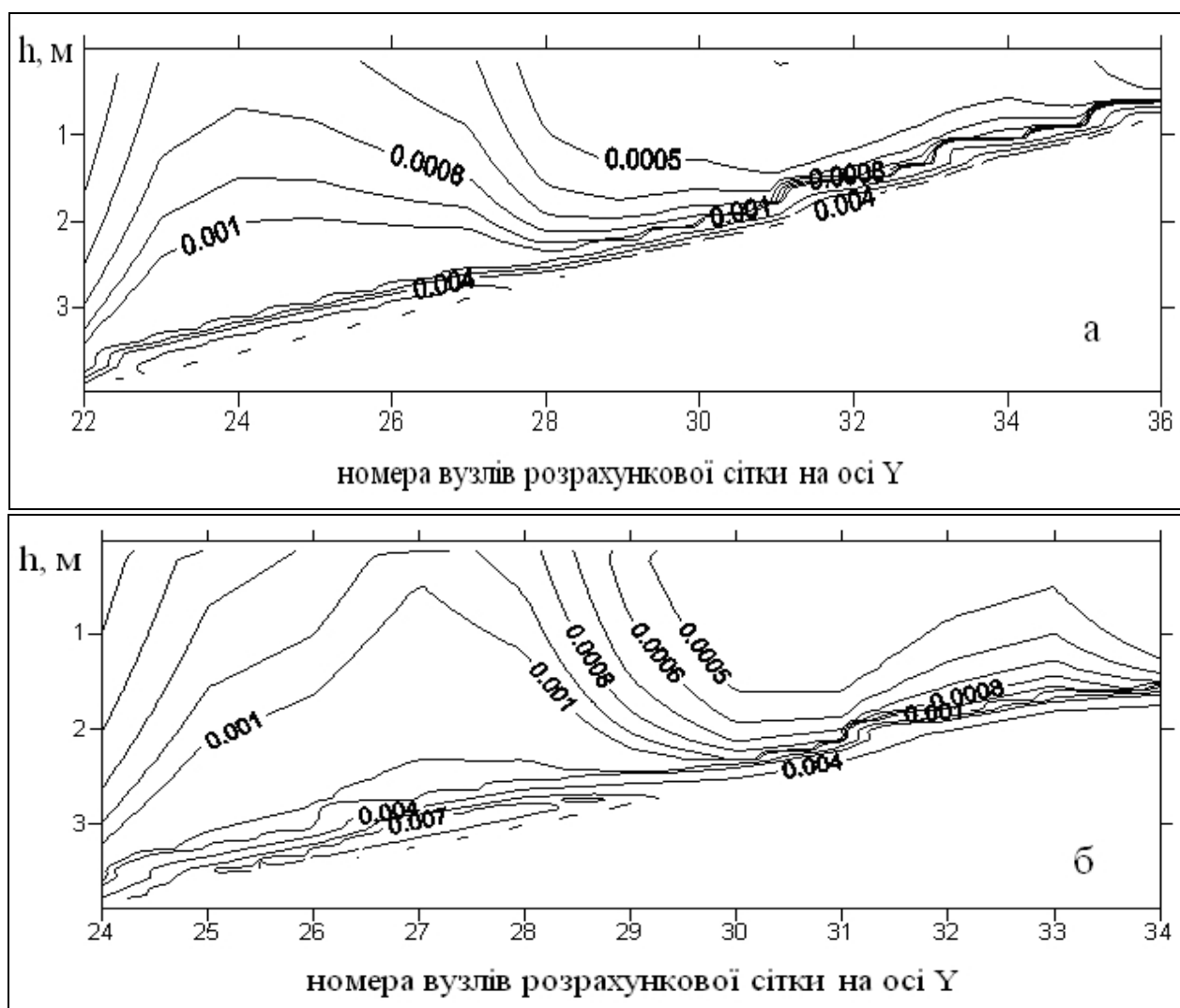


Рисунок 4.7 – Вертикальний розріз розподілу відносної концентрації зависі у водній товщі в напрямку координати Y:

- а) при $x = 108$ м (4 вузол розрахункової сітки вздовж координати X);
- б) при $x = 189$ м (7 вузол розрахункової сітки вздовж координати X, рис. 4.5)
(горизонтальний просторовий крок розрахункової сітки 27 м)

Максимальні концентрації спостерігаються в досить тонкому придонному шарі. В решті водного стовпчика, поза межами придонного пограничного шару, концентрації зависі майже на порядок нижчі.

Характер просторового розподілу розрахованої концентрації зависі в прибережній зоні стикається з розрахунками виконаними на експериментальному полігоні «Камчія» (Чорне море) в період шторму 10.10.1977 р., а також з результатами натурних спостережень [44].

На рис. 4.8 наведено вертикальний профіль концентрації зависі у вузлі (7, 29) розрахункової області (рис. 4.5), який відображає різке експоненційне зростання концентрації в придонному шарі товщиною приблизно 1 м.

Розрахований профіль концентрації зависі за своїми особливостями відповідає прикладу наведеному у [44].

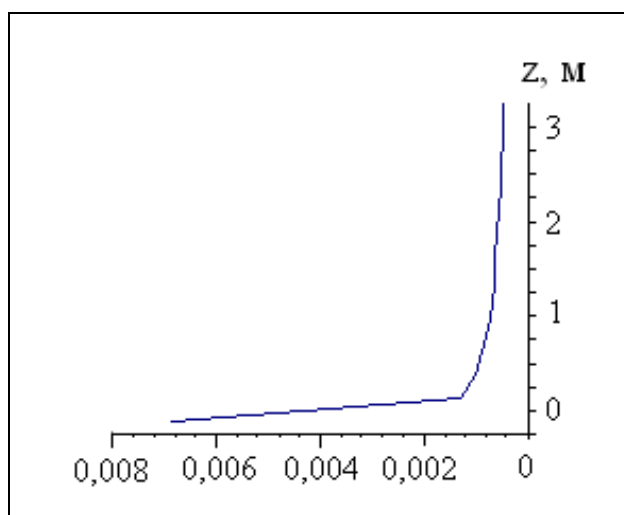


Рисунок 4.8 – Вертикальний розподіл відносної концентрації зважених наносів в штормовий період, розрахований згідно з методикою [44] за формулами (4.5) та (4.6) у вузлі (7, 29) розрахункової області (z – вертикальна координата, на дні $z = 0$)

Алгоритм розрахунків концентрації зависі в водах прибережної зони пляжа Лузанівка (м.Одеси), використаний у звіті, був запропонований в роботі [44] і верифікований з використанням даних детальних досліджень просторово-часової мінливості поля концентрацій зважених наносів на болгарському узбережжі Чорного моря в районі полігону «Камчія».

З урахуванням того, що активне обвалення вітрових хвиль та зкаламучування донного матеріалу відбувається на мілководному узбережжі, починаючи з глибин 3,0-3,5 м, оголовок гідротехнічної споруди (труби) слід виводити за межі цієї мілководної зони на відстань 300-335 м від берега.

У разі неможливості виводу оголовку труби на вказану відстань, слід враховувати просторовий розподіл концентрації завісі в водах акваторії (рис. 4.5-4.6). Зокрема, як видно з рис. 4.6, оголовок труби може бути виведений на відстань 80-110 м від берега, але нижня його частина повинна бути піднята над дном на відстань не менш 1 м. Однак цей варіант потребує додаткового дослідження, оскільки при меншій швидкості вітру і, відповідно, висоті хвиль, зона їх руйнування буде зміщатися до берега, а разом з нею і зона максимальних концентрацій завісі у воді. Необхідно провести порівняльний аналіз очікуваних концентрацій завісі на відстані 80-110 м від берега при вітрах різної сили.

5 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ МІНЛИВОСТІ СОЛОНОСТІ ВОД КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ПІД ЧАС НАДХОДЖЕННЯ МОРСЬКИХ ВОД

Оскільки солоність вод Куяльницького лиману визначає характер гідробіологічних та гідрохімічних процесів, що протікають у водній товщі і донних відкладах, то актуальною представляється задача оцінки особливостей її просторово-часової мінливості під час надходження до лиману морської води через штучний сполучний канал або трубопровід.

Для вирішення поставленої задачі використовувався спрощений варіант (без урахування термічного фактору) чисельної тривимірної нестационарної гідродинамічної моделі в постановці [9, 46].

Моделювання виконувалося за гідрометеорологічних умов 2010 р. Використовувалися данні спостережень за напрямом і швидкістю вітру з часовою дискретністю 3 години, отримані на морський гідрометеорологічній станції «Одеса-Порт». При розрахунках, акваторія лиману покривалася горизонтальною розрахунковою сіткою 41×69 вузлів з кроком 250 м. Використовувалися 7 розрахункових рівнів по вертикалі в σ - системі координат. Глибини в лимані задавалися на підставі даних батиметричної зйомки, виконаної влітку 2009 р. при відмітці рівня води в Куяльницькому лимані мінус 6,42 м БС (рис. 5.1) [6].

За початкові умови приймався стан спокою вод, рівень води у лимані мінус 6,42 м БС і однорідна у просторі солоність вод 302,2 ‰, що відповідає значенням рівня і солоності вод, які мали місце наприкінці грудня 2009 р. Солоність морських вод задавалась на підставі осереднених помісячно даних спостережень ГМО «Одеса-Порт» за період 1948-2002 рр. (табл. 5.1).

Моделювалася просторово-часова мінливість рівня і солоності вод Куяльницького лиману, починаючи з 1 січня, за умов надходження до нього морських вод з інтенсивністю 1 і $3 \text{ м}^3/\text{с}$. Враховувалися зміни рівня і солоності води в лимані, які відбувались за рахунок різниці між інтенсивністю атмосферних опадів і випаровування на місячних часових відрізках.

Випаровування з водної поверхні лиману задавалося на основі середніх багаторічних місячних значень, одержаних усереднюванням за період 1960-2007 рр. даних спостережень на метеостанції «Болград», розташованій в Одеській області біля прісноводного озера Ялпуг (табл. 5.2). Оскільки інтенсивність випаровування з водної поверхні солоних водойм значно залежить від концентрації солей, то наведені значення випаровування приводилися до солоності води в лимані, розрахованої за допомогою моделі в кожному вузлі горизонтальної розрахункової сітки, з використанням перерахункових коректуючих множників, приведених в табл. 5.3 [9].

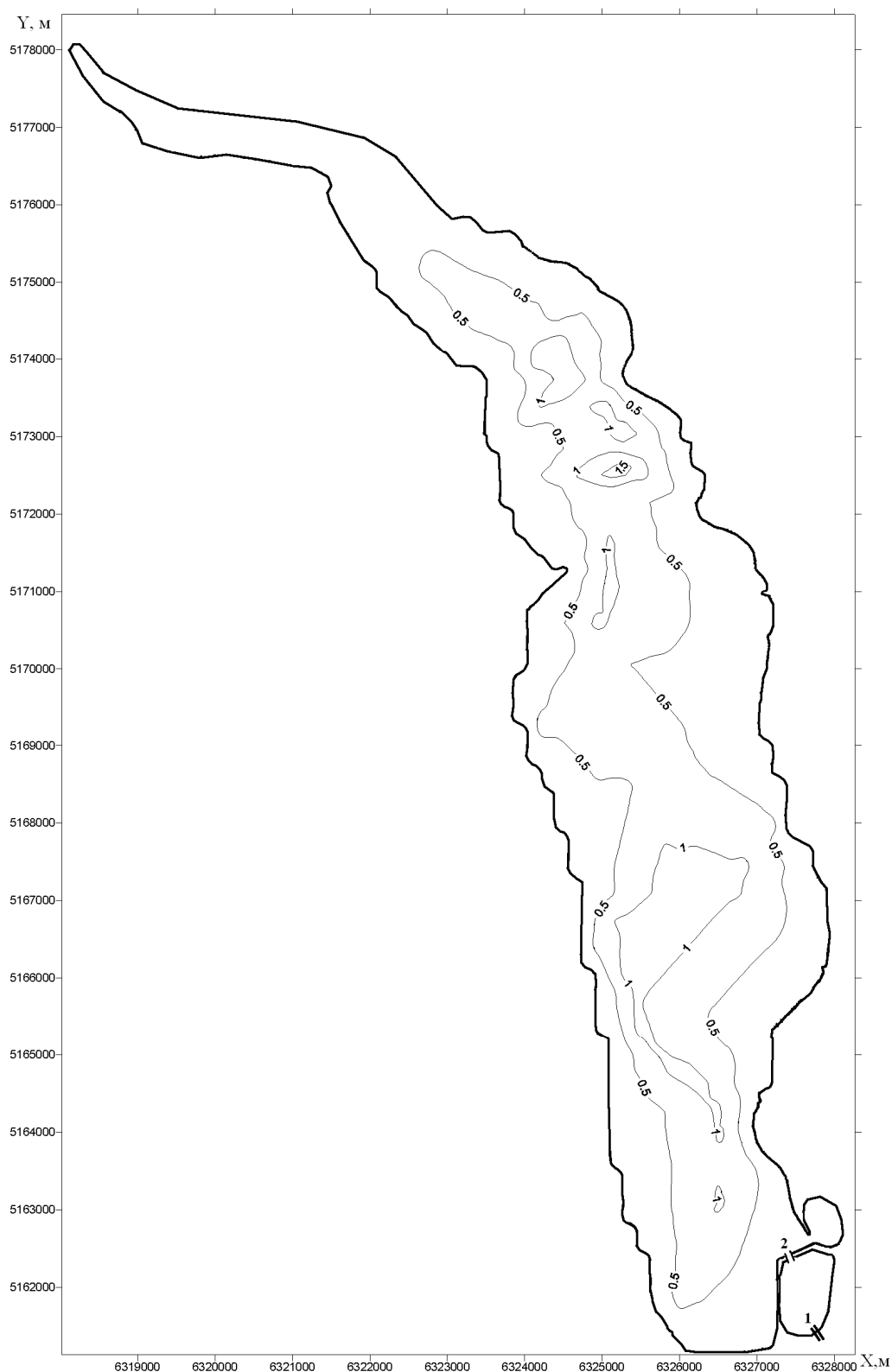


Рисунок 5.1 – Батиметрична карта Куяльницького лиману при відмітці рівня води мінус 6,42 м БС в системі координат WGS-84 (глибини вказані в метрах, позначка 1 – відповідає місцю надходження морських вод до лиману (колишній солевидобувний басейн) через з'єднувальний трубопровід, позначка 2 – місце надходження морських вод до основної частини лиману через проріз у дамбі)

Таблиця 5.1 – Середня місячна солоність поверхневих морських вод за даними ГМС «Одеса-Порт», ‰, за період 1948 – 2002 рр. [47]

Місяць											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
15,05	14,43	13,90	13,09	12,96	14,25	15,74	15,74	15,72	15,27	14,80	15,07

Таблиця 5.2 – Середні багаторічні місячні і річне значення випаровування (E_B , мм) з поверхні прісноводного озера Ялпуг (за даними метеостанції «Болград») [9]

Місяць	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
E_B , мм	42,8	65,7	105,5	131,6	151,5	139,8	96,6	58,2	25,1	9,9	776,7

Таблиця 5.3 – Перехідні коефіцієнти k_S для розрахунку випаровування з поверхні солоних водойм з різною солоністю води S , ‰ [9]

S , ‰	0	10	20	40	60	90	180	260	300	330
k_S	1,00	0,97	0,93	0,87	0,82	0,84	0,66	0,46	0,40	0,28

Вплив атмосферних опадів на рівень і солоність вод лиману враховувався при модельних розрахунках шляхом завдання середніх багаторічних місячних їх сум, розрахованих за даними метеостанції Одесса-ГМО за період з 1894 по 2008 рр. (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Середні багаторічні місячні і річні суми опадів ($\bar{P}_o$, мм) за даними метеостанції «Одеса-ГМО» за період з 1894 по 2008 рр. [6]

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Річні
$\bar{P}_o$, мм	31,2	29,9	26,3	28,1	34,9	47,4	40,2	34,9	35,0	32,6	37,3	33,8	411,6

При моделюванні не враховувалося надходження прісних вод до лиману з боковим припливом та з стоком р. Великий Куяльник.

На рис. 5.2 приведена часова мінливість відмітки рівня води в Куяльницькому лимані отримана при моделюванні за зазначених вище умов. Видно, що при надходженні морських вод до лиману з витратою $3 \text{ м}^3/\text{с}$, його наповнення до відмітки рівня води мінус 5,5 м БС відбувається за 140 діб (у другій половині травня), а при інтенсивності надходження морських вод $1 \text{ м}^3/\text{с}$ підвищення рівня води в лимані відбувається тільки до початку літніх місяців. Влітку надходження морських вод з витратою $1 \text{ м}^3/\text{с}$ компенсується втратами води за рахунок перевищення випаровування над атмосферними опадами.

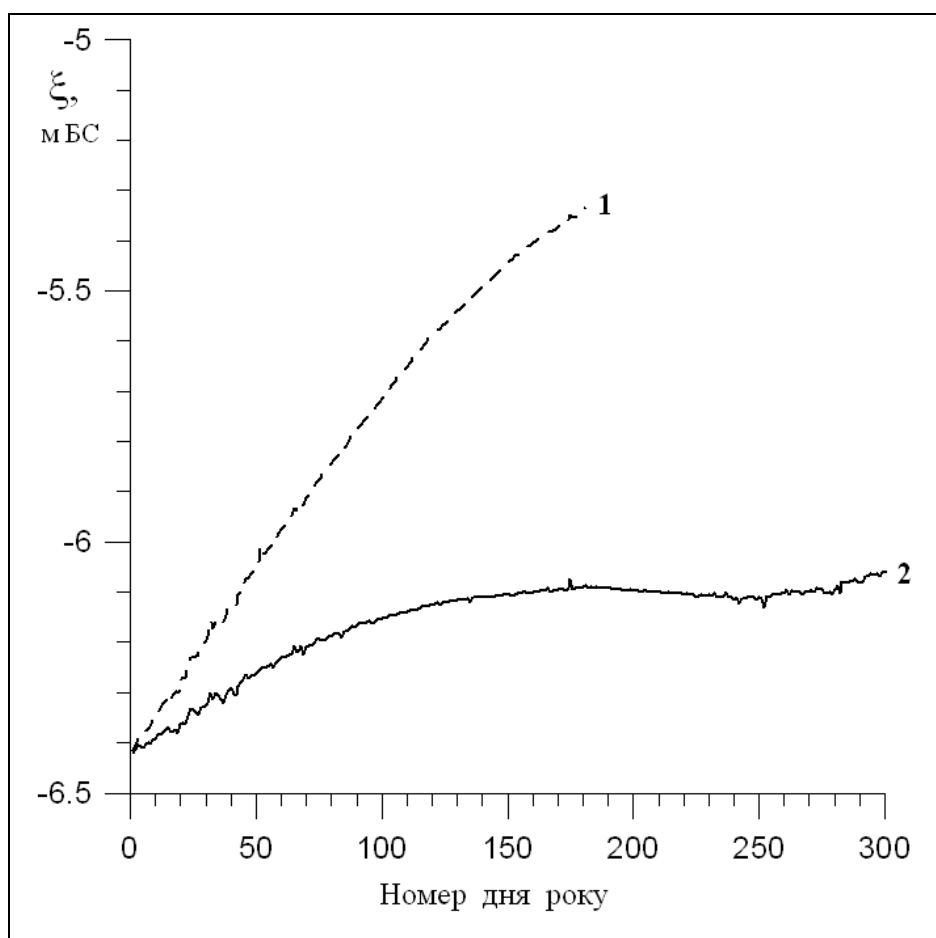


Рисунок 5.2 – Мінливість відмітки рівня води в Куяльницькому лимані, м БС, отримана при моделюванні наповнення його морськими водами через з'єднувальний канал або трубопровід з витратами води: **1** – $3 \text{ м}^3/\text{с}$, **2** – $1 \text{ м}^3/\text{с}$

Результати моделювання часової мінливості просторового розподілу солоності вод в Куяльницькому лимані при надходженні морських вод через з'єднувальний канал або трубопровід з витратами 1 і $3 \text{ м}^3/\text{с}$ приведені на рис. 5.3 та 5.4.

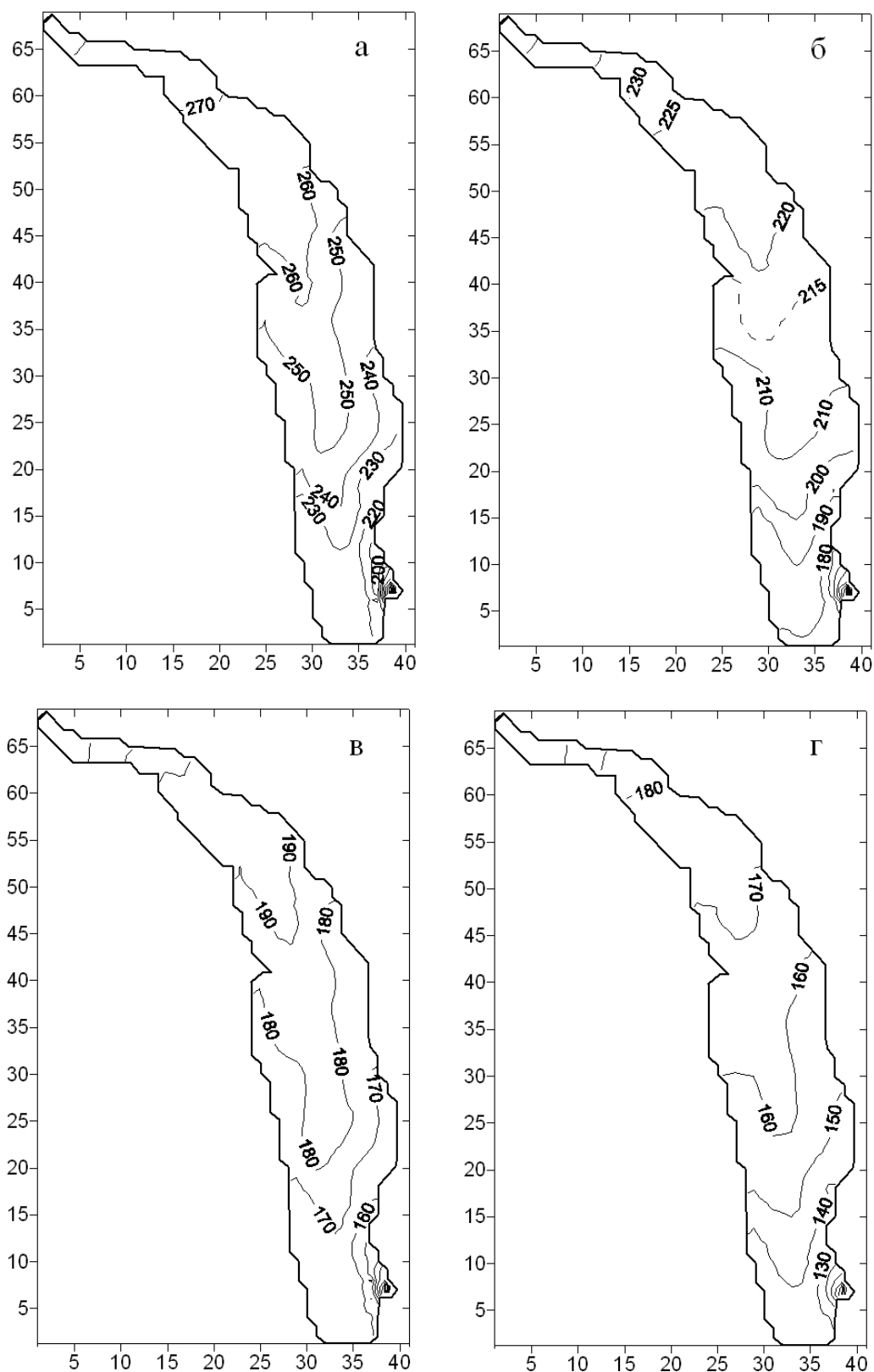


Рисунок 5.3 – Мінливість розподілу солоності вод, ‰, Куяльницького лиману при надходженні морських вод через з'єднувальний канал або трубопровід з витратою води $1 \text{ м}^3/\text{с}$: а – кінець січня; б – лютого; в – березня; г – квітня; д – травня; е – червня; ж – липня; з – серпня; и – вересня; і – жовтня

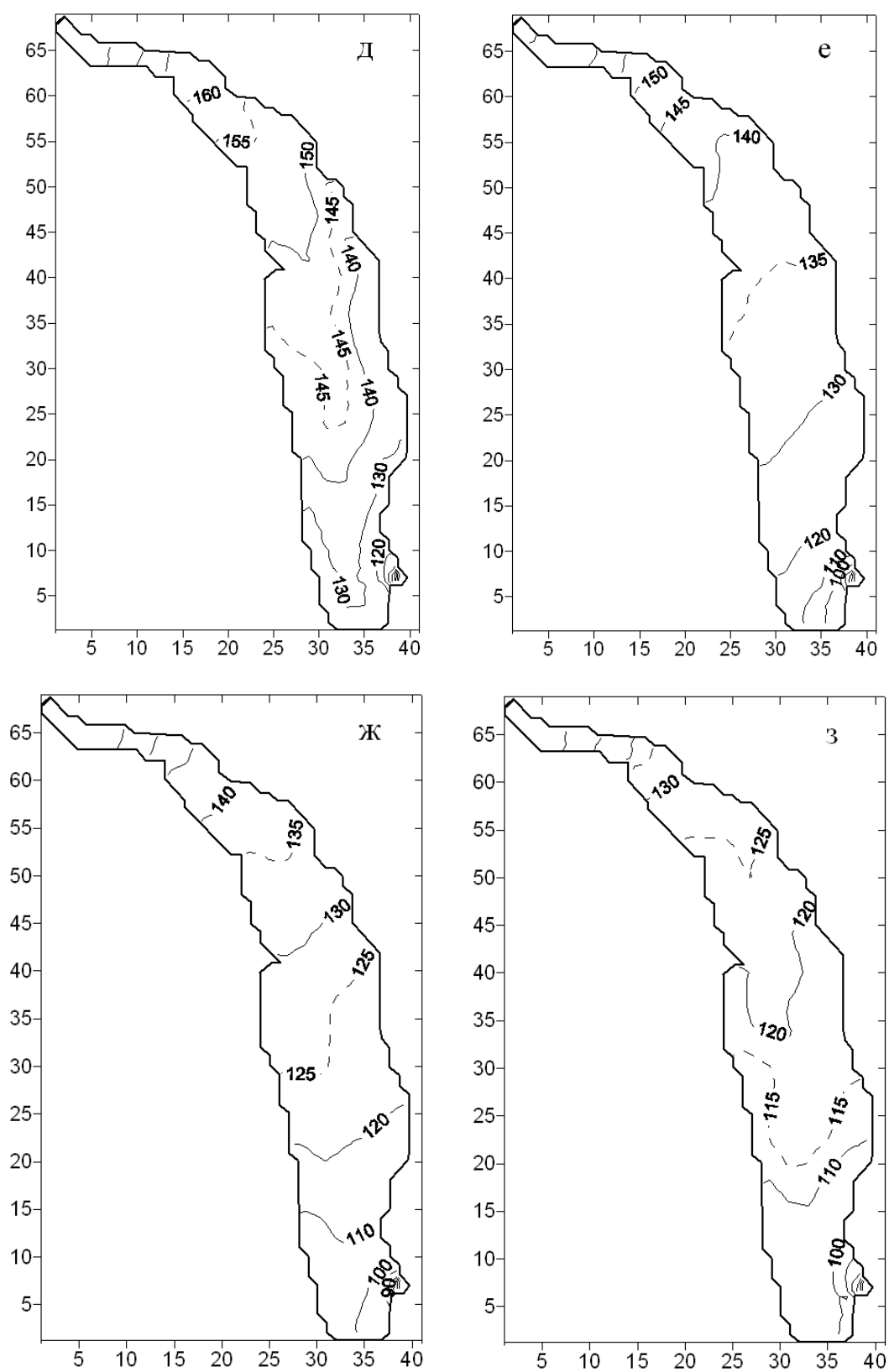


Рисунок 5.3 – Продовження

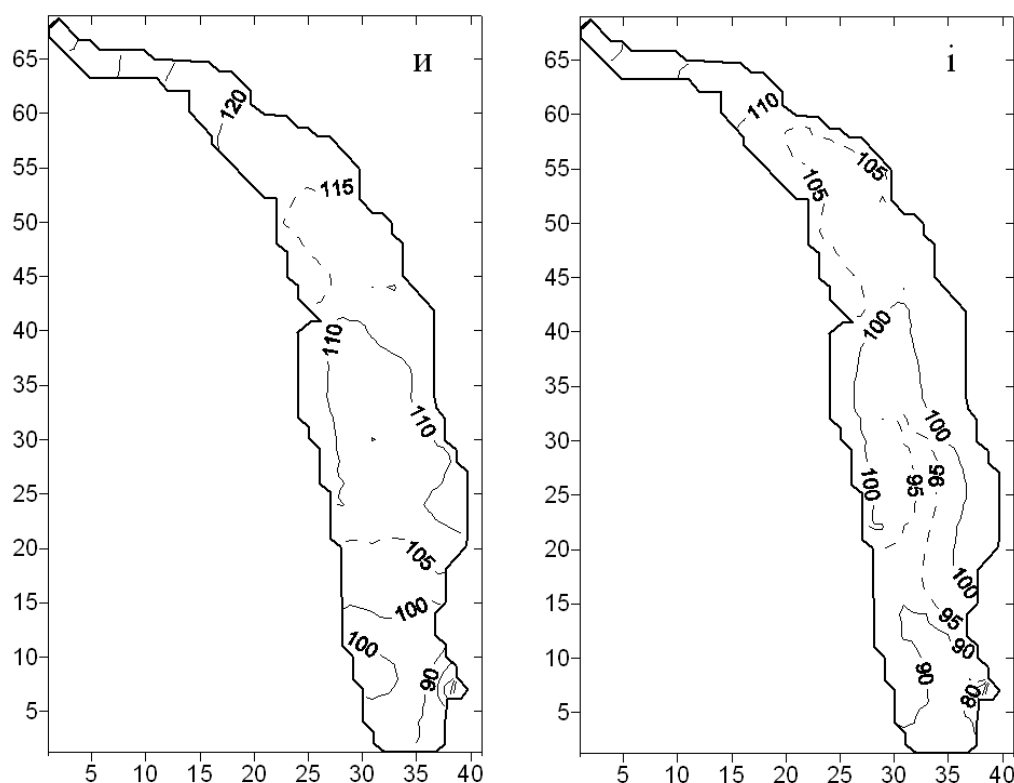


Рисунок 5.3 – Продовження

З рис. 5.3 видно, що при відсутності бокового припливу прісних вод, максимальні значення солоності води в лимані спостерігаються в мілководному верхів'ї лиману.

При надходженні морських вод до лиману з інтенсивністю $1 \text{ м}^3/\text{с}$ різниця між значеннями солоності води в південній і північній частинах основної акваторії лиману, за виключенням його верхів'я, змінюється від 50 ‰ у перші місяці року до 30-40 ‰ – у липні-серпні і до 20 ‰ – наприкінці жовтня.

Діапазон мінливості солоності вод на основній акваторії лиману складає наприкінці травня 120-160 ‰, серпня – 100-130 ‰, жовтня – 80-110 ‰.

При надходженні морських вод до лиману з витратами $3 \text{ м}^3/\text{с}$ різниця між значеннями солоності води в південній і північній частинах основної акваторії лиману, за виключенням його верхів'я, змінюється від 40-50 ‰ у січні-березні до 25 ‰ – наприкінці травня (рис 5.4), коли лиман наповнюється до відмітки мінус 5,5 м БС.

Діапазон мінливості солоності вод на основній акваторії лиману (за виключенням його верхів'я) складає наприкінці травня 75-100 ‰.

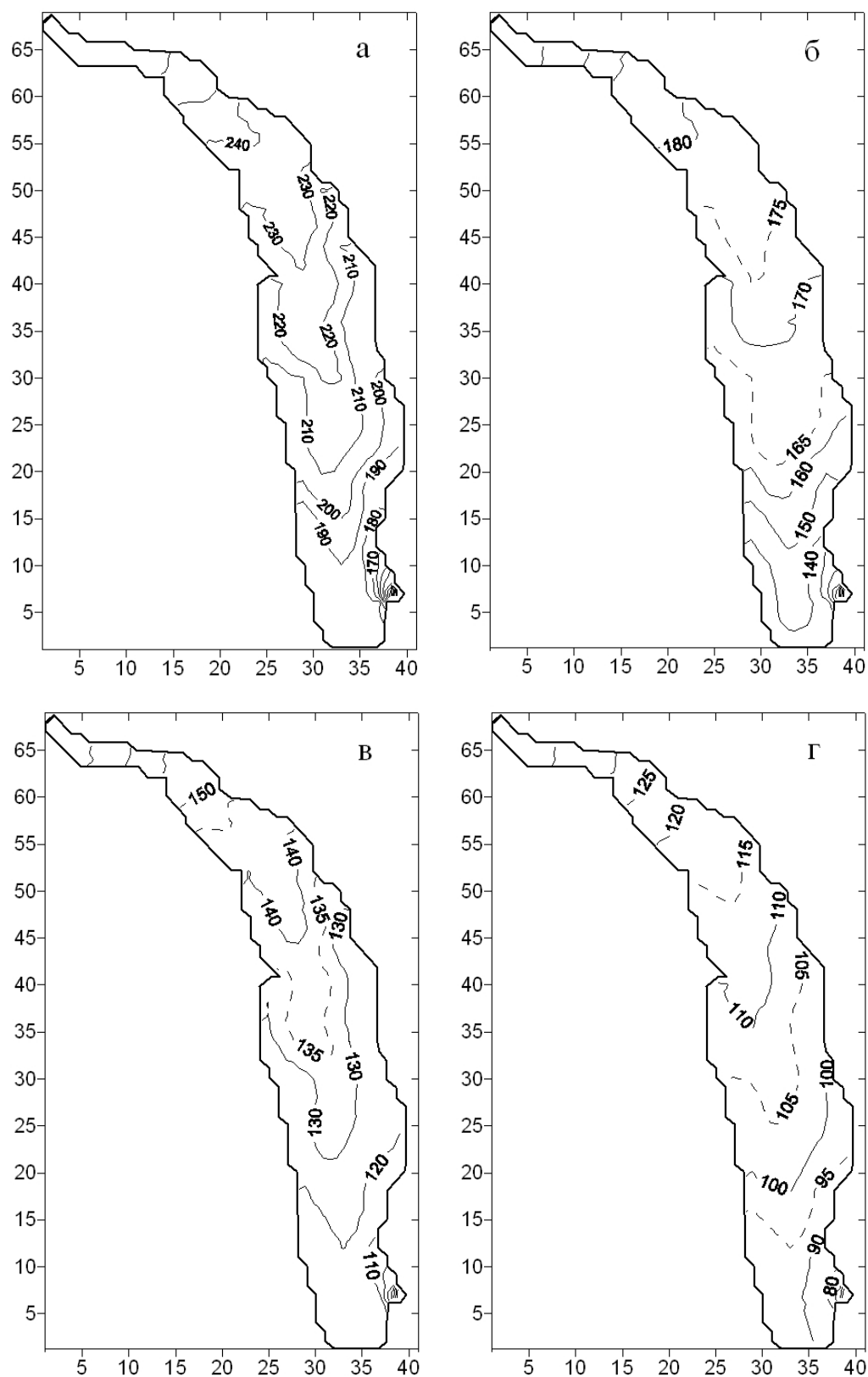


Рисунок 5.4 – Мінливість розподілу солоності вод, ‰, Куяльницького лиману при надходженні морських вод через з'єднувальний канал або трубопровід з витратою води $3 \text{ м}^3/\text{с}$: а – кінець січня; б – лютого; в – березня; г – квітня; д – травня; е – червня

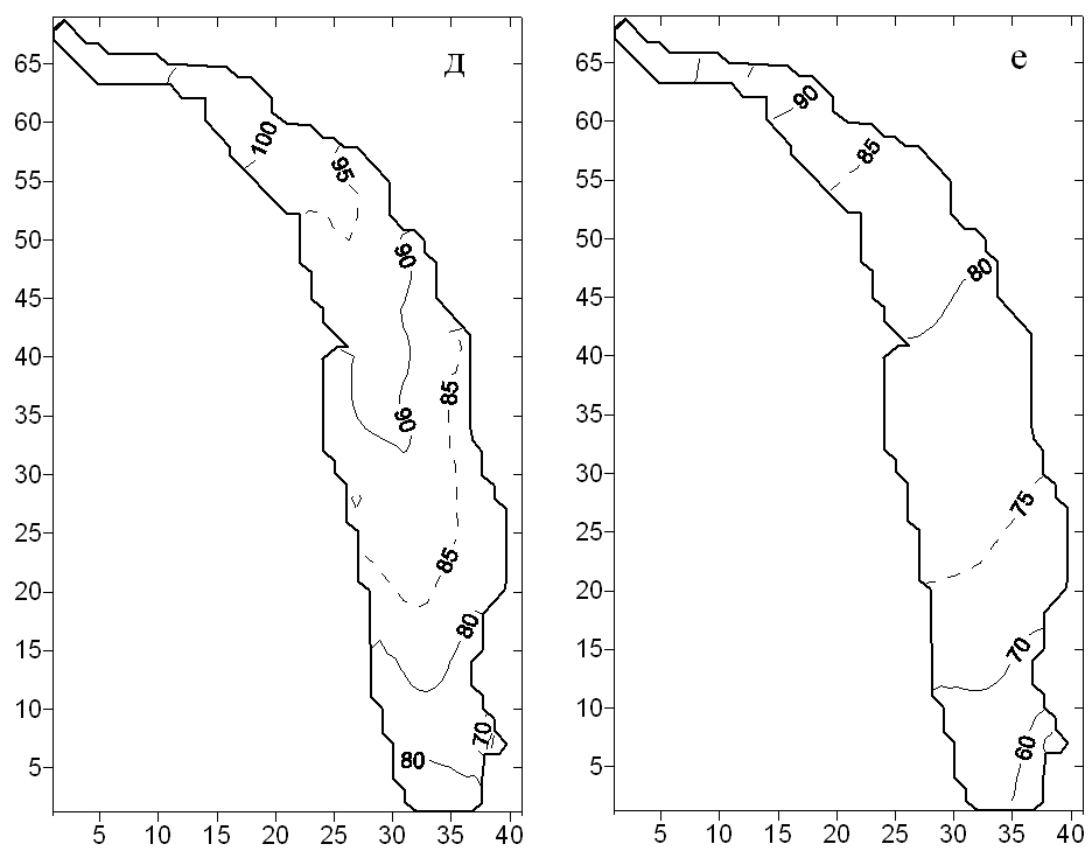


Рисунок 5.4 – Продовження

6 ОЦІНКА ТА ПОРІВНЯННЯ ЯКОСТІ МОРСЬКИХ ТА ЛИМАНИХ (КУЯЛЬНИЦЬКИЙ ЛИМАН) ВОД У СУЧАСНИХ УМОВАХ

6.1 Куяльницький лиман

Гідрохімічний режим закритого Куяльницького лиману визначається природними і антропогенними чинниками: надходженням стоку річки Великий Куяльник, прісних вод та вод з пониженою мінералізацією ($< 5 \text{ ‰}$) із водойм і водотоків пересипу лиману і прилеглих територій, надходженням атмосферних опадів і випаровуванням, фільтрацією морської води через пересип, уклінним і підземним стоком, розвитком внутрішньоводоймних гідробіологічних процесів.

Оскільки підземне живлення і фільтрація вод з моря дуже несуттєві в закритих лиманах [19], а води річки Великий Куяльник зарегульовані, то на формування гідрохімічного режиму основний вплив спричиняє материковий – уклінний стік, атмосферні опади і випаровування (мілководність лиману забезпечує швидкий прогрів водних мас), антропогенний стік з прилеглих територій. Вплив внутрішньоводоймних, гідробіологічних процесів на гідрохімічний режим лиману через нестабільність внутрішньорічного і багаторічного режиму солоності періодично то посилюється, то слабшає. Це пов'язано з тим, що солоність більша 150 ‰ обмежує розвиток флори і фауни в водних екосистемах (верхньою межею розповсюдження тварин вважається солоність близько 220 ‰ , бактерій – близько 300 ‰), при цьому припиняється і процес грязеутворення [48]. Основний компонент біоти лиману – галорезистентний зяброногий рачок *Artemia salina*, здатний до життя в гіпергалинних водоймах, і деякі види мікроводоростей.

Зміни гідрохімічного режиму і морфометричних характеристик лиману, зареєстровані в останні десятиліття, пов'язані зі зміною складових його водного балансу під впливом кліматичних і антропогенних чинників [7, 49, 50]. Відсутність постійного притоку прісних вод і випаровування, величина якого майже в 2 рази перевищує надходження атмосферних опадів ($700\text{--}800 \text{ мм}$ проти 423 мм) [50], кліматичні особливості останнього десятиліття сприяли поступовому зменшенню площі водного дзеркала, осолонінню лиману і перетворенню його в гіпергалинну водойму. Так, максимальна солоність води зафіксована в Куяльницькому лимані за період з 1987 р. по 2009 р. [51], становить 390 ‰ (2009 р.). До початку листопада 2011 р. площа водного дзеркала лиману зменшилась до $28,6 \text{ км}^2$, солоність в південній і центральній частинах стабілізувалася на значенні 318 ‰ [52]. Навіть після інтенсивних паводків і атмосферних опадів солоність води в лимані досить швидко збільшувалася за рахунок вилуджування сотень тисяч тонн солі з

поверхневого шару донних відкладень та прилеглих до узбережжя солончаків, випаровування.

6.1.1 Іонний склад ропи

Дослідження іонного складу ропи Куяльницького лиману (за класифікацією природних вод, води з мінералізацією вище 50 ‰ відносяться до розсолів або ропи [53]) були розпочаті ще в кінці XIX ст. Було встановлено, що в залежності від солоності ропи її іонний склад (концентрації основного аніона хлору і процентне співвідношення до хлору кальцію, магнію, натрію, сульфатів, гідрокарбонатів) значно змінюється [19]. Однак значення хлорного коефіцієнту (відношення кількості солей, які містяться в природній воді, до вмісту хлору) залишається стабільним – 1,55-1,65 (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Відношення основних іонів до хлору для ропи Куяльницького лиману і північно-західної частини Чорного моря [1]

Джерело, рік, місяць	Загальний вміст солей, S, ‰	Cl ⁻ , ‰	% відношення іонів до хлору					Хлорний коефіцієнт, K=S/Cl ⁻
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	
Куяльницький лиман								
Лабораторія гірничого департаменту, 1869, V	257,55	168,48	0,92	20,08	26,10	2,24	-	1,64
Веріго А.А., 1894, VII	79,38	47,71	1,99	8,90	47,79	4,89	-	1,66
Комар І.В., 1921, VII	304,67	195,96	1,83	13,76	37,65	1,82	-	1,55
Бурксер Е.С., 1921, IX	37,37	21,65	2,71	9,59	-	4,85	-	1,62
КНС-Одеса, 1962, IX	294,98	185,13	0,98	10,37	-	1,86	0,10	1,60
Розенгурт М.Ш., 1968, VIII	88,89	83,90	2,10	8,41	-	4,91	0,04	1,65
середнє								1,62
Північно-західна частина Чорного моря								
1968, VIII	17,37	9,54	2,62	6,72	55,02	13,54	1,99	1,82

В роботі [19] показано, що ропи Куяльницького лиману представляє собою метаморфізовану морську воду хлоридно-натрієвого типу. Коефіцієнт

метаморфізації ропи Куяльницького лиману (співвідношення $\text{MgSO}_4/\text{MgCl}_2$, величина, яка характеризує ступінь відхилення сольового складу природних розсолів від нормальної морської води) > 0 і за класифікацією Курнакова-Валяшко вона відноситься до 1 класу розсолів [54]. Для таких розсолів характерно вміст хлоридів натрію і магнію і сульфатів натрію, магнію та кальцію.

При солоності вище 150 ‰ в лимані неодноразово спостерігали процес осідання солі, який супроводжувався випадінням гіпсу (CaSO_4) і тому різким зменшення іонів SO_4^{2-} и Ca^{2+} . Далі, по мірі розбавлення паводковими водами осаджених солей, проходив процес розчинення гіпсу. Але при цьому не увесь гіпс повертався в лиман. В періоди низьких концентрацій солоності води, які сприяють життєдіяльності сульфаторедуруючих бактерій, значна частина гіпсу відновлювалась і перетворювалась в вуглекислий кальцій і сірководень, велика кількість яких скрізь відмічалась в мулових відкладеннях лиману. Відсутність кристалічного гіпсу у грязях було підтверджено численними бальніологічними дослідженнями Е.С. Бурксеро [19, 30].

Гідрохімічні дослідження в 1978-1979 рр. води і порових розчинів донних відкладень в південній частині Куяльницького лиману (Бабинец, Сухоребрий, 1981) [55] також показали, що вона відноситься до хлоридно-натрієвого типу, а за класифікацією Курнакова-Валяшко до I класу розсолів.

Дослідження 2000-2005 рр. [49], коли солоність в лимані коливалася в межах 120-216 ‰, показали, що основними іонами в ропі були: аніони – хлорид, сульфат і бікарбонат; катіони – натрію, магнію і кальцію. У відповідності із складом води лиману, розрахованим за формулою Курлова [56], домінуючими за значеннями іонами, як і в попередні роки, були хлорид-іони; катіонами – натрій і магній. Причому іони хлору в більший мірі врівноважуються катіонами натрію (вміст NaCl порядку 65 ‰), в меншій мірі – магнію (табл. 6.2, рис. 6.1).

Таблиця 6.2 – Основний іонний склад ($\text{г}\cdot\text{дм}^{-3}$ і % від сумарної мінералізації) ропи Куяльницького лиману в 2005 р. (середні значення) [49]

Вміст основних іонів						Сумарна мінералізація, г·дм ⁻³
г·дм ⁻³						
Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	115,73
24,46	1,57	6,34	75,89	3,75	0,27	
% від сумарної мінералізації						
21,8	1,4	5,6	67,6	3,4	0,2	

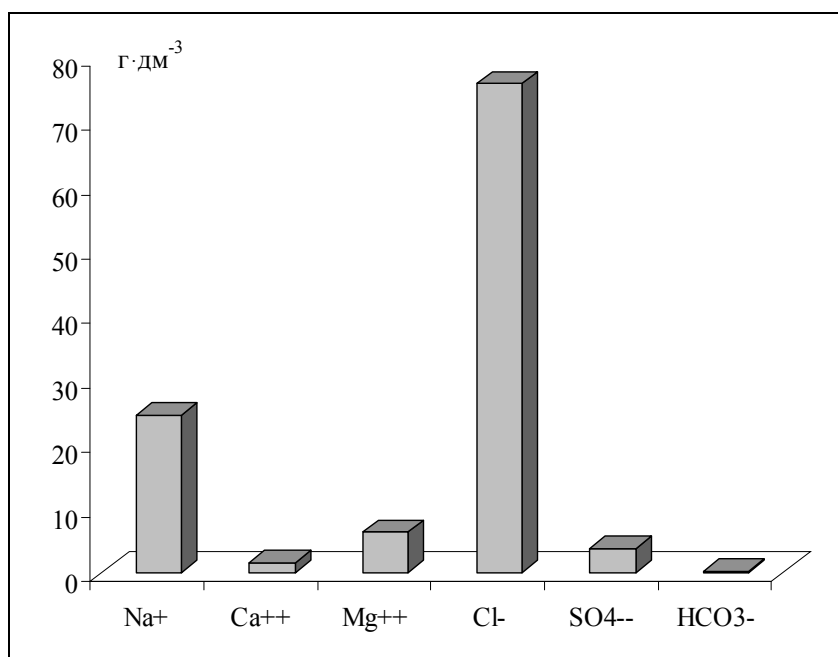


Рисунок 6.1 – Вміст основних іонів в ропі Куяльницького лиману (дані 2005 р.).

За класифікацією О.А. Алекіна [54] ропа Куяльницького лиману також відноситься до розряду хлоридно-натрієвих, де сума гідрокарбонатів і сульфатів у відсотках менша за суми іонів кальцію і магнію, а відсотковий вміст іонів хлору перевищує вміст іонів натрію: $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ або $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$.

З рис. 6.1 видно, що основну масу солей складають хлориди натрію і магнію.

Вміст мікрокомпонентів у воді лиману в 2005 р. коливався в межах: бром – 200-800 мг·дм⁻³, фтору – 0,03-0,25 мг·дм⁻³, бору 9,4-24,2 мг·дм⁻³.

За основним іонним складом і співвідношенням солеутворюючих іонів ропа Куяльницького лиману близька до морських хлоридно-натрієвих вод, на що вказує і середнє багаторічне значення хлорного коефіцієнта Куяльницької води – 1,62 (для Чорного моря – 1,82) [19].

6.1.2 Біогенні речовини

Вміст біогенних речовин – необхідних елементів для розвитку гідробіологічних, продукційних процесів в Куяльницькому лимані, як і у всіх закритих лиманах північно-західного Причорномор'я, підвержений сезонним змінам. Це пов'язано з особливостями гідрологічного і гідробіологічного режиму цих водойм. Максимум концентрацій припадає на зимовий період, а влітку відмічають зниження вмісту мінеральних сполук азоту і фосфору до аналітичного нуля. Так, за даними 1963-1968 рр. [19] концентрації в лимані

змінилися в межах: нітрити – $0-0,15 \text{ мг}\cdot\text{дм}^{-3}$, нітрати – $0-0,65 \text{ мг}\cdot\text{дм}^{-3}$, фосфати – $0-1,8 \text{ мг}\cdot\text{дм}^{-3}$, кремній – $0,6-4,0 \text{ мг}\cdot\text{дм}^{-3}$. Вміст розчиненої органічної речовини (РОР), який визначається за перманганатною окислювальністю, коливався від 0,3 до $7,1 \text{ мгО}\cdot\text{дм}^{-3}$.

Концентрації біогенних речовин в ропі лиману за даними досліджень 1999-2002 рр. також змінювались в широких межах [57]. Було відмічено, що в південній і центральній частинах лиману, куди надходять слабо очищені і неочищені антропогенні стоки, діапазони мінливості і середні концентрації біогенних речовин максимальні (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 – Мінливість вмісту біогенних речовин в акваторії Куяльницького лиману за період 1999-2002 рр.

Показники	Роки			
	1999	2000	2001	2002
Південна частина				
N-NH_4^+ , $\text{мг}\cdot\text{дм}^{-3}$	0,0 – 8,470	0,447 – 1,386	0,439 – 1,220	0,939 – 0,608
N-NO_2^- , -«-	0,003 – 0,009	0,0 – 0,015	0,001 – 0,040	0,021 – 0,027
N-NO_3^- , -«-	0,414 – 1,265	0,115 – 1,012	0,085 – 0,253	0,138 – 0,184
P-PO_4^{3-} , -«-	-	0,053 – 0,241	0,046 – 0,251	0,040 – 0,089
Центральна частина				
N-NH_3^+ , $\text{мг}\cdot\text{дм}^{-3}$	2,156 – 16,170	0,0 – 0,739	0,123 – 0,431	0,193 – 0,354
N-NO_2^- , -«-	0,006 – 0,007	0,002 – 0,021	0,036 – 0,120	0,021 – 0,048
N-NO_3^- , -«-	0,575 – 1,725	0,115 – 1,817	0,115 – 1,863	0,115 – 0,506
P-PO_4^{3-} , -«-	–	0,076 – 0,218	0,053 – 0,370	0,069 – 0,218
Північна частина				
N-NH_3^+ , $\text{мг}\cdot\text{дм}^{-3}$	3,234 – 7,315	0,0 – 3,850	0,146 – 0,770	–
N-NO_2^- , -«-	0,006 – 0,009	0,001 – 0,021	0,012 – 0,060	–
N-NO_3^- , -«-	0,874 – 1,725	0,575 – 0,667	0,184 – 0,713	–
PO_4^{3-} , -«-	–	0,026 – 0,165	0,056 – 0,063	–

Дослідження лиману 2001-2002 рр. [50, 58] також показали значну сезонну мінливість майже всіх гідрохімічних показників, що пов'язано з його нестійким гідрологічним режимом.

Діапазон і середні значення деяких гідрохімічних показників для різних сезонів 2001-2002 рр. наведені в табл. 6.4.

Дослідженнями 2001-2002 рр. було встановлено, що амонійний азот – основна мінеральна форма азоту в лимані. Одним з його джерел в ропі лиману є

процеси життєдіяльності *Artemia salina*. В період масового розвитку артемії, як, наприклад, пізньою осінню 2001 р., в місцях її скупчення вміст амонійного азоту досягав $0,364 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$. Високі концентрації амонійного азоту, які спостерігалися на протязі зимових і весняних місяців, свідчать про активну деструкцію азотовмісних органічних речовин. Пониження концентрації амонійного азоту влітку і осінню обумовлене, головним чином, погіршенням умов мінералізації органічної речовини через різке підвищення солоності і зниження насичення вод лиману киснем.

Таблиця 6.4 – Діапазон и середні значення деяких гідрохімічних показників Куяльницького лиману (2001-2002 рр.) [50]

Показники	Зима	Весна	Літо	Осінь
Солоність, ‰	$\frac{178,9 - 187,5}{179,8}$	$\frac{168,9 - 183,9}{173,9}$	$\frac{189,1 - 265,0}{227,1}$	$\frac{157,5 - 266,4}{221,8}$
O_2 , $\text{мг} \cdot \text{дм}^{-3}$	$\frac{2,3 - 5,73}{5,25}$	$\frac{6,58 - 7,38}{6,98}$	$\frac{2,31 - 3,50}{2,91}$	$\frac{3,02 - 3,46}{3,53}$
N-NH_4^+ , -«-	$\frac{0,123 - 0,246}{0,254}$	$\frac{0,234 - 0,535}{0,385}$	$\frac{0,024 - 0,031}{0,028}$	$\frac{0,007 - 0,364}{0,081}$
N-NO_2^- , -«-	$\frac{0,009 - 0,010}{0,008}$	$\frac{0,002 - 0,009}{0,005}$	$\frac{0,003 - 0,011}{0,007}$	$\frac{0,004 - 0,007}{0,006}$
N-NO_3^- , -«-	$\frac{0,022 - 0,152}{0,106}$	$\frac{0,096 - 0,141}{0,119}$	$\frac{0,015 - 0,062}{0,032}$	$\frac{0,011 - 0,051}{0,022}$
$\text{N}_{\text{орг}}$, -«-	$\frac{3,45 - 17,00}{10,56}$	$\frac{4,38 - 7,47}{5,88}$	$\frac{2,90 - 11,71}{6,78}$	$\frac{2,10 - 6,57}{3,52}$
P-PO_4^{3-} , -«-	$\frac{0,058 - 0,062}{0,054}$	$\frac{0,038 - 0,045}{0,041}$	$\frac{0,078 - 0,317}{0,198}$	$\frac{0,012 - 0,103}{0,050}$
$\text{P}_{\text{орг}}$, -«-	$\frac{0,182 - 0,232}{0,143}$	$\frac{0,032 - 0,040}{0,034}$	$\frac{0,015 - 0,067}{0,041}$	$\frac{0,003 - 0,061}{0,026}$
Si , -«-	$\frac{0,240 - 0,765}{0,754}$	$\frac{1,30 - 1,490}{1,400}$	$\frac{0,891 - 2,010}{1,520}$	$\frac{1,330 - 1,650}{1,510}$
POP , $\text{мгО} \cdot \text{дм}^{-3}$	$\frac{18,22 - 21,78}{21,0}$	$\frac{20,15 - 22,86}{21,52}$	$\frac{18,38 - 28,51}{24,17}$	$\frac{21,45 - 35,44}{25,94}$

Аналіз величин мінеральних і органічних форм фосфору показав, що мінімальні значення фосфатів в лимані приурочені до весняного періоду. Максимальні значення фосфатів спостерігали влітку при високій температурі води. Зимом основною формою фосфору був органічний – показник розкладу і деструкції органічної речовини. В інші пори року відмічали низькі значення

органічного фосфору, що обумовлено високою швидкістю обертання сполук фосфору в водних екосистемах. Така динаміка сполук фосфору добре погоджується як з розвитком фітопланктону і значеннями його первинної продукції, так і з деструкційними процесами, які проходять в лимані.

Сезонна мінливість вмісту азоту органічного в Куяльницькому лимані аналогічна до динаміки, яка була відмічена для фосфору органічного.

Однією з найбільш характерних особливостей сучасних гідрохімічних умов лиману є високий вміст розчиненої органічної речовини, яке у порівнянні з 60-70 рр. минулого століття [19] збільшилось в 4 – 6 разів. Це пов'язано з підвищенням солоності в лимані з 24 – 25 ‰ у 40-50 рр. минулого століття до 100-200 ‰ і більше – в сучасний період, а також низьким ступенем окислення зваженої органічної речовини. Накопичення зваженої органічної речовини в воді лиманів з високою мінералізацією призводить до її седиментації і депонуванню в донних відкладеннях, де проходять складні біохімічні процеси перетворення органічної речовини у лікувальні грязі [59, 60].

Як правило, у воді лиману, при солоності більше 150 ‰, відмічали відносно низький вміст розчиненого кисню. Це пов'язано як з його низькою розчинністю при надвисокій солоності, так і з незначною кількістю фітопланктону – його основного продуцента. Так, в 2001-2002 рр. максимальне значення вмісту кисню ($7,38 \text{ мгО}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$) було зафіксоване навесні 2002 р. при температурі ропи $10,5 \text{ }^\circ\text{C}$ і максимальній величині первинної продукції фітопланктону – $2,68 \text{ мгО}_2 \cdot \text{дм}^{-3} \cdot \text{д}^{-1}$. Мінімальне значення кисню відмічали у серпні при температурі води $31,4 \text{ }^\circ\text{C}$ і солоності 227,1 ‰ [50, 58].

6.1.3 Забруднюючі речовини

Близькість розташування об'єктів енергетичного і нафтоперевального комплексів, транспортних магістралей, скид неочищених стічних, зливних і талих вод, водотоків антропогенного походження, фільтрація ґрунтових вод призвели до забруднення акваторії Куяльницького лиману. В останні десятиріччя в ропі лиману, особливо в його південній частині, реєструються високі концентрації забруднюючих речовин – нафтопродуктів, важких металів та інш. [50, 61, 62]. Основними постійними джерелами забруднення акваторії лиману є: залізниця та її пропарочно-промивочна станція з ставками-отстійниками і ставком-випаровувачем, стихійні звалища побутових і промислових відходів на берегах лиману, біологічно неочищені або недоочищені господарсько-побутові і промислові стоки.

Рівень забруднення акваторії лиману вуглеводами нафти в 1999-2001 рр. змінювався в межах $10\text{-}70 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$, досягаючи максимальних значень $170\text{-}200 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$ (рис. 6.2).

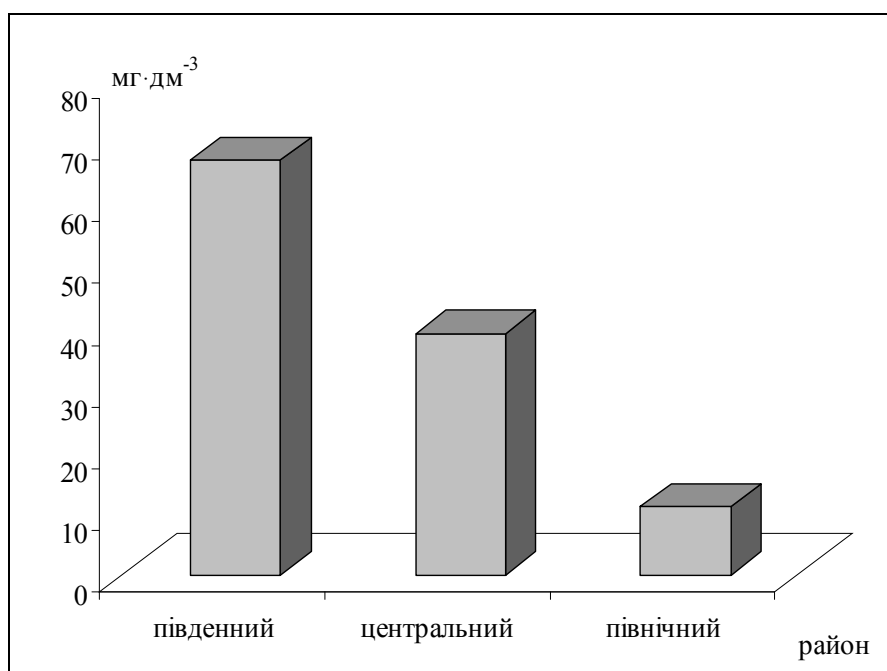


Рис. 6.2 – Зміни концентрації нафтопродуктів на акваторії Куяльницького лиману в 1999-2001 рр. (середні значення)

Концентрації важких металів в цей же період змінювались в наступних діапазонах: мідь – 10-92 мкг·дм⁻³, свинець – 6,9-20,0 мг·дм⁻³, кадмій – 0,1-0,2 мг·дм⁻³, цинк – 39-55 мг·дм⁻³, хром – 4,1-9,6 мг·дм⁻³ [61]. Подальші (до 2008 р.) дослідження ропи і донних відкладень лиману щодо вмісту свинцю [62] показали зміну його концентрації в воді в межах 2,2-87 мкг·дм⁻³ (ГДК = 30 мкг·дм⁻³), в донних відкладеннях – 4-43 мг·кг⁻¹. Це свідчить про міграції цього металу з ропи в донні відкладення і акумуляцію в них.

Результати моніторингу екосистеми лиману в період 1999-2011 рр. показали [52], що в ропі лиману і воді сполучних водойм реєструється перевищення ГДК по нафтопродуктам і продуктам їх окислення (формальдегід і феноли), а також високий рівень вмісту металів – ванадію, свинцю і кадмію.

6.1.4 Порові розчини донних відкладень

Донні відкладення лиману представляють собою потужні запаси лікувальної «грязі» (пелоїдів), в яких проходять специфічні хімічні і бактеріальні процеси, що спричиняють вплив на якість вод лиману через його мілководність.

Пелоїди лиману містять значний запас основних аніонів (хлоридів,

сульфатів, гідрокарбонатів і карбонатів) та катіонів (натрію, калію, кальцію і магнію) ропи, концентрації яких помітно змінюються в залежності від величини її солоності. За класифікацією Курнакова-Валяшко порові розчини пелоїдів Куяльницького лиману, також як і ропи лиману, відносяться до I класу, де сульфату магнію більше ніж сульфату кальцію і їхній коефіцієнт метаморфізації > 0 [55, 63].

Аналіз даних за вмістом мінеральних і органічних речовин в порових розчинах пелоїдів лиману показав, що концентрації мінерального і органічного фосфору, мінеральних сполук азоту в них на один-два порядки вище, ніж в ропі; органічного азоту і розчиненої органічної речовини – вище в 2-3 рази [50] (табл. 6.5).

Таблиця 6.5 – Характеристика порових вод донних відкладень Куяльницького лиману у 2002 р. [50]

Показник	діапазон середні значення
$N-NH_4^+$, мг·дм ⁻³	$\frac{3,0 - 15,1}{7,39}$
$N-NO_2^-$, -«-	$\frac{0,02 - 0,10}{0,05}$
$N-NO_3^-$, -«-	$\frac{1,0-3,7}{2,2}$
N_{ORG} , -«-	$\frac{4,6 - 7,8}{13,9}$
$P-PO_4^{3-}$, -«-	$\frac{0,3 - 6,6}{2,5}$
P_{ORG} , -«-	$\frac{0,3 - 3,6}{1,5}$
Si , -«-	$\frac{5,1 - 12,6}{8,0}$
POP , мгО·дм ⁻³	$\frac{38,4 - 125,2}{71,3}$

Це свідчить про інтенсивне накопичення і слабку мінералізацію органічної речовини, як в ропі, так і в пелоїдах. Така ситуація, в цілому, типова для гіперсолоних водойм, в яких перевищення продукції над деструкцією веде до накопичення автохтонної органічної речовини [58].

Вміст в порових розчинах пелоїдів Куяльницького лиману органічної речовини, мінеральних і органічних сполук азоту і фосфору в середньому на порядок перевищує значення в інших лиманах Північного Причорномор'я.

6.1.5 Узагальнення результатів та висновки

За своїм іонним складом ропи Куяльницького лиману відноситься до хлоридно-натрієвої. Це метаморфізована морська вода з коефіцієнтом метаморфізації > 0 . За класифікацією Курнакова-Валяшко вона відноситься до 1 класу розсолів, для яких характерна наявність хлоридів натрію і магнію, сульфатів натрію, магнію і кальцію.

Співвідношення солеутворюючих іонів в воді лиману близьке до чорноморських вод: хлорний коефіцієнт Куяльницької води – 1,62, чорноморської – 1,82.

При солоності > 150 ‰ в лимані неодноразово спостерігали процес осідання солі, який супроводжувався різким зменшенням іонів SO_4^{2-} і Ca^{2+} і випадінням гіпсу (CaSO_4).

По мірі розведення прісними водами солей, що осіли, відбувалося розчинення гіпсу, який не увесь повертався до лиману, так як в періоди низьких концентрацій солоності вод, які сприяють життєдіяльності сульфат-редуючих бактерій, значна частина гіпсу відновлювалась і перетворювалась в вуглекислий кальцій і сірководень, велика кількість яких скрізь відмічена в мулових відкладеннях лиману.

В ропі лиману при солоності більше 150 ‰ відмічали низький вміст розчиненого кисню, що пов'язано як з його пониженою розчинністю при надвисокій солоності, так і з незначною кількістю мікробіодоростей – його основного продуцента.

Міжрічна і сезонна мінливість концентрацій біогенних речовин в ропі (необхідних елементів для розвитку гідробіологічних, продукційних процесів) варіювала в широкому інтервалі. Найбільший діапазон коливань і максимальні концентрації біогенних речовин спостерігались в південній і центральній частинах лиману.

В ропі лиману відмічали високі концентрації амонійного азоту, сполук фосфору і розчиненої органічної речовини, концентрації якої, у порівнянні з 1960-1970 рр. минулого сторіччя, збільшились в 4-6 рази, що пов'язано з низьким ступенем розкладання органічної речовини.

В ропі лиману (особливо в його південній частині) реєстрували високі концентрації забруднюючих речовин: нафтопродуктів і продуктів їх окислення (формальдегід, феноли), важких металів (мідь, свинець, кадмій, цинк, хром, ванадій) та інш. Концентрації нафтопродуктів і свинцю в окремих випадках перевищували ГДК в декілька разів.

Донні відкладення лиману (пелоїди) спричиняють вплив на якість його ропи, що пов'язано з мілководністю лиману і дифузією мінеральних і органічних сполук на межі вода – донні відкладення за рахунок значних

градієнтів концентрацій.

Пелоїди лиману місять значний запас основних аніонів (хлоридів, сульфатів) і катіонів (натрію, кальцію і магнію) ропи. За класифікацією Курнакова-Валяшко порові розчини пелоїдів лиману, також як і ропа, відносяться до I класу, де сульфатів магнію більше ніж сульфатів кальцію, коефіцієнт метаморфізації > 0 .

Концентрації органічної речовини, мінеральних і органічних сполук азоту і фосфору в порових розчинах пелоїдів на один-два порядки вище, ніж в ропі лиману і перевищують значення для інших лиманів Північного Причорномор'я.

6.2 Одеський регіон північно-західної частини Чорного моря

Якість вод Одеського регіону північно-західної частини Чорного моря (ПнЗЧМ), з якого пропонується подача води в Куяльницький лиман, формується під впливом природних і антропогенних чинників: водообміну з відкритою частиною моря, надходженням в регіон трансформованих водних мас з Дніпровсько-Бузького і Дністровського лиманів, теригенного і дренажного стоків, атмосферних опади, особливостей гідрологічного режиму, розвитку продукційно-деструкційних процесів.

У зв'язку з тим, що полігон «Одеський регіон» охоплює прибережну акваторію ПнЗЧМ від гирла Сухого лиману до гирла Малого Аджалицького (Григорівського) лиману, а ізобата 20 м розташована на відстані 3 км від берегової смуги, вплив берегових антропогенних джерел на якість вод цієї акваторії дуже значний. Основними джерелами біогенних і забруднюючих речовин в цьому районі, окрім стоку річок, є комунально-побутові і промислові стоки з мегаполіса Одеса (самого великого на берегах Чорного моря), теригенний и дренажний стокі, а також атмосферні опади.

6.2.1 Іонний склад води

Одеський регіон знаходиться під впливом трансформованих річних вод і по мірі опріснення цієї частини моря проходить не тільки зменшення вмісту в воді окремих іонів, а й зміна у співвідношеннях цих величин. Це обумовлено різним хімічним (сольовим) складом морських і річкових вод: перші з них являються хлоридно-натрієвими, другі – гідрокарбонатно-кальцієвими.

Іонний склад морської води Одеського регіону (табл. 6.6) помітно відрізняється від іонного складу ропи Куяльницького лиману.

Таблиця 6.6 – Діапазон мінливості іонного складу вод Одеської затоки [65]

Вміст основних іонів, мг·дм ⁻³					Солоність, ‰
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	
216-375	371-580	2246-9586	1000-1400	101-169	5,5-17,8

6.2.2 Біогенні речовини

Районування ПнЗЧМ за гідрофізичними і гідрохімічними показниками встановило, що вміст біогенних речовин в водах Одеського регіону значно вище, ніж в центральному районі цієї акваторії [64-68] і коливається у великих межах (табл. 6.7).

Таблиця 6.7 – Межі коливань і середні значення мінеральних і органічних речовин в різних районах ПнЗЧМ

Райони	N-NH ₄ ⁺	N- NO ₃ ⁻	N _{ОРГ}	P-PO ₄ ³⁻	P _{ОРГ}	Si
	мг·дм ⁻³					
1980–1995 pp. [67]						
Одеський	<u>0–0,89</u> 0,085	<u>0–0,22</u> 0,015	<u>0,03–1,49</u> 0,46	<u>0–0,180</u> 0,025	0,027	<u>0,1–9,15</u> 0,81
Центральний	<u>0–0,12</u> 0,018	<u>0–0,08</u> 0,010	<u>0–0,94</u> 0,38	<u>0–0,040</u> 0,010	0,009	0,40
1989–1999 pp. [68]						
Одеський	<u>0,01–1,60</u> 0,012	<u>0–1,15</u> 0,055	<u>0–3,62</u> 0,62	<u>0–0,382</u> 0,019	<u>0–0,261</u> 0,026	-
2005–2010 pp. матеріали ОФ ІнБІМ						
Одеський	<u>0,0–0,44</u> 0,092	<u>0–1,31</u> 0,056	<u>0,23–1,64</u> 0,65	<u>0–0,050</u> 0,011	<u>0–0,073</u> 0,017	<u>0,73–1,87</u> 1,29

Це обумовлено впливом природних і антропогенних джерел, а також особливостями гідрологічного режиму регіону – надходженням навесні вздовж північного берега великої кількості аллохтонних органічних і мінеральних речовин з язиком розпріснених вод з Дніпровсько-Бузького лиману, а також виносу біогенних речовин з придонного шару в фотичний в результаті прибережного вітрового апвелінгу в пізновесняний і літний періоди року. Сезонний розвиток біологічних процесів, пов'язаний з вживанням біогенних речовин і утворенням нової автохтонної органічної речовини, сприяє зниженню концентрацій біогенних речовин в районі в теплий період року. Однак

деструкція відмерлої органічної речовини і її накопичення в придонному шарі і донних відкладеннях призводить до утворення мінеральних сполук азоту і фосфору, які знову залучаються до біотичного круговороту. Для вод Одеського регіону характерно як щорічне «цвітіння» води, яке викликається масовим розвитком фітопланктону, так і утворення придонної гіпоксії [67]. Розвиток придонної гіпоксії в районі, як правило, починається вже на початку літа на мілководдях, за умов відсутності густинної стратифікації, і обумовлено накопиченням і мінералізацією відмерлої органічної речовини, як автохтонного, так і привнесеного з Дніпровсько-Бузької естуарної області. В кінці літа (серпень - вересень) придонну гіпоксію відмічають вже на більших глибинах (≥ 20 м) при густинній стратифікації вод.

Інтегральна оцінка якості водного середовища Одеського регіону за індексом евтрофікації (E-TRIX) за 1989-1999 рр. показала, що E-TRIX для прибережних станцій регіону з глибинами 10-15 м становить 6,05, а для мористих, з глибинами > 20 м, – 6,02 [69]. Значення E-TRIX, яке перевищують 6, характерні для вод з високим рівнем трофності, для яких характерні значні концентрації біогенних речовин, низька прозорість, можливе виникнення придонної гіпоксії.

Аналіз результатів моніторингу 2006-2010 рр., який проводив ОФ ІнБПМ, показав, що діапазон значень біогенних речовин, у порівнянні з 1990 рр., дещо знизився, але концентрації нітратів, фосфатів залишаються досить високими, а концентрації амонійного азоту навіть збільшилися (рис. 6.3).

Як і в минулі роки, стало високі концентрації біогенних речовин забезпечують високий трофічний рівень вод району. Основною формою азоту в екосистемі, як і в минулі роки, залишається органічний азот, вміст якого на порядок і більше перевищує суму мінеральних форм азоту, що є показником евтрофування вод.

Результати щотижневого (березень 2009 р. – жовтень 2010 р.) гідрохімічного моніторингу прибережної зони Одеської затоки (мис Ланжерон) (табл. 6.8) також свідчать про значну мінливість всіх гідрологічних і гідрохімічних параметрів [70].

Це пов'язано як з надходженням мінеральних і органічних сполук азоту і фосфору в район з природними і антропогенними джерелами, так і з кліматичними особливостями року і швидкістю розвитку продукційно-деструкційних процесів в прибережжі.

Слід зазначити, що за період проведення моніторингу не було відмічено аномально високих концентрацій біогенних речовин, що можна пояснити їх утилізацією фітопланктоном та великою динамікою вод поблизу мису Ланжерон.

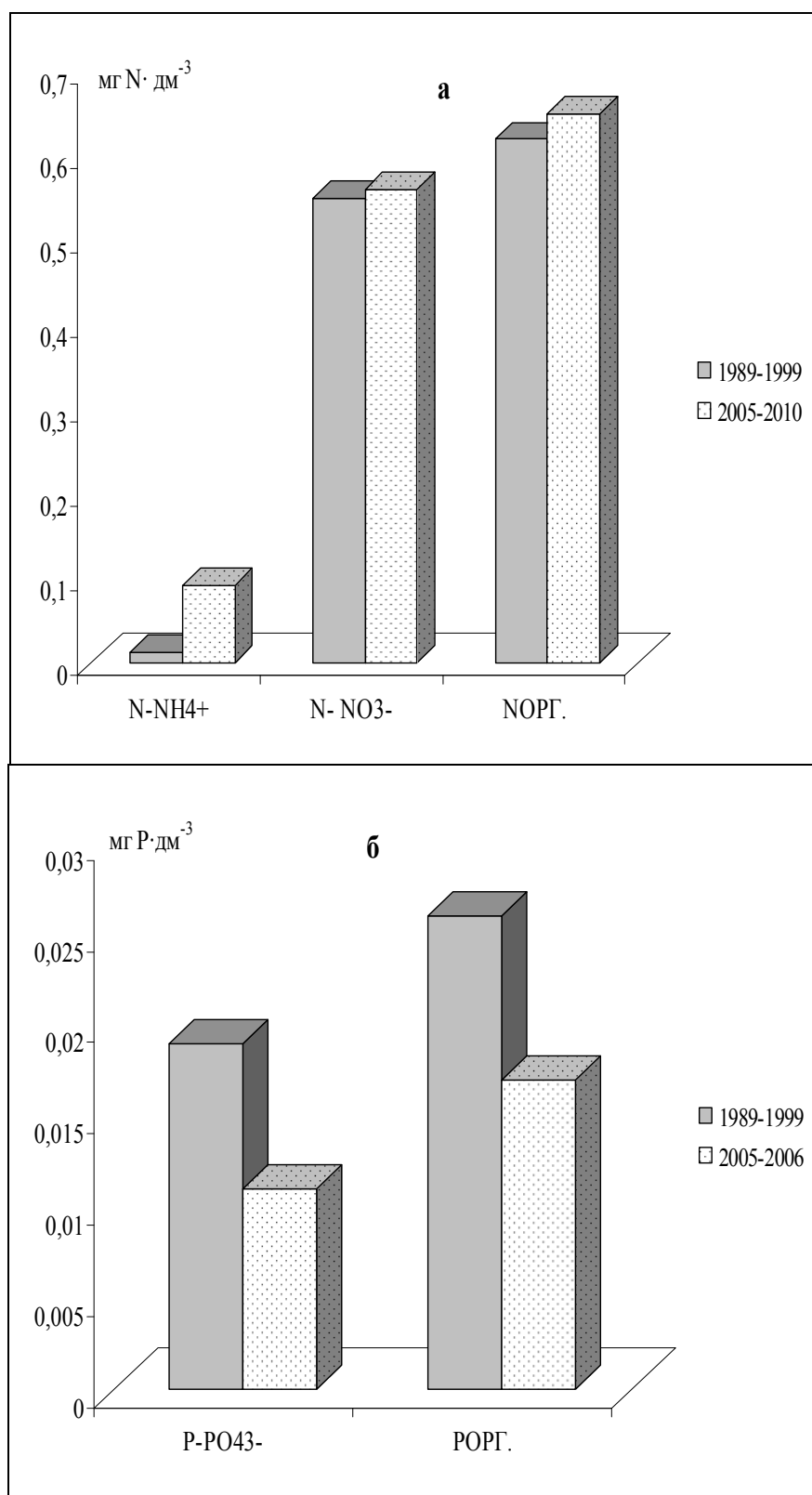


Рисунок 6.3 – Багаторічна мінливість сполук азоту (а) і фосфору (б) (середні значення в Одеському регіоні ПнЗЧМ)

Таблиця 6.8 – Діапазон мінливості і середні значення деяких гідрохімічних показників в районі мису Ланжерон (березень 2009 р. – жовтень 2010 р.)

Показник	Роки
	2009-2010 рр.
S, ‰	<u>5,5-17,4</u> 13,5
POB, мгО·дм ⁻³	<u>0,68-8,05</u> 3,11
N-NH ₄ ⁺ , мг·дм ⁻³	<u>0-0,096</u> 0,022
N-NO ₂ ⁻ , мг·дм ⁻³	<u>0-0,060</u> 0,007
N-NO ₃ ⁻ , мг·дм ⁻³	<u>0,002-0,256</u> 0,047
N _{ОРГ} , мг·дм ⁻³	<u>0,10-4,92</u> 1,11
P-PO ₄ ³⁻ , мг·дм ⁻³	<u>0-0,047</u> 0,015
P _{ОРГ} , мг·дм ⁻³	<u>0-0,065</u> 0,017
Si, мг·дм ⁻³	<u>0,09-3,22</u> 1,41

Середні значення і діапазон мінливості концентрацій мінеральних форм азоту в районі м. Ланжерон, у порівнянні з водами Одеського регіону, були меншими, а органічних сполук азоту і кремнію – більшими. Це може бути пов'язано з активним розвитком продукційно-деструкційних процесів в районі мису.

6.2.3 Забруднюючі речовини

Формування забруднення акваторії Одеського регіону проходить під впливом, з одного боку, основного вздовжберегового потоку, який містить забруднюючі речовини, привнесені з Дніпровсько-Бузької естуарної області, з іншого боку – місцевих джерел (промислових і побутових стоків міст Одеси і Іллічівська, а також Одеського, Південного і Іллічівського портів). Характер як

вітрової, так і термохалинної циркуляції, в якій мають місце коловороти над Одеською котловиною, безсумнівно, перешкоджає виносу забруднюючих речовин, наприклад, нафтопродуктів за межі акваторії і сприяє поступовому їх накопиченню у донних відкладеннях регіону [71].

За матеріалами досліджень 1988-1999 рр. встановлено, що в водах Одеського регіону важкі метали в основному знаходяться в зваженій формі, а середній вміст розчиненої форми важких металів – Cu, Zn, Ni, Cd за ці роки не перевищував ГДК. Тільки в окремих випадках (83 рази для Cu, 60 разів для Zn, 8 разів для Ni і 2 рази для Cd) відмічали перевищення ГДК [72].

Слід зазначити, що за два останні десятиріччя в водах Одеського регіону спостерігається стала тенденція до зниження рівня нафтового забруднення. Так, якщо середній вміст нафтопродуктів за період 1975-1977 рр. в поверхневому шарі становив 10-18 ГДК, то в 1986 р. середня концентрація нафтопродуктів в поверхневому шарі знизилась до 2,5 ГДК [72]. В подальшому, в 1988-1999 рр., вміст нафтопродуктів в поверхневих водах регіону знизився до 1-1,5 ГДК, в придонних – до 0,8-1,0 ГДК [73]. Найбільш забрудненими були райони суднохідних трас, якірних стоянок і скидів стічних вод. Дослідження 2005 – 2007 рр. показали, що вміст нафтопродуктів в поверхневих водах регіону складає 0,2–0,8 ГДК. Перевищення ГДК відмічали тільки в зоні суднохідного каналу Одеського порту і в районах скиду стічних вод СБО «Північна» і «Південна» [73].

В даний час, згідно з даними Державної екологічної інспекції охорони середовища північно-західного регіону Чорного моря, вміст нафтопродуктів у пляжній зоні Одеси не перевищує ГДК.

6.2.4 Узагальнення результатів та висновки

Іонний склад водних мас Одеського регіону зазнає значних змін – по мірі опріснення цієї частини моря проходить зменшення вмісту в воді окремих іонів, змінюються їх співвідношення, що обумовлене різним сольовим складом морських (хлоридно-натрієвих) і річкових (карбонатно-кальцієвих) вод.

Рівень біогенних речовин в регіоні досить високий, що обумовлено впливом природних і антропогенних джерел, а також особливостями гідрологічного режиму регіону.

Індекс евтрофікації E-TRIX для Одеського регіону (1989-1999 рр.) становив: у поверхневому шарі прибережних станцій (глибина 10-15 м) – 6,05, мористих (глибина > 20 м) – 6,02. Такі значення характерні для вод з високим вмістом біогенних речовин, низькою прозорістю і можливістю виникнення придонної гіпоксії.

В 1988-1999 рр. у водах Одеського регіону відмічали наявність важких металів (Cu, Zn, Ni, Cd) і нафтопродуктів. Середній вміст важких металів в ці роки не перевищував ГДК, а вміст нафтопродуктів в поверхневих водах складав 1-1,5 ГДК, в придонних – 0,8-1,0 ГДК. Найбільш забрудненими нафтопродуктами були райони суднохідних трас, якірних стоянок і скидів стічних вод. В 2005-2007 рр. середнє значення вмісту нафтопродуктів в поверхневих водах становило 0,2-0,8 ГДК.

В даний час, згідно з даними Державної екологічної інспекції охорони середовища північно-західного регіону Чорного моря, вміст нафтопродуктів у пляжній зоні м. Одеси не перевищує ГДК.

6.3 Порівняльна характеристика якості водного середовища Куяльницького лиману і Одеського регіону Чорного моря

Ропи Куяльницького лиману (метаморфізована морська вода) і води Одеського регіону Чорного моря відносяться до хлоридно-натрієвих вод. Значні відмінності в солоності води цих акваторій (максимальна солоність в поверхневому шарі Одеського регіону 17,8 ‰, а в Куяльницькому лимані – більше 300 ‰) відображаються на вмісті головних іонів: аніонів – хлору, сульфатів, карбонатів і гідрокарбонатів; катіонів – натрію, кальцію і магнію (табл. 6.9).

Для ропи Куяльницького лиману характерні значні багаторічні і сезонні коливання іонного складу, що пов'язано з підвищеннями солоності, які спричинені порушенням водного балансу екосистеми і кліматичними особливостями останніх років. Для вод Одеського регіону ці коливання мають сезонний характер і пов'язані з надходженням річкових вод і особливостями гідрологічного режиму обумовленими, зокрема, відгінно-нагінними явищами.

Води Одеського регіону містять значно менше іонів кальцію ($\approx$ в 5 разів), магнію ($\approx$ в 30 разів), сульфатів ($\approx$ в 3 рази), ніж ропи Куяльницького лиману (табл. 6.9). Однак, відсоткове співвідношення головних іонів в ропі Куяльницького лиману і воді північно-західної частини Чорного моря схожі (табл. 6.9), а значення хлорних коефіцієнтів (відношення кількості солей, що містяться в природній воді, до вмісту хлору) близькі: 1,62 для Куяльницького лиману, 1,82 для північно-західної частини Чорного моря.

Мінливість концентрацій карбонатів і гідрокарбонатів у водах лиману і ПнЗЧМ залежить від показника рН середовища, тобто, від інтенсивності розвитку продукційно-деструкційних процесів.

Рівень і діапазон мінливості біогенних речовин, здатних впливати на евтрофування природних вод, в ропі Куяльницького лиману значно вище, ніж в воді Одеського регіону (табл. 6.10).

Таблиця 6.9 – Середній вміст основних іонів (г·дм⁻³) і їх співвідношення (%) в ропі Куяльницького лиману і в водах ПнЗЧМ

Акваторія	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Солоність, ‰
г·дм ⁻³							
Куяльн. лиман [19, 49]	24,46	1,57	6,34	75,89	3,75	0,270	120,0
ПЗЧМ [64-66]	-	0,30	0,48	5,92	1,20	0,135	12,0
% співвідношення							
Акваторія	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Хлорний коефіцієнт
Куяльн. лиман [19, 49]	21,8	1,4	5,6	67,6	3,4	0,20	1,62
ПнЗЧМ [64-66]	31,6	1,4	3,7	55,3	7,5	0,50	1,82

Таблиця 6.10 – Діапазон мінливості біогенних і забруднюючих речовин в ропі Куяльницького лиману і в водах Одеського регіону північно-західної частини Чорного моря

Інгредієнти	Куяльницький лиман [19, 50, 57, 58, 61, 62]	Одеський регіон [67-73]
N-NH ₄ ⁺ , мг·дм ⁻³	0,00-3,850	0,00-0,096
N-NO ₂ ⁻ , - « -	0,00-0,150	0,00-0,060
N-NO ₃ ⁻ , - « -	0,085-1,725	0,00-1,310
N _{ОРГ} , - « -	2,10-17,00	0,23-4,92
PO ₄ ³⁻ , - « -	0,012-1,800	0,00-0,050
P _{ОРГ} , - « -	0,003-0,232	0,00-0,073
Si, - « -	0,24-4,00	0,73-3,22
POP, мгО·дм ⁻³	0,30-28,51	0,68-8,05
Забруднюючі речовини	> ГДК нафтопродукти, формальдегід, феноли, V, Pb, Cd	< ГДК нафтопродукти, Pb, Cd

Сезонна мінливість біогенних речовин в Одеському регіоні пов'язана з надходженням біогенних речовин з природних і антропогенних джерел, а також розвитком гідробіологічних, продукційно-деструкційних процесів. В Куяльницькому лимані при солоності більше 150 ‰ відбувається зниження розвитку продукційних і уповільнення деструкційних процесів.

Відмінною особливістю Куяльницького лиману є запаси пелоїдів, в яких

концентрації мінеральних і органічних сполук, включаючи і біогенні речовини, перевищують концентрації в ропі. Розбавлення Куяльницької ропи з солоністю більше 300 ‰ морськими водами Одеського регіону призведе до значного виходу цих сполук з пелоїдів в ропу. Слід зазначити, що разом з морською водою в Куяльницький лиман будуть надходити розчинені речовини, включаючи хлориди і сульфати. Так, в Куяльницький лиман за період роботи морського каналу в 1907 і 1925 рр., при середній солоності морської води 12 ‰, надійшло близько 0,12 млн. т розчинених речовин. Однак ці попуски не призвели до помітних змін концентрації солоності вод лиману (через розчинення донних накопичень) і тільки перетікання опрісненої Хаджибейської води і паводок 1941 р. призвели до значного падіння солоності ропи Куяльницького лиману [19].

Позитивним моментом надходження чорноморської води в Куяльницький лиман може стати надходження сульфаторедукуючих бактерій, які завжди присутні в морських водах. Сульфаторедукуючі бактерії – анаеробні гетеротрофи, які здатні вилучати кисень з сульфатів, при відновленні яких в осад випадає кальцит (CaCO_3) і виділяється сірководень. Для життєдіяльності сульфаторедукуючих бактерій велике значення має присутність у ропі і пелоїдах лиману вуглецю, водню, сульфатів, фосфатів, заліза і азоту аміаку. Життєдіяльність бактерій буде сприяти відтворенню запасів куяльницької грязі, яке в даний час не відбувається через надвисоку солоність води і зниження біологічної активності флори і фауни, яка бере участь в утворенні пелоїдів.

Особливо слід зупинитися на розбавленні ропи Куяльницького лиману прісною (дністровською) водою.

Дністровська вода, в залежності від дощового або снігового поверхневого живлення річки, має загальну мінералізацію 0,3-0,4 г·дм⁻³. Загальна жорсткість (концентрація в воді іонів $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) дністровської води змінюється в залежності від періоду року і становить 2,0-4,4 мг-екв·дм⁻³. Вона відноситься до категорії м'якої – 0-4 мг-екв·дм⁻³ або помірно жорсткої – 3-6 мг-екв·дм⁻³. Вміст в ній іонів Ca^{2+} , які знаходяться у виді гідрокарбонатів, досягає 40,1-88,2 мг·дм⁻³, іонів Mg^{2+} – 24,3-53,5 мг·дм⁻³.

Надходження в Куяльницький лиман дністровських вод не викликає помітного збільшення концентрацій іонів Ca^{2+} і випадіння гіпсу (CaSO_4), так як їх концентрації в лимані (1,57 г·дм⁻³, табл. 6.9) в 17-39 разів перевищують значення в дністровській воді, а іони SO_4^{2-} в дністровській воді присутні в незначних концентраціях. При подальшому рості солоності ропи в лимані утворення гіпсу буде проходити і без розбавлення прісними водами за рахунок порушення іонної рівноваги в системі ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$), так як на відміну від MgSO_4 , який добре розчинний у воді (при 70 °C – 59 г·дм⁻³, при 20 °C – 44,5 г·дм⁻³), максимальна розчинність CaSO_4 складає 2,1 г·дм⁻³ при 40 °C, і з підвищенням температури розчинність знижується.

Експериментально встановлено, що розведення води Куяльницького лиману з солоністю 304 ‰ (вода відібрана 3 грудня 2012 р., горизонт – 0,5 м) при 20 °С адекватною кількістю водопровідної (дністровської) води не викликало випадіння гіпсу. Нагрівання розчину до 50 °С (максимальна розчинність при 40 °С складає 2,100 г·дм⁻³), а потім його охолодження до 5 °С (так зване висалювання гіпсу в результаті зміни термодинамічних умов пересичених розчинів) також не викликало випадіння гіпсу.

7 ОЦІНКА МОЖЛИВИХ ЗМІН ГІДРОБІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОДИ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ПІСЛЯ НАПОВНЕННЯ ВОДОЙМИ ВОДАМИ ЧОРНОГО МОРЯ, РІЧКИ ДНІСТЕР АБО З ІНШИХ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ

7.1 Динаміка складу біоти Куяльницького лиману як передумова формування бальнеологічної грязі

Куяльницький лиман як водоймище господарчого значення відомий ще з XVI сторіччя, коли його сіль добувалась для потреб України і експортувалась до Західної Європи. Такі соляні промисли існували до 1931 р. і за попередній період (до 1931 р.) всього було добуто півтори мільйони тон солі [74]. При цьому, в різні історичні періоди спостерігалось як розпріснення, так і підвищення солоності його вод. Також описані повноводні періоди, коли верхів'я лиману було цілком прісним, і періоди (1907, 1926 рр.), коли лиман пересихав і його води поповнювались морськими через штучні канали між лиманом і морем. Таким чином біота Куяльницького лиману за динамікою солоності його вод неминуче зазнавала відповідні зміни у своєму складі. При цьому завжди мали місце прісноводна складова, солоноводна та гіпергалінна.

Прісноводна біота концентрувалась в місцях впадіння до лиману малих річок та виходу прісних стоків з оточуючих ставків.

Прісноводну біоту в основному формувала річка Великий Куяльник і були пікові періоди, коли у верхів'ї лиману навіть існував промисел прісноводної риби – щуки, коропа, карася та ін.

Солоноводна біота займала зону в середній частині лиману, а гіпергалінна – в південній частині. Динаміка вод Куяльницького лиману полягала в пульсуючому розширенні або зменшенні площ зон солоності і відповідно – питомої ваги фонові біоти для кожної з них. Ця обставина, треба думати, і обумовлює еколого-біологічну унікальність Куяльницького лиману.

Одним з головних осередкових елементів екосистеми Куяльницького лиману була р. В. Куяльник, а її гирлова область – найважливіша прісноводна складова ценозу верхів'я лиману, де видове різноманіття біоти обчислювалось тисячами видів. Повних даних про її склад не існує, але є деякі напрацювання з альгофлори [75], водних жорсткокрилих [76], двокрилих з даними про їх екологічну структуру, що дає змогу охарактеризувати головні риси екосистемної організації прісноводного верхів'я Куяльницького лиману. Крім того, відомими аналогії з інших водойм Південно-Західного Причорномор'я, що мають у своєму складі подібні розпріснені і солонуваті зони (Хаджибейський, Сухий лимани, низова частина Дністровського лиману та ін.),

за якими також можна скласти уяву про історично сформовані особливості верхів'я Куяльницького лиману до його зневоднення.

Одними з найбільш повних є дані з альгофлори річки В. Куяльник. За цими даними число видів досягає 111, які належать до 59 родів, 37 родин, 21 порядку, 11 класів з числа *Cyanophyta*, *Euglenophyta*, *Chrysophyta*, *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* та *Charophyta* (табл. 7.1) [75]. З них планктонні форми складають 19,0%, бентосні – 46,8 %, перифітонні – 34,2 %.

Таблиця 7.1 – Таксономічний спектр водоростей р. В. Куяльник [75]

Відділ	Кількість				
	класів	порядків	родин	родів	видів (%)
<i>Bacillariophyta</i>	3	12	23	40	79 (71,2)
<i>Cyanophyta</i>	2	3	4	6	16 (14,4)
<i>Chlorophyta</i>	3	3	7	8	10 (9,0)
<i>Euglenophyta</i>	1	1	1	3	4 (3,6)
<i>Chrysophyta</i>	1	1	1	1	1 (0,9)
<i>Charophyta</i>	1	1	1	1	1 (0,9)
<i>Усього:</i>	11	21	37	59	111 (100)

Згідно уявлень про те, що солоність є одним з головних лімітуючих факторів в становленні структури біоти мінералізованих водойм [77] для водозбору Куяльницького лиману характер його біоти треба розглядати на основі індикаційної класифікації Кольбе-Хустедта [78, 79]: олігогалобі-галофоби – типово прісноводі, такі, що уникають будь-яких підвищень солоності; олігогалобі – 0-5 ‰; індіференти – 0-20 ‰; мезогалобі – 20-30 ‰; галофіли – 30-50 ‰; гіпергалобіонти – > 50 ‰.

За показником галобності в загальній структурі альгофлори р. В. Куяльник нараховано олігогалібів 64,0 %, індіферентів - 42,4 % та галофілів - 21,6 %. Мезогалібів складають 24,3 %, а евригалинні – 5,4 %. Важливо відмітити, що типово прісноводні види (олігогалобі), про які є згадка в загальному огляді альгофлори, в переліку видів не вказуються. Тоді, як видно з рис 7.1, визначається, що домінуючим угрупованням серед планктонних, перифітонних та бентосних форм є індіференти, для яких життєвий діапазон солоності становить 0-20 ‰. Звертає на себе увагу також те, що в складі кожної життєвої форми досить велика загальна питома вага галофілів, мезогалібів, евригалібів. Так, для планктону в сумі вони складають 6,3%, перифітону – 19,8%, фітобентосу - 17%. Загалом же, як видно з наведених

матеріалів, всі ці види водоростей мають широку галотолерантність як мешканці високомінералізованих вод р. В. Куяльник.

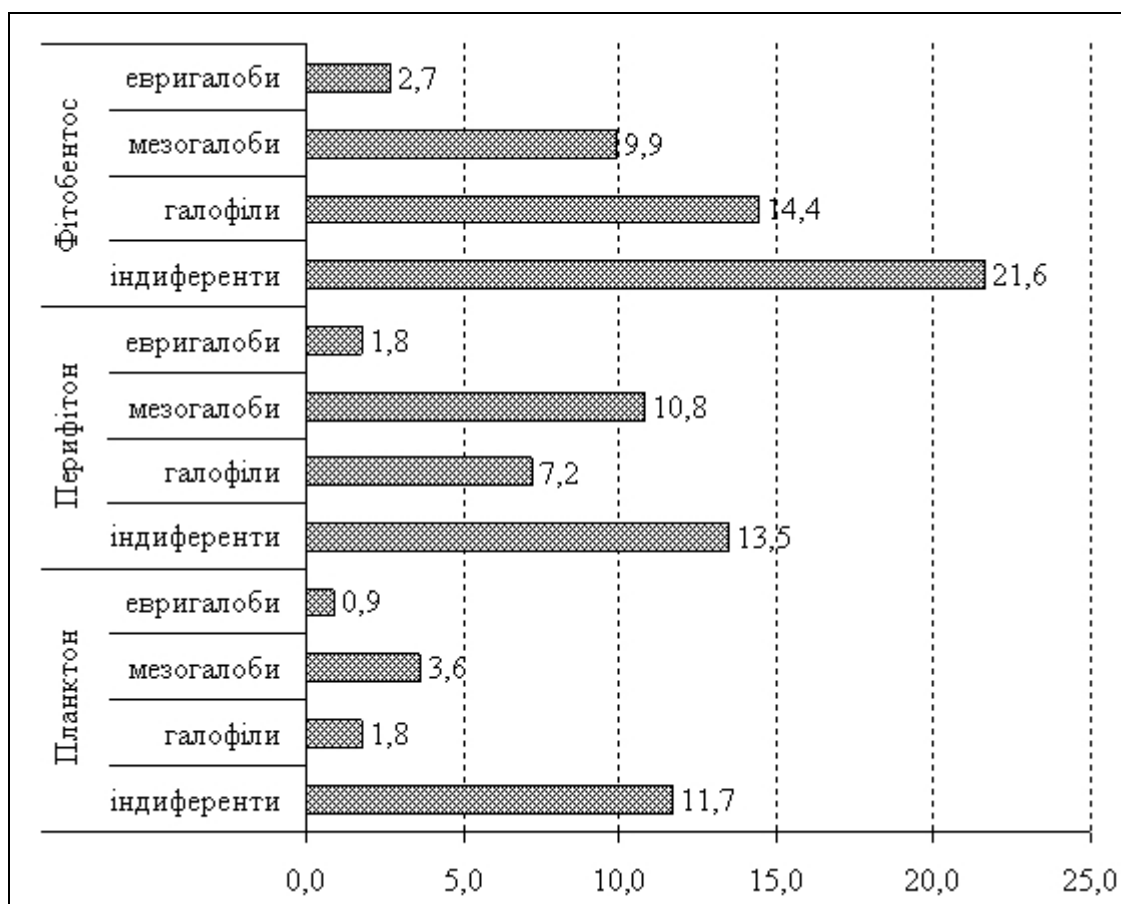


Рисунок 7.1 – Структура життєвих форм водоростей р. В. Куяльник за галотолерантністю (% співвідношення)

Аналогічний аналіз альгофлори безпосередньо для Куяльницького лиману за матеріалами 2001-2008 рр. [79] також вказує на присутність олігогалобів, але структуру альгофлори складають ті ж угруповання видів - індіференти, галофіли, мезогаліби, евригалинні.

З рис 7.2. видно, що на відміну від річки В.Куяльник, фоновими угрупованнями серед всіх життєвих форм в Куяльницькому лимані були мезогалоби. Тобто, якщо визнати, що головним джерелом видового наповнення водоростями Куяльницького лиману була річка В. Куяльник, то можна стверджувати, що напрям структурної трансформації видового складу в Куяльницькому лимані йшов від домінування індіферентів (0-20 %) у бік становлення мезогалобного ядра (20-30 %). І лише з досягненням солоністю води значень 180-230 ‰ (2007-2008 рр.) було відмічено лише 5 видів водоростей (*Oscillatoria amphibia*, *Amphora angusta*, *Navicula gregaria*,

Dunaliella salina), а при підвищенні солоності до 340 ‰ лишалась лише *D. salina*.

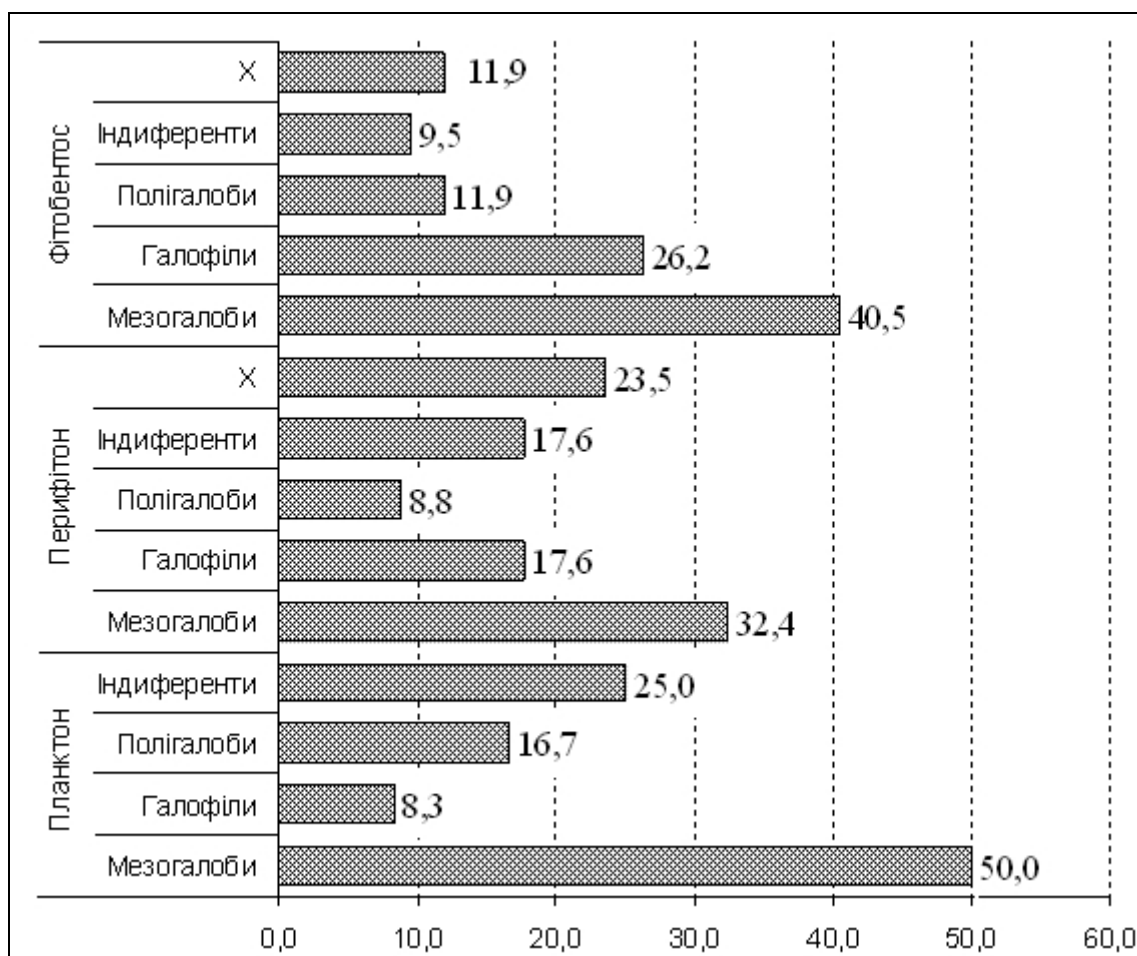


Рисунок 7.2 – Структура життєвих форм водоростей Куяльницького лиману за параметрами кількості видів та їх галотолерантністю (% співвідношення)

Склад та структура зоопланктону і зообентосу в р. В. Куяльник вивчався перманентно, тому відомості про цю складову біоти обмежені. Ми можемо спиратись лише на матеріали з окремих відносно добре вивчених систематичних груп. Однією з таких є таксоцен водних жорсткокрилих.

Всього у таксоценозі водних жорсткокрилих річки В. Куяльник за опублікованими даними [80] та нашими спостереженнями визначено 120 видів з родин *Hydraenidae*, *Helophoridae*, *Spercheidae*, *Halipilidae*, *Noteridae*, *Dytiscidae*, *Gyrinidae*. З них на різноїдних приходить 26 видів, плотоїдних – 94.

За галотолерантністю в структурі даного таксоцену були виявлені мезогалофи, індиференти, олігогалофи-галофіли (=індиференти), олігогалофи-галофоби. На передімагальних стадіях співвідношення галотолерантних видів і галофобних майже однакове. На цій основі за галобністю можна вважати, що в

річці В. Куяльник у роки, що передують зневодненню, існувала стабільна тенденція до підвищення мінералізації.

Стосовно зоопланктону та зообентосу для різних періодів стану Куяльницького лиману існує зведення [17] на основі численної літератури, в якому для різних рівнів солоності лиману приводиться якісний і кількісний склад біоти як слідство поточних гідрохімічних умов. При цьому звертає на себе увагу та обставина, що з поля зору багатьох поколінь гідробіологів випали численні за видовим складом та біомасою такі групи, як двокрилі та водні кліщі. Між тим, галофільні двокрилі – це таксоцени, які за своїм значенням не можуть лишатись поза увагою при будь-яких гідроекологічних оцінках [81-84]. В зв'язку з цим, ми вважаємо доцільним заповнити цей пробіл матеріалами, що були нами накопичені за період 1987-2012 рр.

Двокрилі є найбільш представленим у водному середовищі рядом [85]. Їх личинки відомі з всіх типів водойм практично всіх природних зон. Вони населяють проточні та стоячі водойми, слабо і сильно мінералізовані, в тому числі морські, лужні і кислі, холодні та термальні. З них для морських вод характерні *Aedes excrucians*, *Aedes togoi*, *Culicoides longicollis* (кома́ри - *Culicidae*), *Chironomus halophilus*, *Chironomus salinarius*, *Halocladus variabilis*, *Dicranomyia modesta*, *Nemotelus notatus* (родина *Chironomidae*), *Hydrophorus oceanus*, *Hydrophorus norvegicus*, *Machaerium maritimaе* (родина *Dolichopodidae* – зеленушки), *Eristalinus sepulchralis* (журчалки), *Ephydra riparia*, *Ephydra scholtzi*, *Scatella subguttata*, *Scatella crassicosta*, *Setacera aurata*, *Atissa pygmaea*, *Scatophaga litorea* (береговушки). Солоним континентальним водоймам притаманні куліциди (*Aedes detritus*, *Bezzia turkmenica*, *Culicoides circumscriptus*, *Culicoides manchuriensis*, *Culicoides maritimus*, *Culicoides puncticollis*, *Culicoides riethi*, *Culicoides transcaspicus*), мокреці (*Sphaeromias candidatus*), хірономиди (*Chironomus halophilus*, *Cricotopus sylvestris*), лимоніди (*Dicranomyia modesta*), левинки (*Nemotelus notatus* та ін.), береговушки (*Ephydra afghanica*, *Ephydra pseudomurina*, *Halmopota salinaria*, *Scatella lutosa*, *Scatella paludum*, навозниці (*Scatophaga stercoraria* та ін.), справжні мухи (*Lispe cotidiana* та ін.).

За нашими даними до 2008 р. таксоцен галофільних двокрилих Куяльницького лиману складався з 31 виду родин *Culicidae*, *Stratiomyidae*, *Tabanidae*, *Empididae*, *Syrphidae*, *Ephydridae*, *Chironomidae*.

Як видно з рис. 7.3, серед них типово прісноводні не відмічались. Умовно прісноводним елементом можна вважати індіферентів, які витримують солоність до 20 ‰. Саме ці види концентрувались в місцях витоку малих річок, струмків з Корсунцівських ставків та джерел вздовж берегової смуги лиману. В цих же осередках полігалоби разом з мезогалобами складали супраліторальний та бентосний літоральний комплекси верхів'я лиману і в гирлі р. В. Куяльник. В середній та низовій частках лиману осередок завжди складали галофіли та гіпергалобійонти.

На час, коли солоність лиману перевищила 250 ‰, лишались лише гіпергалобіонти з числа мокреців та *Ephydridae*.

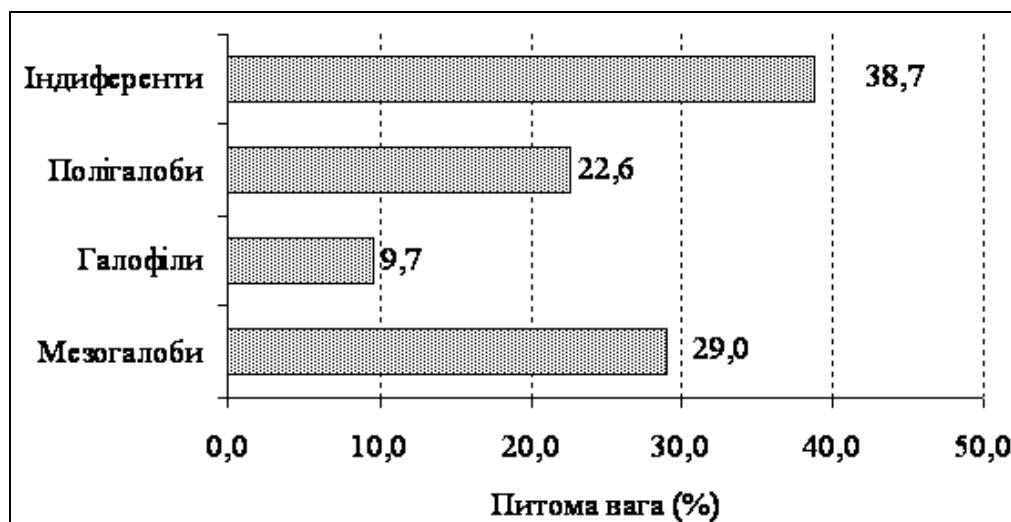


Рисунок 7.3 – Структура таксоцену бентосних личинок двокрилих Куяльницького лиману за галобністю

Стосовно водних кліщів потрібно зауважити, що ця група являє собою важливу складову водних екосистем і в солоних водах представлена морськими кліщами ряду *Halacaridae*. До теперішнього часу відомо 1018 видів галакарід, що відносяться до 51 роду [86]. Перелік морських кліщів Чорного моря нараховує 41 вид з 15 родів [87].

Чорноморські *Halacaridae* відносяться до евритермних і евритопних мезогалобів, здатні нормально розвиватися в різноманітних умовах середовища, включаючи лимани. У зборах В.В. Березовського (відділ природи Одеського краєзнавчого музею) в 1988-89 рр. в детриті, серед скупчень личинок двокрилих, були виявлені кілька видів родів *Rhombognathus*, *Copidognathus*.

На даний час водна біота верхів'я Куяльницького лиману повністю зникла. Залишки минулого біорізноманіття відносно недавно знайдені у середній і низовій частині [61]. На 2001 р. виявлено лише декілька видів автохтонної гіпергалінної і галофільної гідрофауни – *Artemia salina* (Linnaeus, 1758), *Chironomus salinarius* Kieffer 1915, *Halliella taurica* Tsch., 1949, *Nereis succinea* Frey & Leuckart, 1847. Ці види мають досить широкі ареали, тому питання особливостей екології можуть бути доповненими з літературних джерел, присвячених цим видам. Але перепорою у цьому може стати деяка таксономічна невизначеність таких видів як *Artemia salina* і *Nereis succinea*. У зв'язку з цим відмічаємо, що за сучасними уявленнями вид *Artemia salina*, вважається вимерлим і все що нині ідентифікується як *Artemia salina*

відноситься до іншого номенклатурного виду - *Artemia tunisiana* Bowen and Sterling, 1978. Поліхета *Nereis succinea* Frey & Leuckart, 1847 за сучасною системою віднесена до іншого роду *Alitta*, в зв'язку з чим в літературі цей вид означається як *Alitta succinea*.

7.2 Фундаментальні основи формування та функціонування бальнеологічної біоти гіпергалінних водойм

Для закритих гіпергалінних водойм характерна висока ступінь мінливості, пов'язана з мезокліматом, що обумовлює різку динаміку їх морфометричних та гідрохімічних параметрів. Визнано, що збільшення солоності в таких екосистемах супроводжується зниженням видового різноманіття та біомаси зоопланктону і зообентосу зі спрощенням трофічної структури і, відповідно, трансформації потоків енергії в галобіонтних спільнотах. Крім солоності води, до числа найбільш важливих факторів, що визначають функціональну організацію гіпергалінної екосистеми потрібно віднести рівень розвитку первинних продуцентів.

Щодо продуктивності гіперсолоних водойм відмічена відсутність чіткої залежності первинної продукції від ступеню мінералізації. Все ж встановлено, що найбільш продуктивними виявляються озера з мінералізацією не більше 30 ‰ і достатньою концентрацією фосфору. Мабуть ці моменти є визначальними у становленні механізмів формування бальнеологічних властивостей гіпергалінних водойм і повинні враховуватись при реабілітації Куяльницького лиману. У цьому зв'язку доцільно розглянути існуючі в світовій практиці напрацювання, присвячені вивченню ролі гідробіонтів у механізмах функціонування саме гіпергалінних екосистем.

Роль гідробіонтів у біотичному балансі екосистем солоних озер досить показово була оцінена на прикладі гіпергалінних озер Криму в плані вивчення формування первинної продукції і трансформації органічної речовини, швидкостей росту, харчування і інтенсивності енергетичного обміну планктону і бентосу [88-90]. При цьому встановлено, що розвиток зоопланктону і зообентосу в значній мірі регулюється трофічними умовами, коли при збільшенні первинної продукції зростає видове багатство, біомаса тваринного планктону і бентосу. Відзначено, що значення елімінації хижаками в малих мілководних гіпергалінних озерах, як правило, невелике, оскільки тут хижаки рідко досягають високої чисельності [91, 92], але в зонах з низькою солоністю води від 3 до 11 ‰ вплив хижаків на популяції жертв може бути значним [93, 94].

При солоності 100 ‰ та більше посилюється вплив консументів першого порядку на розвиток фітопланктону, що призводить до зниження його концентрації, підвищенню прозорості води та розвитку бентосних макроводоростей. Перевага бентосних первинних продуцентів у свою чергу призводить до зміни співвідношення планктонної і донної компоненти, а далі – до перерозподілу потоків енергії в екосистемі. Подальше підвищення солоності (до 120 ‰ і більше) веде до редукції бентосного трофічного ланцюга і спрощення планктонного, коли залишався один вид - артемія. Саме це сприяє підвищенню ефективності утилізації енергії первинних продуцентів, коли раціон зоопланктону практично дорівнює величині первинної продукції [95]. Встановлено, що до числа необхідних умов анаеробної трансформації мулів у лікувальну грязь потрібне подальше підвищення мінералізації з всиханням і випадінням донної солоної корки. Іншими словами, особливістю екологічно повноцінних гіпергалінних водойм є не видове різноманіття з розвиненою трофічною мережею (ознака стійкості прісноводних і солоноводних екосистем), а навпаки - збіднений видовий склад біоти, функціонально представлений тільки одним трофічним ланцюгом.

Розуміння цієї закономірності та знання особливостей функціонування екосистем солоних озер дозволяє використовувати їх для розробки стратегії управління їх станом з метою підвищення ефективності практичного використання. Прикладом такого використання закономірностей і особливостей функціонування гіпергалінних озер може служити штучне перетворення західного басейну кримського озера Сакське. Тут, з метою трансформації сірих мулів у лікувальну грязь, був проведений ряд спеціальних інженерно-технічних заходів, внаслідок яких солоність західного басейну оз. Сакське була штучно підвищена до 100 ‰. Це призвело до змін видової і трофічної структури екосистеми, аналогічним в інших солоних озерах [96], де підвищення солоності до 120 ‰ і більше приводило до редукції бентосного трофічного ланцюга і граничному спрощенню планктонної складової з єдиним видом зоопланктону - артемії. В результаті впливало підвищення ступеню утилізації енергії первинних продуцентів до 44 %. Саме в такій екосистемі складаються оптимальні умови для процесу утворення мулових відкладень, збагачених органічними речовинами.

Динаміка видового складу фіто-, зоопланктону і зообентосу солоних озер добре показана на прикладах озер Канади, Австралії, Північної Америки, Кенії та Криму [97-107] і у всіх випадках із збільшенням солоності спостерігалася зниження біомаси зоопланктону і зообентосу. Ця тенденція зміни структури біоти особливо показова на прикладі кримських солоних озер, які мають багато спільних рис з Куяльницьким лиманом, а одне з них - озеро Кояшарське - за своїми морфометричними і гідрохімічними умовами, географічному положенню [108] може розглядатися як його аналог. Так, за опублікованими

даними [109], це озеро являє собою замкнену поліміксну лагуну глибиною 1 м з площею близько 10 км², відокремлену від моря піщаним перевисипом. Характеризується постійно високою мінералізацією і вважається найбільш солоним таласогалінним озером Криму. Його солоність перевищує 350 ‰, іонний склад ропи близький до чорноморської, температура води влітку піднімається до 40 °С. Постійні водотоки тут відсутні, головну роль у водному балансі мають фільтрація і штормові перекидання морських вод. Грунтові води разом з поверхневим стоком та атмосферними опадами відіграють незначну роль. Донні відкладення представлені шаруватими чорно-сірими мулами товщиною до 1,5 м. Біорізноманіття становлять 8 видів у фітопланктоні, а у зоопланктоні - тільки бісексуальні популяції артемії. Видове різноманіття за рахунок тимчасових інвазій галофільними індиферентними та мезогалобними видами підвищується в зонах просочування ґрунтових вод (калюжі і супралітораль солоністю 50-85 ‰). Докладний огляд динаміки складу зоопланктону і зообентосу кримських гіпергалінних озер представлений в спеціальній роботі Балущкіної з співавторами [110]. Так, найбільше число видів було відзначено при солоності 38 ‰ (оз. Бакальське). У діапазоні солоності від 24 до 61 ‰ домінували за чисельністю коловертки *Brachionus plicatilis* і гілковусі ракоподібні *Moina*. При солоності 35-95 ‰ зустрічалися ракоподібні *Arctodiaptomus salinus*. З солоністю від 277 до 340 ‰ в зоопланктоні залишаються бісексуальні популяції *Artemia urmiana* (оз. Кояшське). У діапазоні солоності від 57 до 95 ‰ озера населяють партеногенетичні популяції *A. parthenogenetica* (Марфовське, Тобечикське).

У складі зообентосу відзначені *Chironomidae*, *Coleoptera*, *Amphipoda*, *Polychaeta*, *Isopoda* і окремі екземпляри водних кліщів. В цілому видовий склад бідний.

У діапазоні солоності від 24 до 100 ‰ *B. tauricus* домінували у складі донних тварин як за чисельністю (77,6-100 ‰), так і по біомасі (87,8-100 ‰). У оз. Кояшське донні тварини не були виявлені протягом усього періоду спостережень, що пов'язано з солоністю цієї водойми у 184-340 ‰, тут зустрічалися лише представники зоопланктону *Artemia urmiana*.

Крім хірономід в озерах Шімаханське і Кояшське в невеликій кількості зустрічалися водні жуки *Hygrotus enneagrammus* - звичайні мешканці солонуватих вод.

Вельми показовим є приклад швидкоплинних змін біоти, що спостерігалися в оз. Бакальське. Так, при солоності 95 ‰ тут мешкали тварини зоопланктону і зообентосу в типових співвідношеннях для цієї хорогалінної зони. Але в зв'язку з сильним пересиханням глибина озера знизилася до 0,15 м, концентрація загального фосфору зросла до 5625 мг/м³, над озером з'явився сильний запах сірководню. Це призвело до повного зникнення зоопланктону і зообентосу, в озері зустрічалися лише цисти Артемії. До весни наступного

року під час сильних штормів і перекату морських вод в озеро вселилися чорноморські види зоопланктону, зообентосу і навіть риби. Вже до осені на мулах стабілізувалися популяції хірономід *B. tauricus* і чорноморські форми макрозообентосу амфіпод *Microdeutopus gryllotalpa* і *Corophium sp.*, поліхети *Hediste diversicola* і *Polydora ciliata*, а на окремих ділянках зрідка зустрічалися рівноногий рачок *Idotea baltica*. В цілому домінували типові представники фауни гіпергалінних озер - личинки *B. tauricus*, а частка чорноморських поліхет і амфіпод була невелика (22 % за чисельністю та 8,5 % за біомасою). У серпні наступного року личинки *B. tauricus* практично не зустрічалися, абсолютно домінували чорноморські *Amphipoda*, *Polychaeta*, *Isopoda*, *Gastropoda*, і *Bivalvia*. Пізніше, зі збільшенням солоності, число видів зоопланктону і зообентосу закономірно знижувався і при солоності більше 100 ‰ донні тварини в озерах були відсутні і зустрічалася лише артемія.

За даними цих же джерел в діапазоні солоності 24-275 ‰ біомаса зоопланктону в Кримських озерах варіювала в широких межах (від 0,02 до 35,75 г/м²). Біомаса макрозообентосу змінювалася від 0,533 до 89, 99 г/м², при солоності вище 100 ‰ тварини макрозообентосу в озерах були відсутні. У більшості озер в діапазоні солоності від 24 до 100 ‰ біомаса зообентосу була значно вище біомаси зоопланктону. На цій підставі відзначена тенденція зниження біомаси зоопланктону і зообентосу із збільшенням солоності.

У діапазоні солоності від 24 до 100 ‰ частка продукції зоопланктону за відношенням до величин первинної продукції (ефективність утилізації енергії консументами першого порядку) змінювалася в весняно-літній період від 0,4 (оз.Бакальське) до 7,1 % (оз. Кіркояшське) . Продукція нехижого зообентосу в озерах з солоністю 24-100 ‰ була значно вищою продукції зоопланктону, і основний потік енергії проходив через бентосні біоценози. Ефективність утилізації енергії консументами першого порядку бентосу була значно вищою, ніж для зоопланктону, і вимірювалася в різних озерах від 0,58 до 45,3 %, становлячи в середньому 14 %. Роль хижого зообентосу - консументів другого порядку - в розподілі потоків енергії в екосистемах озер невелика. Ефективність утилізації енергії для них становила 0,04-0,77 %.

При солоності 184-340 ‰ в оз. Кояшське, де мешкали лише артемії, трофічна структура гранично спрощувалася і ефективність утилізації енергії в екосистемі зростала і становила 44 %, а раціон зоопланктону в середньому за весняно-літній період дорівнював величині первинної продукції. У зимовий період рівень метаболізму тварин бентосу був низький, зоопланктон в озерах був представлений яйцями, що призводило до накопичення первинної продукції.

Другою важливою складовою в загальній трансформації речовини є механізми мікробіальної трофічної мережі – так званої мікробіальної петлі. Мікробіальна спільнота, що представлена бактеріями і найпростішими

(гетеротрофні флагеляти і циліати), визначена як ключовий функціональний компонент, який являє собою проміжний ступень в трансформації речовини від автотрофних організмів до зоопланктону. Дослідження великої кількості морських і прісноводних екосистем показали, що дійсно значна частина органічної речовини перш ніж надходить в класичний харчовий ланцюг (фітопланктон - зоопланктон) трансформується мікроорганізмами через комплекс трофічних взаємовідносин між водоростями, бактеріями і найпростішими [111-112].

Особливо важливу роль «петля» грає в циклі органіки, де велика частина розчинених органічних речовин має алохтонне походження [113]. В таких випадках утилізація розчиненої органічної речовини гетеротрофними бактеріями і бактеріоїдними найпростішими може становити досить вагомую частину. Тому мікробіальна трофічна мережа розглядається вже як біотична частина екосистеми, де відбувається трансформація від 45 до 90 % первинної продукції [89, 114-117].

Таким чином, при наповненні Куяльницького лиману альтернативними водами слід очікувати поступове (або паралельне) формування механізмів трансформації речовини двох типів – мікробного та ланцюгів з фіто-зоопланктону, фіто- і зообентосу. Тобто, оперувати треба не критерієм біорізноманіття, а характером надходження екобіоморф з певними екологічними стандартами.

Механізм первинної утилізації (деструкції), що складається з трофічної мережі або трофічного ланцюга, де баланс продуцентів і консументів забезпечує необхідну швидкість трансформації органіки не менше 40 % (вважається, що решта органіки у розчиненому вигляді мінералізується мікроорганізмами). Тобто, вирішальним є не якісний або кількісний склад гідробіонтів, які будуть надходити з поступаючими водами, а екологічні угруповання, які здатні створити потрібний механізм трансформації речовин. Дійсно, за існуючими уявленнями про механізми екосистемної трансформації, структурною одиницею в них є не вид як такий (що є одиницею систематики), а біоморфа - екологічний аналог виду [117]. Правомірність цього положення впливає з розуміння того, що не видовий склад (число видів), а співвідношення тих чи інших життєвих форм з певними значеннями екологічного стандарту характеризують біотичну спільноту [118-120]. В даному аспекті видовий принцип дослідженнях структури спільнот визнаний одностороннім згідно з правилом про те, що функціонально однотипні спільноти можуть не мати спільних видів (принцип вікаріату). У цьому ключі принциповим є уявлення про не коректність тверджень, ніби то в суспільствах і екосистемах всі компоненти (конкретні види) між собою так тісно пов'язані, що варто лише торкнутися один з них, як це неминуче відбитися на всіх інших [121]. Тоді за М.І. Гладишевим [122] одиницями біогеоценозу визнається

структуровані групи організмів з певним механізмом трансформації енергетичних потоків, що виступають в екосистемі як єдине структурно-функціональне ціле – «екон» [123] і вони розглядаються як елементарні екологічні одиниці, які займають близькі екологічні ниші або такі, що сильно перекриваються.

Враховуючи все вище оговорене, в системних оцінках для нього знаходимо можливим залучити накопичений у науці досвід роботи з подібними водними об'єктами. Наприклад, як вирішується проблематика реабілітації гіпергалінних залишкових ділянок Аральського моря і Мертвого моря, де незважаючи на географічну віддаленість відзначено безумовну спільність рис історичного становлення та сучасного стану цих водних об'єктів [124-126]. Саме такі напрацювання можуть бути використані як за результатами вже здійснених заходів, так і у гіпотетичних обґрунтуваннях [127].

Нарешті, зауважимо, що не можна залишити без уваги те, що динаміка структури біоти підкоряється градієнту солоності, а солоність розглядається як лімітуючий фактор у відповідності із загальновідомим законом Тінемана-Лібиха та з концепцією відносності і множинності бар'єрних зон солоності, де значення хорогалінних зон в реальних умовах осолонення-розпріснення обумовлюють різний гідрохімічний режим з заміщенням складу біотичних спільнот з різними параметрами галобності. Головною такою доведеною закономірністю, яка визначає порядок структурно-функціональних змін біоти, є уявлення про критичну солоність [128-131] та існування хорогалінних зон, що обумовлюють просторову структуру гідробіологічних режимів за градієнтом солоності [132, 133]. Класифікація значень хорогалінних зон була показана на прикладі океанічних вод, Каспію та Аральського моря [134]. За матеріалами табл. 7.2 таких зон 7 і параметри мінералізації кожної з них визначають склад гідробіонтів за їх галотолерантністю.

Таблиця 7.2 – Положення бар'єрних зон солоності для прісних, солоних, морських та гіпергалінних вод [134]

Зони	Океан	Каспій	Арал
Основна прісноводна	0-2 ‰	0-2,5 ‰	0-3 ‰
Перехідна прісноводна-солонуватоводна	2-5 ‰	2,5-7 ‰	3-8 ‰
Основна солонуватоводна	5-8 ‰	7-11 ‰	8-13 ‰
Перехідна солонуватоводних-морська	8-26 ‰	11-28 ‰	13-29 ‰
Основна морська	26-40 ‰	28-41 ‰	29-42 ‰
Перехідна морська-гіпергалінна	40-50 ‰	41-50,5 ‰	42-51 ‰
Основна гіпергалінна	> 50 ‰	> 50,5 ‰	> 51 ‰

З цього витікає, що при альтернативному наповненні Куяльницького лиману прісними або солонуватими водами очікується поява різних галобних зон з властивою їм біотою так, як це було (або близько до цього) в різні періоди формування Куяльницького лиману та інших солоних континентальних водойм. До сказаного доречно зауважити, що Куяльницький лиман є внутрішнім водоймищем, для якого властивий істотний вплив на гідрохімію вод і донних відкладень стоків від атмосферних опадів з берегової смуги і особливо з постійно підтопленої її частини, яка за класифікацією приморських водно-болотних угідь являє собою колобережне солоне болото з ознаками крайової системи [135-138]. У цьому сенсі підтоплена берегова смуга не повинна вислизати з уваги при екосистемних оцінках Куяльницького лиману. Тут зосереджена певна фітомаса солонцевих макролітів, грантових галобіонтів з числа безхребетних, які привносять в лиман свою частку органіки (зауважимо, що ця структурно-функційна складова значною мірою стабільна) в тому числі у вигляді розчинених органічних речовин, які займають значуще місце в осмотичному харчуванні водних галобіонтів [139]. Крім того, така складова як сапрофітні ультрагалобні личинки двокрилих, які зосереджуються в супраліторалі та в берегових підтопленнях, є могутнім (а може і єдиним) фактором швидкої деструкції рослинного та тваринного опаду гіпергалінних мілководних водойм або їх ділянок.

З проаналізованих матеріалів можна визначити, що суттю реабілітації лиману є не стільки його наповнення водами, скільки планомірне відновлення біоти (функціонально пов'язаних деструкторів та мінералізаторів), здатної формувати механізм трансформації речовин та здійснювати потоки енергії вздовж градієнту солоності, а кінцевим результатом є створення умов для сталої ультрагалобної спільноти з бальнеологічним значенням. Створення таких умов полягає у розпрісненні Куяльницького лиману до таких значень мінералізації, при яких можливе існування цієї спільноти. Вважається, що ключовою екобіоморфою в таких спільнотах є фільтратори *Artemia ssp.* Для Куяльницького лиману у попередні періоди визначався такий вид як алохтонний *Artemia salina*. В цьому сенсі звертає на себе увагу та обставина, що для кримських озер цей вид не наводиться і до цього істотним є зауваження відносно того, що номінативний вид (*Artemia salina* (Linnaeus, 1758) з солоного озера Лівінгтон в Англії вважається вимерлим і його заміщує європейсько-середземноморський *Artemia tunisiana* Bowen and Sterling 1978. Однак, в літературі цей таксон практично не згадується. Більш того, вважається, що для більшості водойм, де виявлені артемії, їх таксономічний статус є не визначеним і тому рекомендується використовувати для бісексуальних популяцій тільки назва роду *Artemia* Leach, 1819, а для партеногенетичних – *Artemia parthenogenetica* Barigozzi, 1974 [140], що і відбувається в дослідженнях останніх років. Зрозуміло, що таксономічна невизначеність обмежує

можливості для практичного використання напрацьованих даних з аутоекології видових популяцій. Зокрема, існують хороші лабораторні опрацювання, наприклад, з вивчення відношення до температури і солоності для виду, позначеного як *Artemia salina* [141], але у зв'язку з неясним таксономічним статусом лабораторного об'єкта ці дані неможливо екстраполювати на природні популяції, так само як і отримані дані в природних умовах. Між тим, в гіперсолоних водах Криму є таксономічно чітко позначена популяція артемії з відомим ставленням до галобності - *Artemia urmiana*, *Gimther 1890 (Anostraca, Artemiidae)*. *Artemia urmiana* - це розвінчаний ендемік іранського гіперсолонного озера Урмія, виявлений в кримському озері Кояшське [142]. Цей вид особливо цікавий тим, що його популяція в Криму приурочена до екстремальних умов температури і солоності (до 40 °C і більше 370 ‰) та має високі продукційні характеристики в умовах досить близьких до таких у Куяльницького лимані.

7.3 Очікувані сценарії формування біоти Куяльницького лиману при альтернативному наповненні водами з Чорного моря та інших водних об'єктів

Як було оговорено вище, структура біоти гипергалінних водойм у своєму становленні залежить від зональної структури, де головним лімітуючим фактором є солоність. Згідно уявленням про бар'єрні зони солоності, при наповненні Куяльницького лиману водами різних рівнів мінералізації очікується формування проміжних комплексів планктону і бентосу згідно тих гипергалінних зон, які будуть утворюватись при розпрісненні вод лиману. Хід становлення буде залежати від джерела наповнення. В зв'язку з цим виникає потреба окремо розглянути гіпотетичні сценарії динаміки становлення галобіонтної біоти при надходженні вод з моря, Дністра або Хаджибейського лиману. При цьому треба особливо усвідомити можливість проблеми надлишку органічної речовини, що буде надходити з цими водами. Цей надлишок буде формувати тваринний та рослинний опад з організмів, що будуть надходити з альтернативними водами, і загиблих особин планктону та бентосу при стиканні з позамежною для них солоністю. Надлишки органічної речовини в умовах, де ще не існують сталі екологічні механізми її утилізації, з великою вірогідністю можуть призвести до евтрофікації з відомими наслідками – цвітіння води, токсикація синьо-зеленими водоростями, поява сірководню і таке інше.

Ризик перенакопичення органіки за рахунок надлишкового органічного баласту визначає потребу у відповідних запобіжних заходах, заснованих на відомих закономірностях впливу солоності по меншій мірі на первинну продукцію [143]. Крім того, відомо, що у зонах перемішування вод з різною солоністю існують ділянки, що характеризуються різними величинами

первинної продукції і деструкції органічної речовини. Показано, що там де є, наприклад, підтік морських вод, масовий розвиток фітопланктону спостерігається на самих ранніх стадіях перемішування. При цьому, в місцях масового розвитку фітопланктону і у зонах, де концентрується органічна речовина, спостерігається підвищення швидкості її деструкції [144]. Важливим моментом в розумінні становлення механізмів деструкції є закономірність, що уздовж градієнта солоності є декілька стабільних гідробіологічних режимів, в яких домінують або планктонні або донні продуценти. Зміна солоності води призводить до зміни цих режимів. Важливими елементами переходу від одного гідробіологічного режиму до іншого є ступінь стійкості екобіоморф (еконів) конкретних видів до підвищення солоності води і зміни уздовж градієнта солоності біотичних взаємодій між організмами суміжних трофічних рівнів. На цих уявленнях можна створити сценарії найбільш вірогідної динаміки гідробіологічного режиму при наповненні Куяльницького лиману альтернативними водами.

Так, за переліком солоноводних гідробіонтів Південно-Західного Причорномор'я, з морськими водами Одеської затоки до лиману гіпотетично можуть потрапити особини близько тисячі видів планктону та бентосу, з них в Куяльницькому лимані вже реєструвалось їх частка (табл. 7.3). До таких входять види з широкими ареалами, що визначає можливість їх існування у типових морських водах з мінералізацією, що значно перевищує чорноморську, і саме це обумовлює їх адаптаційну здатність до підвищеної мінералізації в Куяльницькому лимані. Крім того, в складі чорноморської біоти присутні евригалоби здатні до існування в ультрагалінних умовах з моменту надходження морських вод, а ряд видів морського походження (мезогалоби) здатні якийсь час функціонувати в якості продуцентів та консументів в системі трансформації речовини.

При «опрісненні» Куяльницького лиману морськими водами в різних зонах солоності очікуються наступні домінанти деяких таксоценів:

а) в мезогалінній зоні солоності води (8-20,5‰) – *Cyclotella meneghiniana*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Spirulina major*, *Berkeleya rutilans*, *Nitzschia filiformis*, *Tryblionella levidensis*, *Epithemia sorex*, *Rhopalodia gibba*, *Surirella ovalis*, *Odontomyia tigrina*, *Stratiomys singularior*, *Cricotopus sylvestris*, *Cupteeladopelma viridula*, *Bezzia nobilis*, *Hatipulus lineatocotlis*, *Noterus clavicornis*, *Bidessus nasutus*, *Limnodrilus profundicola*, *Potamothece bedoti*;

б) в еугалінній зоні солоності води (24,5-44,2 ‰) – *Aphanothece salina*, *Lyngbya confervoides*, *Oscillatoria limosa*, *Lyngbya confervoides*, *Oscillatoria limosa*, *Spirulina meneghiniana*, *Cyclotella baltica*, *Cocconeis kujalnitzkensis*, *Navicula peregrina*, *Proschkinia complanatoidea*, *Amphora angusta*, *Bacillaria paxillifer*, *Surirella striatula*, *Hemerodromia* spp., *Dolichocephala* spp., *Eristalis pratorum*, *Paracoenia fumosa*, *Chironomus halophilus*, *Cricotopus sylvestris*,

Chironomus plumosus, *Chironomus albidus*, *Rhombognathus pascens*, *Perinereis cultrifera*, *Nerinides tridentata*, *Microspio mecznikowianus*, *Pomatoceros triqueter*, *Phyllodoce tuberculata*, *Harmothoe reticulata*, *Glycera tridactyla*;

в) в гіпергалінній зоні солоності води (50-90 ‰) – *Brachionus plicatilis*, *Hexarthra oxyuris*, *Moina satinet*, *Pleurosigma salinarum*, *Amphora coffeaeformis*, *Hantzschia ucrainica*, *Nitzschia communis*, *Entomoneis paludosa*, *Stratiomys chamaeleon*, *Chironomus salinarius*, *Sphaeromias candidatus*, *Culicoides transcaspicus*, *Pleurosigma salinarum*.

В повній мірі навести перелік очікуваних видів для кожної з зон не представляється можливим, тому були наведені лише приклади з типових видів, що представляють відповідні екобіоморфи, при цьому найбільше видове різноманіття очікується у еугалінній зоні. Для більшості видів хорогалінним порогом буде солоність, що відповідає перехідній солонуватоводно – морській зоні, 26-29 ‰. Другу групу складуть мезогалофи з хорогалінними порогами основної морської зони 26-42 ‰. Нарешті, морські води можуть дати екобіоморфи перехідної морської-гіпергалінної зони (40-51 ‰), які здатні натуралізуватись на довгий час. Таким чином, морські води здатні сформувати тимчасові спільноти в зонах до 29 ‰ і зоні до 51 ‰. І тут слід зауважити, що функціонально повноцінними вони деякий час бути не можуть через те, що формування бентосних угруповань буде відставати від планктонних. Тобто швидкість деструкції в придонних шарах буде недостатньою, але завдяки мікробіальній петлі можлива швидка трансформація надлишків органіки [145, 146].

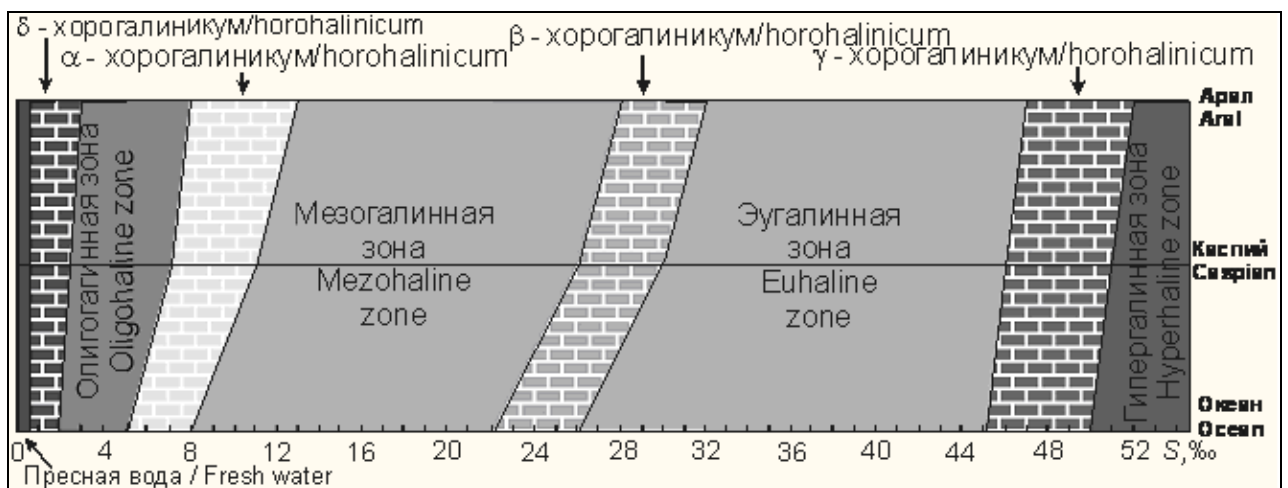


Рис. 7.4 – Сучасні уявлення про значення хорогалінних зон, що визначають склад гідробіонтів за параметром галотолерантності [147]

При наповненні Куяльницького лиману водами з р. Дністер буде мати місце надходження значної біомаси річкових олігогалобів, для яких бар'єром буде солоність у 3-5 ‰, з витікаючими наслідками у відношенні накопичення органіки. Загалом у тій частині лиману, де планується надходження прісної води, за уявленнями про хорогалінні зони очікується формування цілого ряду перехідних зон (рис. 7.4).

Раніше, при надходженні постійного стоку р. В. Куяльник, ці зони були тими осередками, де формувалось велике флористичне і фауністичне біорізноманіття з сталими взаємовідносинами у їх спільнотах.

З іншого боку, в умовах перманентної підкачки прісних вод невідомо як конкретно будуть відбуватися процеси формування біоти у цих нестійких просторових межах хорогалінних зон при перманентному розпрісненні дністровськими або слабомінералізованими водами Хаджибейського лиману.

Таким чином, при «опрісненні» Куяльницького лиману формування біоти вбачається в послідовному становленні та заміщенні комплексів екобіоморф згідно очікуваним зонам солоності та виникаючими при «опрісненні» хорогалінними порогами перехідних зон солоності (морської зони з солоністю 26-29 ‰, основної морської зони – 26-42 ‰, перехідної морської-гіпергалінної зони – 40-51 ‰), після чого повинна натуралізуватись стала біота, яка відповідає бальнеологічним вимогам.

Таблиця 7.3 – Зведені дані про склад біот солоних водойм північно-західній частині Чорного моря і відзначених в Куяльницькому лимані (за літературними даними та нашими доповненнями: 1 – види, виявлені до 1965 р., 2 – види, виявлені за період 1966-2003 рр.; Б – Будацький, С – Сухий, Х – Хаджібейський, К – Куяльницький, ВА – Великий Аджалицький, МА – Малий Аджалицький, Т – Тилігульський; Gl – галобність)

Вид	ПЗЧМ		Лимани ПЗПЧ							
	1	2	Б	С	Х	К	ВА	МА	Т	Gl
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
ФІТОПЛАНКТОН										
Відділ <i>BACILLARIOPHYCEAE</i>										
<i>Dialoma vulgare</i> Bory, 1828 var. <i>vulgare</i>	+	+				+		+		
Відділ <i>CHLOROPHYTA</i>										
<i>Dunalieila salina</i> (Dunal.) Teod., 1905						+	+			
<i>D. viridis</i> Teod., 1905						+	+			
Відділ <i>PRYMNESIOPHYCEAE</i>										
<i>Pseudokephyrion schideri</i> Conr., 1933						+	+			
Відділ <i>CYANOPHYTA</i>										
<i>Aphanothece salina</i> Elenkin et K. Daniels						+				
<i>Lyngbya confervoides</i> Ag., 1824	+	+				+				м
<i>L. lutea</i> (C. Agardh) Gomont						+				м
<i>Oscillatoria amoena</i> (Kiitz.) Gomont						+				
<i>O. amphibia</i> C. Agardh						+				гл
<i>O. brevis</i> (Kiitz.) Gomont						+				гл
<i>O. kisselevii</i> Anissimova	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>O. komarovii</i> Anissimova			+			+				
<i>O. limosa</i> C. Agardh		+				+				м

Продовження табл. 7.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>O. margaritifera</i> (Kiitz.) Gomont	+	+				+				м
<i>O. nigro-viridis</i> Phw.	+	+				+				
<i>O. quadripunctulata</i> Bruehl						+				
<i>Phormidium</i> sp.		+				+		+		
<i>Spirulina major</i> Kiitz.						+				зл
<i>S. meneghiniana</i> Zanardini	+	+				+				м
<i>Nostocales</i>										
<i>Anabaena constricta</i> (Szafer) Geitler	+	+				+				м
<i>Calothrix fusca</i> (Kiitz.) Bornet et Flahault			+	+		+		+		
<i>Nostoc sphaeroides</i> Kiitz.						+				
<i>BACILLARIOPHYTA</i>										
<i>Coscinodiscophyceae</i>										
<i>Thalassiosirales</i>										
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Ktitz	+	++				+	+		+	зл
<i>T. baltica</i> (Grun.) Ostf., 1901	+	+		+		+		+		м
<i>Melosirales</i>										
<i>Melosira moniliformis</i> (O. Mull.) C. Agardh	+	+	+			+		+		м
<i>Fragilariophyceae</i>										
<i>Ctenophora pulchella</i> (Ralfs) D.M. Williams et Round						+				м
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	+	+				+		+		інд
<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kiitz.) Boye Pet.			+		+	+				інд
<i>Tabularia fasciculata</i> (C. Agardh) D.M. Williams et Round	+		+		+	+		+		інд
<i>T. tabulata</i> (C. Agardh.) Snoeijis					+	+		+		інд

Продовження табл. 7.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Licmophorales</i>										
<i>Licmophora dalmatica</i> (Kiitz.)		+				+				пг
<i>Bacillariophyceae</i>										
<i>Cymbellales</i>										
<i>Cymbelia helvetica</i> Kiitz.						+				інд
<i>C. ventricosa</i> Kiitz.						+				інд
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenb			+			+				інд
<i>Rhoicosphenia abbreviate</i> (C. Agardh) Lange-Bert.						+	+			гл
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bert.	+	+				+		+	+	гл
<i>Achnanthes</i>										
<i>Achnanthes brevipes</i> C. Agardh	+	+		+		+		+	+	пг
<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenb.	+	+				+	+	+	+	інд
<i>C. kujalnitzkensis</i> Gusl. et Gerasimiuk						+				м
<i>Naviculales</i>										
<i>Berkeleya rutilans</i> (Trentep.) Grunow			+			+		+		гл
<i>Caloneis amphisbaena</i> (Bory) Cleve										гл
<i>Craticula halophila</i> (Grunow) D.G. Mann				+		+	+			м
<i>Diploneis smithii</i> (Breb.) Cleve	+	+				+				гл
<i>Fallacia pygmaea</i> (Kiitz.) Stickle et D.G. Mann	+	+				+				м
<i>Gyrosigma spenceri</i> (E.I. Quekett) J.W. Griff. et Henfr	+					+				м
<i>Navicula digitoradiata</i> (W. Greg.) Ralfs						+		+		м
<i>Navicula gomphonemoides</i> Gusl.						+				гл
<i>N. gregaria</i> Donk.						+				інд
<i>N. pennata</i> A.W.F. Schmidt var. <i>pontica</i> Mereschk.	+	+				+		+	+	м

Продовження табл. 7.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>N. peregrina</i> (Ehrenb.) Kiitz			+			+				м
<i>N. salinarum</i> Grunow						+				м
<i>N. veneta</i> Kiitz.						+				інд
<i>Pleurosigma angulatum</i> (E.I. Quekett) W. Sm.	+	+				+				
<i>P. elongatum</i> W. Sm.	+	+	+	+		+		+	+	пг
<i>P. salinarum</i> Grunow			+	+		+	+			пг
<i>Proschkinia complanatoides</i> (Hust.)						+				м
<i>Stauroneis salina</i> W. Sm.				+		+				
<i>Thalassiophysales</i>										
<i>Amphora angusta</i> W. Greg.	+					+				м
<i>Amphora caroliniana</i> Giffen						+				пг
<i>A. coffeaeformis</i> (C. Agardh) Kiitz.		+				+				м
<i>A. staurophora</i> (Castrac) Cleve						+				м
<i>Bacillaria paxillifer</i> (O. Mull.)						+				м
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenb.)						+				м
<i>Hantzschia ucrainica</i> Gerasimiuk						+				пг
<i>Nitzschia communis</i> Rabenh.						+				пг
<i>N. filiformis</i> (W. Sm.) Hust.						+				гл
<i>N. frustulum</i> (Kiitz.) Grunow						+				гл
<i>N. gracilis</i> Hant	+					+				інд
<i>N. lorenziana</i> Grunow										пг
<i>N. pseudohybrida</i> Hust.						+				пг
<i>N. scalpelliformis</i> (Grunow) Grunow						+				м
<i>N. sigma</i> W. Sm.	+					+				м

Продовження табл. 7.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Tryblionella apiculata</i> W. Greg.	+	+				+				інд
<i>T. hungarica</i> Grunow	+					+				інд
<i>T. levidensis</i> W. Sm.	+					+				гл
<i>Epithemia sorex</i> Kiitz						+				гл
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenb.) O. Mull						+				гл
<i>Rh. gibberula</i> (Ehrenb.) O. Mull.						+				гл
<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenb.) Ehrenb						+				пг
<i>E. paludosa</i> (W. Sm.) Reimer						+				пг
<i>Surirella brebissonii</i> Krammer et Lange-Bert	+	+				+				гл
<i>S. ovalis</i> Breb.	+	+			+	+				гл
<i>S. striatula</i> Turpin						+				м
<i>Culicidae</i>										
<i>Aedes caspius</i> Pall		+	+	+	+	+	+	+	+	ег
<i>Stratiomyidae</i> - Левинки										
<i>Odontomyia tigrina</i> (F., 1775)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	інд
<i>Odontomyia angulata</i> (Panzer, 1798)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Odontomyia argentata</i> (F., 1784)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	oh-hl
<i>Stratiomys singularior</i> (Harris, 1776)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	hl
<i>Stratiomys chamaeleon</i> (L., 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	evh
<i>Tabanidae</i> - Гедзі										
<i>Chrysops flavipes</i> Meigen, 1804	+	+	+	+	+	+	+	+	+	oh
<i>Tabanus unifasciatus</i> Loew, 1858	+	+	+	+	+	+	+	+	+	i
<i>Hybomitra acuminata</i> (Loew, 1858)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	oh
<i>H. erberi</i> (Brauer. et Ber., 1880)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	oh

Продовження табл. 7.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>H. (H.) peculiaris</i> (Szilady, 1914)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>i</i>
<i>H. (H.) ukrainica</i> (Olsufjev, 1952)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>oh</i>
<i>Empididae</i> - Товкунці										
<i>Hemerodromia</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>mh</i> (x)
<i>Dolichocephala</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>mh</i> (x)
<i>Syrphidae</i> - Мухи-дзюрчалки (криски)										
<i>Eristalis pratorum</i> Meigen, 1822	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>mh</i>
<i>Eristalis tenax</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>oh</i>
<i>Родина Ephydriidae</i> - Мухи-береговушки										
<i>Brachydeutera</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>i</i> (x)
<i>Dichaeta caudata</i> Fallen, 1813	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>oh</i>
<i>Paracoenia fumosa</i> (Stenh., 1844)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>oh-mh</i>
<i>Dichaeta caudata</i> Fallen, 1813	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>i</i>
<i>Parydra pusilla</i> (Meigen, 1830)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>oh</i>
<i>Scatella paludum</i> (Meigen, 1830)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>oh-mh</i>
<i>Chironomus halophilus</i> Kieff., 1913.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>mh</i>
<i>Chironomus salinarius</i> Kieffer, 1915	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>eh</i>
<i>Cricotopus sylvestris</i> Fabricius, 1794	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>mh</i>
<i>Procladius choreus</i> Meigen, 1804	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>hl</i>
<i>Tanypus punctipennis</i> Meigen, 1818	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>i</i>
<i>Ablabesmyia monilis</i> (Linne), 1758	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>i</i>
<i>Paratanytarsus inopertus</i> (Walr, 1856)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>oh</i>
<i>Chironomus plumosus</i> (Linne, 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>oh-mh</i>
<i>Chironomus annularius</i> Meigen, 1818	+	+	+	+	+	+	+	+	+	<i>i</i>

Продовження табл. 7.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Chironomus albidus</i> Konst., 1956	+	+	+	+	+	+	+	+	+	mh
<i>Chironomus dorsalis</i> Meigen, 1830	+	+	+	+	+	+	+	+	+	i
<i>Cupteeladopelma viridula</i> (F., 1805)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	i-oh
<i>Parachironomus arcuatus</i> Goet., 1921	+	+	+	+	+	+	+	+	+	i
<i>Ceratopogonidae</i> - мокреці										
<i>Sphaeromias candidatus</i> (Loew, 1856).	+	+	+	+	+	+	+	+	+	eh
<i>Bezzia</i> (<i>Homobezzia</i>) <i>xantocephala</i> Goetghebuer	+	+	+	+	+	+	+	+	+	oh
<i>Bezzia nobilis</i> (Winnertz, 1852)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	i
<i>Culicoides riethi</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	eh
<i>Culicoides puncticollis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	eh
<i>C. transcaspicus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	eh
<i>Жорсткокрилі Hydraphaga</i>										
<i>Haliplidae</i>										
<i>Peltodetes caesus</i> (Duft.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Hatipus lineatocotlis</i> (Mareh.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Hatipus obliquus</i> (F.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Hatipus ruficollis</i> (De Geer)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Halipus zacharenkoi</i> Gramma	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Hatipus maculatus</i> Motsch.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Noteridae</i>										
<i>Noterus clavicornis</i> (De Geer)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Noterus crassicornis</i> (Mull.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c

Продовження табл. 7.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Dytiscidae</i>										
<i>Liopterus haemorrhoidahs</i> (F.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Bidessus nasutus</i> Sharp, 1887	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Bidessus unistratus</i> (Goeze)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Hydrophilus geminus</i> (F.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	c
<i>H. impressapunctatus</i> (Schal)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Hygrotus confluens</i> (F.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Hygrotus enneagramus</i> (Aub.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	c
<i>Hydroporus planus</i> (F.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Hydroporus discretus</i> Fair.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Agabus biguttatus</i> (Oliv.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Agabus didymus</i> (Oliv.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Agabus fuscipennis</i> (Payk.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Agabus nebulosus</i> (Forst.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Agabus paludosus</i> (F.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Agabus labiatus</i> (Brahm.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Ilybius fuliginosus</i> (F.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Ilybius ater</i> (De Geer)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Ilybius similis</i> Thoms.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Laccophilus minutus</i> (L)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Laccophilus poecitus</i> Kiug.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Rhantus grapii</i> (Gyllen.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Rhantus frontalis</i> (Marshani)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Colymbetes striatus</i> (L.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c

Продовження табл. 7.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Dytiscus circumflexus</i> F.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	n-c
<i>Oligochaeta</i>										
<i>Limnodrilus profundicola</i> (Verril, 1871)	+					+				n-c
<i>Nais communis</i> Piguet, 1906	+			+		+		+		n-c
<i>Oligochaeta</i> gen. sp.	+	+				+				n-c
<i>Potamothenix bedoti</i> (Piguet, 1913)	+					+	+	+	+	n-c
<i>Водні кліщі - HALACARIDAE</i>										
<i>Rhombognathus</i> (s. str.) <i>magnirostris</i> Trouessart, 1889						+				oh
<i>Rhombognathus</i> (<i>Rhombognathides</i>) <i>pascens</i> (Lohmann), 1889	+	+				+				mh
<i>Поліхети</i>										
<i>Perinereis cultrifera</i>						+		+		mh
<i>Nerinides tridentata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	mh
<i>Microspio mecznikowianus</i>	+	+				+		+	+	mh
<i>Pomatoceros triqueter</i>						+		+	+	mh
<i>Phyllodoce tuberculata</i>						+		+	+	mh
<i>Harmothoe reticulata</i>						+		+	+	mh
<i>Glycera tridactyla</i>						+		+	+	mh

8 ОЦІНКА ВПЛИВУ НАДХОДЖЕННЯ МОРСЬКИХ ВОД ДО КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ НА ЯКІСТЬ ЛІКУВАЛЬНИХ ГРЯЗЕЙ (ПЕЛОЇДІВ)

8.1 Основні фізико-хімічні характеристики пелоїдів

Результати визначення основних фізико-хімічних характеристик мулових пелоїдів протягом тривалого часу наведено у табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Основні фізико-хімічні характеристики пелоїдів Куяльницького лиману

Дата та місце відбору	pH, од. pH	Eh, мВ	Масова частка вологи, %	Об'ємна вага	Напруга зсуву, Па
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
11.05.1961 р.			32,00-45,9	1,47-1,71	950,50-1528,60
Літо 1964 р.			46,30	1,51	
03.1965 р.			43,40	1,50	660,00
1968 р.			46,80	1,43	
1969 р.			39,00-51,00	1,42-1,66	
05.1973 р. - 12.1975 р.			45,00-62,00	1,32-1,58	300,00-800,00
04.1984 р.			61,80	1,40	399,40
1986 р.			49,50	1,44	304,20
1987 р.			49,60	1,43	343,30
1988 р.			48,55	1,42	336,00
1990 р.	6,81-7,45	-136 +219	46,75-57,14	1,39-1,64	673,21-1205,40
15.02.1995 р.	6,61	-93	36,34	1,53	286,10
11.1997 р.	6,60	-153	56,01	1,42	205,09
08.05.2004 р.	7,20	- 60	41,75	1,57	490,50
03.06.2004 р.	6,71	-250	46,29	1,46	490,50
05.2006 р., ділянка 1	6,63	-308	55,25	1,43	459,85
05.2006 р., ділянка 2	6,78	-232	51,13	1,49	474,15

Продовження табл. 8.1

Дата та місце відбору	Липкість, Па	Засміченість частинками $D > 0,25 \cdot 10^{-3}$ м	Масова частка $C_{\text{орг}}$ в розрахунку на п.с. речовини, %	Об'ємна частина сірководню, %	Теплоємність, кДж/(кг·К)
1	7	8	9	10	11
11.05.1961 р.	208,40-1471,60	0,05-2,10		0,15-0,25	2,22-2,72
Літо 1964 р.		<0,5		0,17	
03.1965 р.				0,20	2,64
1968 р.			0,87	0,17	2,72
1969 р.				0,14-0,28	2,10-3,27
05.1973 р. - 12.1975 р.	500,00-1800,00	0,02-5,70		0,09-0,29	2,39-3,35
04.1984 р.	428,6	0,20	1,28	0,16	
1986 р.	624,00			0,14	2,89
1987 р.	727,60			0,14	2,89
1988 р.	729,00			0,12	2,40
1990 р.	641,50-1271,80	0,08-4,82		0,10-0,31	
15.02.1995 р.	1110,80	0,13	2,50	0,16	2,10
11.1997 р.	448,50	0,17		0,16	2,72
08.05.2004 р.	1180,25	0,32	1,53	0,18	2,56
03.06.2004 р.	1180,25	0,47	1,77	0,18	2,72
05.2006 р., ділянка 1	833,10	0,61	2,05	0,20	2,69
05.2006 р., ділянка 2	948,83	0,75	1,78	0,16	2,55

Розглянемо динаміку можливих змін їх фізико-хімічного складу.

Відкладення пелоїдів Куяльницького лиману являють собою чорні пластичні мазкі мули з запахом сірководню (0,15-0,23 %), малою засміченістю частинками діаметром більше $0,25 \cdot 10^{-3}$ м (0,05-1,62 %), слабкокислою реакцією (рН = 6,55-6,95 од. рН). Від'ємні значення окислювально-відновного потенціалу ($E_h = -230$ -350 мВ) вказують на перевагу відновних процесів.

За минулий час пелоїдні системи Куяльницького лиману зазнали великих змін, які обумовлені як безперервно протікаючим процесом пелоїдоутворення та коливаннями гідрологічного режиму водоймища, так і постійною експлуатацією покладу пелоїдів у південній частині лиману.

Масова частка води і об'ємна вага – є одними із важливіших фізичних характеристик пелоїдів, їх значення можуть залежати від цілого ряду важко враховуваних факторів (концентрація солей, механічний склад, умови залягання тощо). Отримані дані показують, що більшість проб пелоїдів мають масову частку води в межах 40,00 – 62,00 % з об'ємною вагою 1,32 – 1,71. Ряд проб характеризуються більш низькими значеннями масової частинки води – 32,00 % (1961 р.), 39,00 % (1969 р.), 36,34 % (1995 р.), що можна пояснити тим, що проби пелоїдів було відібрано у посушливий період року (рис. 8.1).

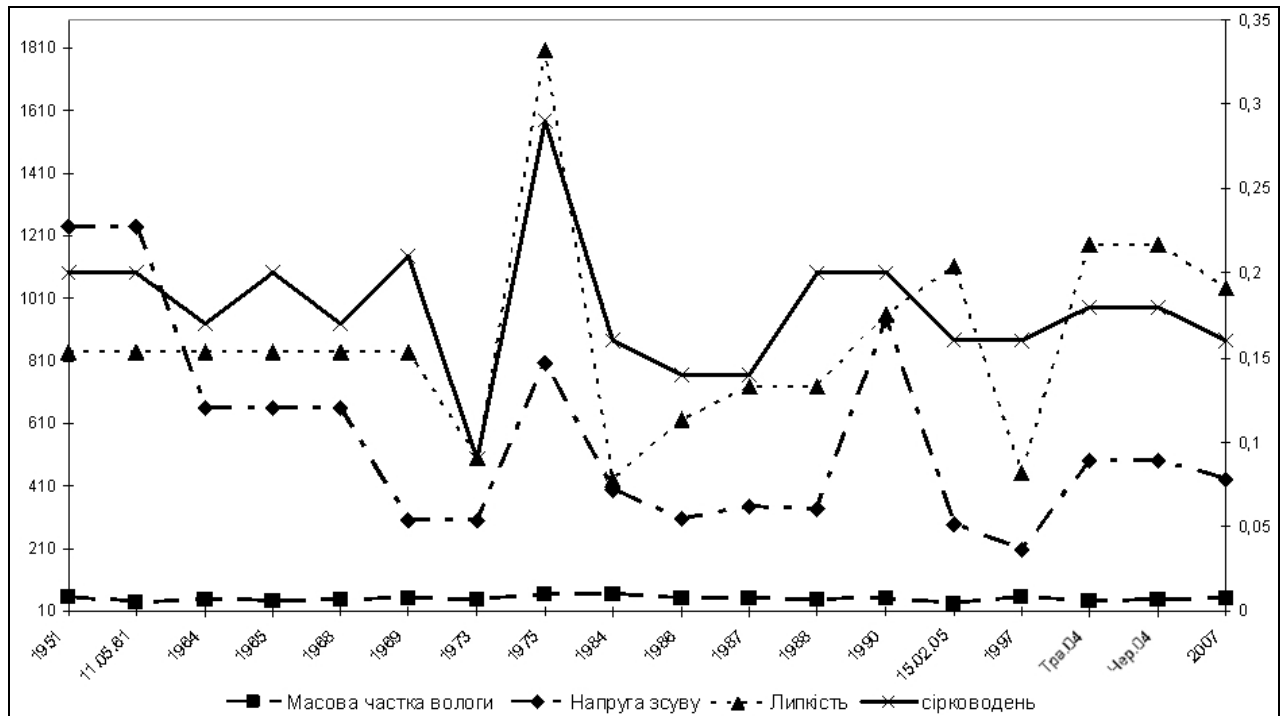


Рисунок 8.1 – Багаторічні зміни основних фізико-хімічних показників пелоїдів Куяльницького лиману за період з 1951 по 2007 рр.

Засміченість пелоїдів силікатними частинками з діаметром більш ніж $0,25 \cdot 10^{-3}$ м є основним критерієм при їх оцінці.

В пелоїдах можуть зустрічатись більш або менш крупні силікатні частинки, кристали солей кальцію і магнію, нерозкладені рослинні залишки, пісок. Ці частинки погіршують їх якість, знижуючи липкість, в'язкість і, відповідно, придатність для їх використання з лікувальною метою.

Як показують приведені результати, майже всі проби відповідають вимогам, які висуваються до пелоїдів, тобто їх засміченість не більше 3 %.

Тільки деякі проби пелоїдів відбору 1973-1975 рр. мають підвищені значення (до 5,70 %). Це відноситься до осадів південної частини лиману, відібраних на прибережних ділянках водоймища, біля піщаної коси та в районі соляних промислів.

Важливим критерієм оцінки якості пелоїдів є їх фізико-механічні властивості. Знання фізичних та фізико-хімічних параметрів необхідне при організації пелоїдного господарства та використанні пелоїдів, що пов'язано з їх нагрівом, обладнанням відповідних приміщень в грязелікарні, а також при дозуванні лікувальних процедур. Наукове обґрунтування механізму дії пелоїдів не може бути надане без урахування їх пластично-в'язких та інших властивостей.

Структура пелоїдів, міцність якої характеризується величиною напруги зсуву, є однією з важливіших їх властивостей, що визначають можливість їх використання у вигляді аплікацій. Величина напруги зсуву сама собою не визначає якість пелоїдів, а характеризує тільки стан придатності їх для того чи іншого виду пелоїдолікування (аплікації, ванни тощо).

Мулові пелоїдні системи, напруга зсуву яких досягає високих значень, при підготовці до процедур змішують з ропою, доводять цей показник до 150-250 Па.

Липкість характеризує силу зчеплення пелоїдів, чим забезпечує тісне прилягання її до поверхні тіла хворого. Величина оптимальної липкості для мулових пелоїдів складає 200-1000 Па.

З приведених даних видно, що до 1975 р. пелоїди Куяльницького лиману мали великі значення напруги зсуву: 800,00-500,00 Па, після чого значення різко зменшились до 300-500 Па. Значення липкості повторюють закономірності коливань значень напруги зсуву.

Встановлено зворотну залежність величини напруги зсуву від масової частинки вологи. Як видно із даних табл. 8.1, значення напруги зсуву та липкості різні. Однак, слід відмітити, що ці значення, як правило, зростають з глибиною залягання.

Одним із основних показників при оцінці пелоїдів у бальнеологічному відношенні є теплоємність, яка представляє собою лінійну функцію масової частинки вологи. Чим більша масова частка вологи, тим більше значення теплобасейни.

До складу пелоїдів входять компоненти, які приймають участь у ряді біохімічних процесів. Ці сполуки можуть знаходитись в осадах в різних формах, взаємодіяти одна з одною, обумовлюючи, таким чином, біохімічну активність пелоїдів. Деякі з них характеризуються здібністю оказувати лікувальну дію на організм людини.

До таких сполук відносяться сірководень, який утворюється в пелоїдах при біохімічному відновленні сульфатів розчинів пелоїдів в умовах анаеробного середовища.

Порівнюючи приведені дані за вмістом сірководню, слід відмітити невелике його зниження після 1975 р. від 0,15-0,29 % до 0,12-0,18 %, що може свідчити про поступове затухання біохімічних процесів (рис. 8.1).

Органічна речовина пелоїдів є енергетичним матеріалом, який приймає участь у біохімічних процесах, грає велику роль у утворенні та відновленні пелоїдів. Приведені дані щодо вмісту органічної речовини не дають підстави для виявлення будь-яких закономірностей.

Результати мікробіологічних досліджень Куяльницького лиману (проба № 1 – заготівельний басейн, проба № 2 – Куяльницький лиман, 2004 р.; ділянки № 1 та № 2, 2006 р.) показали, що в досліджуємих пелоїдах переважали мікробіальні процеси трансформування азоту та вуглецевмістних органічних речовин.

Кількісне представництво виявлених еколого-фізіологічних груп було індивідуальним для кожної проби пелоїдів, що зв'язано з гідрогеологічними, гідробіологічними та фізико-хімічними особливостями місць їх відбору.

У всіх пробах виявлено сапрофітні бактерії - продуценти каталази. Їх кількість була найбільшою у пробі № 2 (10^3 КУО/г), найменшою – $4,3 \cdot 10^{-2}$ КУО/г (ділянка №2). Спороутворювальні бактерії, підвищена кількість яких могла б указувати на наявність у пелоїдах органічної речовини, яка повільно окислюється, та на несприятливі умови для неспороутворювальних бактерій, не знайдено у пелоїдах на ділянці № 2. У пелоїдах проби № 2 та ділянки № 1 серед спороутворювальних бактерій було ідентифіковано *Bacillus mycoides*, які при розкладанні білків утворюють аміак, а у пелоїдах з заготівельного басейну – *Bacillus mesentericus*, які на агаровому середовищі утворювали характерні колонії зі зморшками.

Амоніфікувальні бактерії, які збагачують середовище пелоїдів протеазами і підвищують концентрацію мінеральних азотистих сполук, було визначено у кожній з проб пелоїдів. Вони здатні також сприяти накопиченню фосфорної кислоти, яка являється фізіологічно активною речовиною у водній фракції. В експерименті вони сприяли утворенню сірководню та аміаку. За три доби на поживному середовищі вони накопичували від 99,06 до 107,10 мг/дм³ (Куяльницький лиман, ділянка № 1) та від 108,48 до 117,24 мг/дм³ (Куяльницький лиман, ділянка № 2), відповідно.

При наявності сульфатів розклад органічної речовини проходить, в основному, за участю сульфатвідновлювальних бактерій, а при нестачі SO_4^{2-} – з утворенням метану і вуглекислоти. Сульфатвідновлювальні бактерії було знайдено у пробах всіх досліджуємих пелоїдів (від 1,0 до 10^1 КУО/г).

Відомо, що суттєве екологічне значення бактерії мають у тому разі, якщо число їх клітин не менше 1 млн на 1 г субстрату, хоча б у який-небудь сезон. Жодна з вищеперелічених груп, діяльність яких важлива для пелоїдогенезу, не досягала цих величин.

У пелоїдах виявлено сіркобактерії і тіонові бактерії, які грають велику роль у окисленні сірководню. Розвиток тіонових бактерій (*Thiobacillus thioparus*) супроводжувався появою на поверхні поживного середовища

пишної плівки сірки. Тіонові бактерії здатні окислювати сірководень і тіосульфат, гідросульфідіон. У пелоїдах ділянки № 1 Куяльницького лиману вони не були знайдені.

Денітрифікувальні бактерії, які сприяють зменшенню концентрації нітратних та нітритних сполук і здатні застосовувати вуглеводи, смоли, бітуми, спирти, органічні кислоти, продукти розпаду білків, висіювались у незначній кількості – тільки у пробі № 1 (10^1 КУО/г). У більшості проб вони були відсутні.

Знайдено маслянокислі бактерії, які розщиплюють вуглеводи та спирти і їхні сполуки з утворенням масляної кислоти, а також кислот жирного ряду, спирту, ацетону, водню та CO_2 (10^2 - 10^4 КУО/г).

Здатність мікроорганізмів гідролізувати жири та білки відома давно. Багато видів бактерій характеризуються липолітичною, протеолітичною активністю. Ліпази активно використовуються в клінічній медицині у зв'язку з проблемою атеросклерозу, протеази – у зв'язку з фібринолітичною та тромболітичною активністю і протизапальною дією. Жиророзщеплюючі бактерії знайдено лише у пробах пелоїдів Куяльницького лиману у 2004 р. (10^2 - $4 \cdot 10^2$ КУО/г).

Залізоокиснювальні гетеротрофні бактерії, які виявляли у пробах пелоїдів, мали різне чисельне представництво (10^1 - 10^2 КУО/г). Марганець-окиснювальні бактерії знайдено лише у пелоїдах із заготівельного басейну. Міксобактерії – показники забруднення органічними відходами сільського господарства – не виявлено, як і актиноміцети та стрептоміцети. Мікроміцети були присутні в невеликій кількості у пробі № 2 та пробі ділянки № 2 (10^1 КУО/г).

Слід відзначити, що в пелоїдах Куяльницького лиману за період дослідження у 4 рази знизилась кількість спороутворювальних бактерій *B. tuscoides*, які утворюють аміак, на порядок знижена кількість маслянокислих та сульфатвідновлювальних бактерій. Останні і раніше були представлені декількома КУО/г. Кількість тіонових бактерій знижено з 10^7 КУО/г (проба № 2) до 1,0 КУО/г – на ділянці № 2, а з пелоїдів ділянки № 1 вони зовсім не висіювались. Аналіз даних щодо порівняння висіюваності мікроорганізмів з пелоїдів Куяльницького лиману свідчить про те, що в них на сьогодні значно знижений процеси біохімічної сульфатредукції, амоніфікації, маслянокислого бродіння, але у 2004 р. була значною кількість КУО тіонових бактерій (*Thiobacillus thioparus*), які засвоюють сірководень.

Узагальнюючи все вищенаведене, можна зробити висновок, що сучасний стан мікробних ценозів досліджуємих пелоїдів Куяльницького лиману свідчить про їх слабкий вплив на процес пелоїдогенезу.

Дослідження у 2004 р. антибіотичної активності 18 штамів мікроорганізмів, які виділено з пелоїдів Куяльницького лиману, показали, що

штами проявляли літичну активність різного ступеню вираженості. Як тест-культури, для дослідження літичної активності штамів використовували представників грампозитивних (*Staphylococcus aureus*) та грамнегативних мікроорганізмів (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*), які відрізняються за складом, структурою і зв'язками в пептидоглікані їх клітинних стінок, гідроліз яких приводить до лізису клітин. Більшість штамів лізувало клітини грампозитивної тест-культури *Staphylococcus aureus*. Половина з них була літично активна і відносно грамнегативних тест-культур: *Escherichia coli* та *Pseudomonas aeruginosa*.

Пелоїди Куяльницького лиману проби № 1 слабо лізували лише тест-культуру *Staphylococcus aureus*.

Дослідження бактерицидної дії пелоїдів Куяльницького лиману при контамінуванні їх тест-культурою *E. coli*, показали, що пелоїди можуть бути віднесені до високобактерицидних.

Таким чином, результати проведених мікробіологічних досліджень свідчать про наявність у пелоїдах Куяльницького лиману мікроорганізмів, які відрізняються за біологічними властивостями та активністю метаболізму.

Встановлено, що протікання сульфатредукції не було активним на всіх ділянках. Інтенсивність розвитку сульфатвідновлювальних бактерій оцінено 3-4 балами. Найбільш активними були гнилісні мікроорганізми – інтенсивність розвитку 5 балів. Низькою була кількість важливих у пелоїдогенезі залізоокислювальних бактерій.

На мікробний ценоз пелоїдів південної частини Куяльницького лиману у значній мірі впливає антропогенне навантаження, що виражається в загальному збідненні таксономічних груп, перерозподілі живильних ланцюгів з включенням вуглецьвмісних речовин антропогенного походження.

Відповідно, пелоїди південної частини Куяльницького лиману за загальним сучасним станом мікробного ценозу не можуть бути рекомендовані для процедур, у яких передбачено контакт нативних пелоїдів з слизовою оболонкою організму людини.

8.2 Макросклад ропи та розчину пелоїдів

За період досліджень 2005 – 2007 рр. (табл. 8.2) мінералізація ропи коливалась від 102,77 до 157,01 г/дм³, рН – від 6,9 до 7,55 од. рН. Ропи Куяльницького лиману за основним іонним складом відноситься до хлоридних натрієвих, натрієво-магнієвих. Вміст хлорид-іонів становить 58,58-94,08 мг/дм³, вміст іонів натрію і калію – 34,00-44,72 мг/дм³, магнію – 5,598,97 мг/дм³.

Таблиця 8.2 – Макрокомпонентний склад ропи Куяльницького лиману (2005-2007 рр.)

Дата відбору	Компоненти, мг/дм ³							рН, од.рН	Співвідношення аніонів та катіонів, мг-екв. %
	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻		
14.03.2005 р.	34,01	0,12	5,59	58,58	4,38	-	0,24	7,25	M ₁₀₃ <u>Cl 95 SO₄ 5</u> (Na+K)76 Mg24
14.03.2005 р.	34,00	0,12	5,59	58,58	4,34	-	0,26	7,50	M ₁₀₃ <u>Cl 95 SO₄ 5</u> (Na+K)74 Mg26
10.07.2006 р.	37,49	1,70	6,99	76,33	6,56	-	0,24	7,55	M ₁₂₉ <u>Cl 94 SO₄ 6</u> (Na+K)71 Mg25
12.09.2006 р.	39,63	1,80	8,03	83,43	5,81	-	0,24	6,90	M ₁₃₉ <u>Cl 95 SO₄ 5</u> (Na+K)70 Mg26
16.04.2007 р.	39,50	2,00	7,66	82,36	5,97	0,04	0,17	-	M ₁₃₈ <u>Cl 95 SO₄ 5</u> (Na+K)70 Mg26
06.06.2007 р.	43,29	2,00	8,66	90,53	6,77	0,04	0,20	-	M ₁₅₁ <u>Cl 95 SO₄ 5</u> (Na+K) 70 Mg26
07.06.2007 р.	44,72	2,25	8,97	94,08	6,76	0,04	0,20		M ₁₅₇ <u>Cl 95 SO₄ 5</u> (Na+K)70 Mg26

Серед специфічних біологічно активних компонентів та сполук (табл. 8.3) в терапевтично значимій кількості визначалися: йод 2,33-13,20 мг/дм³, бром 278,40-398,40 мг/дм³, ортоборна кислота 36,40-100,50 мг/дм³.

Таблиця 8.3 – Біологічно активні компоненти та сполуки у ропі Куяльницького лиману, мг/дм³ (2005-2007 рр.)

Біологічно активні компоненти та сполуки	14.03.05	14.03.05	10.07.06	12.09.06	23.04.07	06.06.07	07.06.07	ДСТУ 42.10.02-96 Значення масової концентрації, не менше
Залізо (дво- і тривалентне)	-	-	-	-	-	-	-	10,00
Миш'як	-	-	-	-	-	-	-	0,70
Ортоборна кислота (H ₃ BO ₃)	38,00	39,00	36,40	100,50	-			35,00
Метакремнієва кислота (H ₂ SiO ₃)	<0,8	<0,8	<0,1	<0,1	-	<0,1	<0,1	50,00
Йод	2,52	2,33	13,20	5,26	4,37	6,62	6,62	5,00
Бром	294,40	278,40	398,40	342,40	302,40	294,40	310,40	25,00

Хімічний склад ропи Куяльницького лиману за дослідженнями відображує наступна формула:

H_3BO_3 0,036-0,1 Cl 95
 Br 0,28-0,40 I 0,002-0,013 $\text{M}_{102,77-157,01}$ (Na+K)70-97 Mg 24-26 pH 6,9-7,55

За фізико-хімічними дослідженнями ропи Куяльницького лиману в період з 1996 по 2007 р. (більш 400 досліджень), загальні відомості по яких наведено у табл. 8.4, побудовані графіки кореляцій макрокомпонентів від загальної мінералізації (рис. 8.2).

Таблиця 8.4 – Загальні відомості щодо макрокомпонентного складу та мінералізації ропи південної частини Куяльницького лиману (2005-2007 рр.)

Показник	г/дм ³						Мінералізація, г/дм ³
	HCO_3^-	Cl	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	
Середнє	0,27	100,55	4,91	1,69	9,06	48,59	165,07
Максимум	0,34	161,34	7,38	2,71	13,97	79,19	260,95
Мінімум	0,10	48,76	2,09	0,02	4,31	23,39	80,14

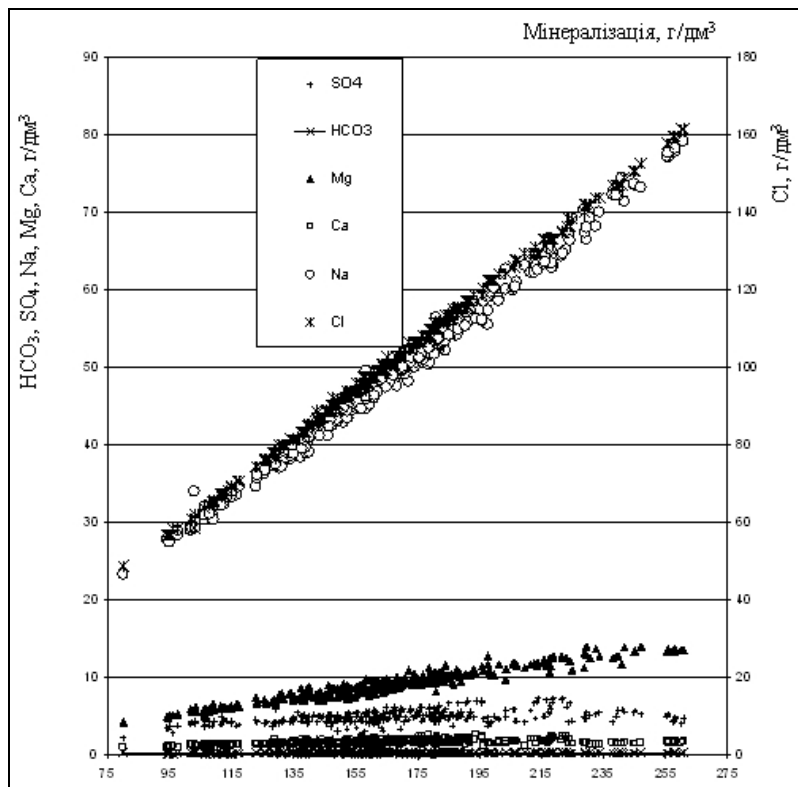


Рисунок 8.2 – Кореляція макрокомпонентів та мінералізації ропи Куяльницького лиману

Аналіз даних фізико-хімічних досліджень дає підставу стверджувати, що основний компонентний склад ропи Куяльницького лиману складають хлорид-іони, іони натрію та магнію. Коливання мінералізації залежать від вмісту цих компонентів. Причому, коливання мінералізації практично не впливають на співвідношення основних компонентів.

Таким чином, за класифікацією, що використовується в бальнеологічній практиці, ропа Куяльницького лиману характеризується як бромний борний йодний хлоридний магнієво-натрієвий розсіл.

З метою прогнозів коливання загальної мінералізації та відповідно основного компонентного складу були побудовані щорічні графіки коливання загальної мінералізації ропи (рис. 8.3).

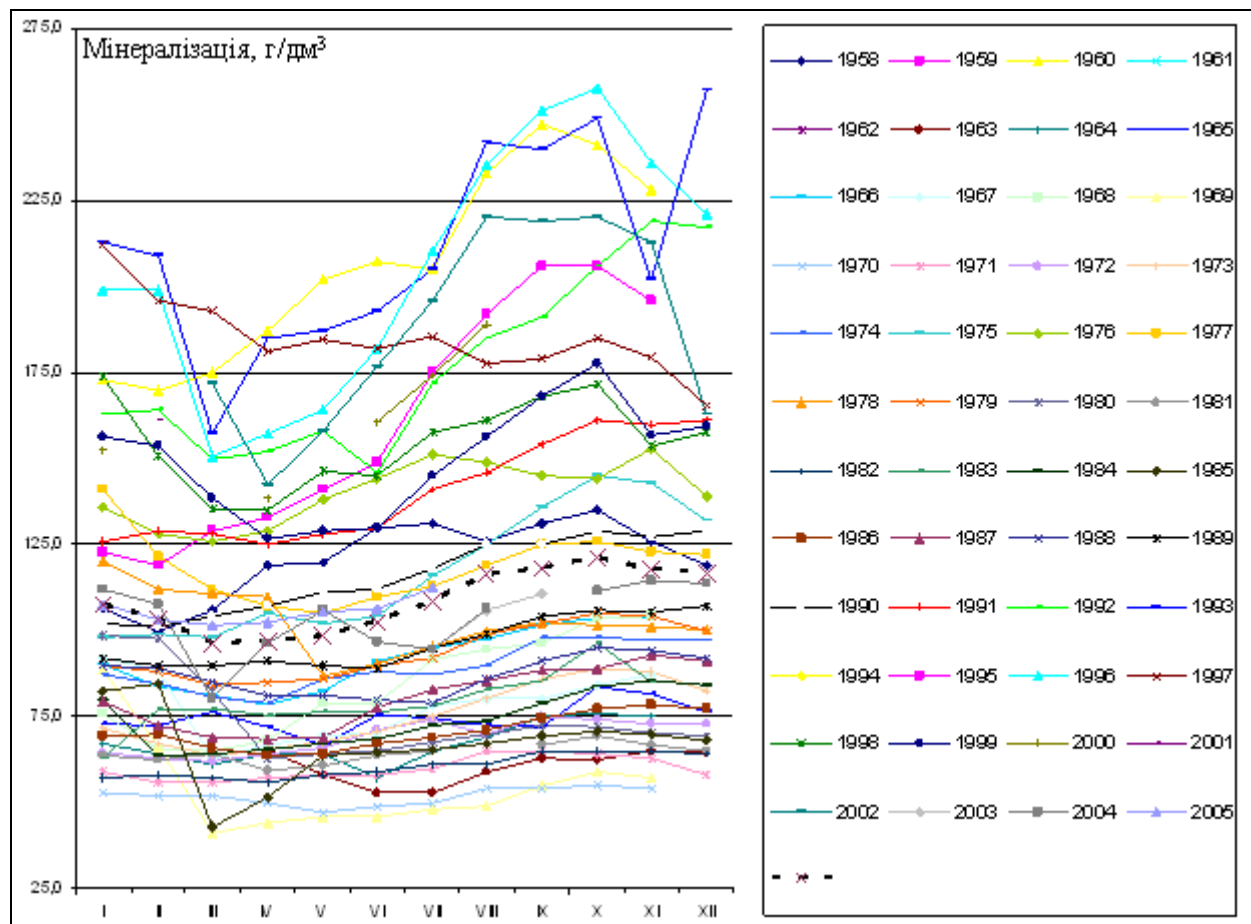


Рисунок 8.3 – Внутрішньорічні коливання мінералізації ропи Куяльницького лиману за період з 1958 по 2005 рр.

За даними фізико-хімічних досліджень розчин пелоїдів характеризується хлоридним магнієво-натрієвим, натрієвим складом з мінералізацією 38,88 (поле 1, проба 2) – 145,59 г/дм³ (поле 2, проба 2).

pH розчину пелоїдів складає 7,05 – 7,15 од.pH. pH осадів нижчий pH розчинів пелоїдів, що пояснюється суспензійним ефектом.

Додатні значення окислювально-відновного потенціалу грязьового розчину від + 110 до + 120 мВ свідчать про наявність окислювальних процесів.

Грубодисперсна частина пелоїдів – тверда основа маси пелоїдів, яка складається з кальцієво-магнезійного скелету та глинистого остову (частинок діаметром більше $0,001 \cdot 10^{-3}$ м). Це, в основному, кристали солей, частинки гіпсу, залишки рослинно-тваринного походження. Перевага частинок діаметром більше $0,01 \cdot 10^{-3}$ м та $0,1 \cdot 10^{-3}$ м небажана в зв'язку з тим, що це знижує в'язко-пластичні властивості пелоїдів. Але, з іншого боку, присутність цих частинок забезпечує нормальний скелет пелоїдів та їх здатність утримувати форму. Глинистий остів дорівнює 17,44 %.

Основні компоненти кальцієво-магнезійного скелету цієї проби пелоїдів: карбонати кальцію CaCO_3 – 9,62 % та магнію MgCO_3 – 2,46 %, а вміст сульфату й фосфату кальцію невеликий та становить 0,15 й 0,21 % відповідно.

Величина гідрофільного колоїдного комплексу досліджених пелоїдів становить 5,07 %. У гідрофільному комплексі переважають речовини мінерального походження.

8.3 Результати повного хімічного аналізу колоїдних дисперсій за схемою Щукарева

Результати повного хімічного аналізу пелоїдів поля 1 (т. 1) і поля 2 (т. 1) наведені в табл. 8.5.

Таблиця 8.5 – Повний хімічний аналіз пелоїдів Куяльницького лиману за схемою Щукарева, %

Компоненти пелоїдів	1951	1964	1965	1968	04.84	06.2004	2008 р.	
							поле 1, т. 1	поле 2, т. 1
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
Рідка фаза						52,93	67,35	67,47
Розчин пелоїдів, у т.ч. вода	54,36	46,30	43,40	46,80	61,80	46,29	57,91	57,69
Розчинені солі:	2,96	6,74	5,55	3,93	5,63	6,64	9,44	9,78
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	0,94				1,74	2,17	2,70	3,08
Ca^+	0,04				0,05	0,09	0,15	0,14
Mg^{2+}	0,11				0,25	0,20	0,52	0,52

Продовження табл. 8.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
SO ₄ ²⁻	0,05				0,17,	0,25	0,39	0,36
Cl ⁻	1,76				3,34	3,87	5,62	5,62
CO ₃ ²⁻	0,01				0,01	-		
HCO ₃ ⁻	0,03				0,07	0,06	0,06	0,06
Тверда фаза								
I Кристалічна частина				40,55	25,62	37,58	23,62	22,33
1 Кальцієво-магнезіальний скелет	5,57				8,47	10,05	8,55	7,09
у т.ч. Ca SO ₄ × 2 H ₂ O	0,15	0,10	0,33	0,93	0,59	—	1,31	1,08
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,27			2,51	0,35	0,61	0,15	0,15
CaCO ₃	5,06		3,29	1,43	6,29	2,64	6,81	5,32
MgCO ₃	0,10		1,07	3,47	1,24	6,80	0,28	0,54
Глинистий остів (силікатні частинки D > 0,001·10 ⁻³ м)	22,99		32,27	32,31	17,45	27,30	15,07	15,24
II Гідрофільний колоїдний комплекс	14,72				12,58	9,72	9,03	10,20
1. силікатні частинки D < 0,001· 10 ⁻³ м	8,51		4,53	4,46	6,34	2,64	2,44	2,86
2. Речовини, розчинні у 10 % HCl, в тому числі:			9,77	6,88	4,40	4,83	4,51	5,10
SiO ₂	2,64		1,20	1,37	0,50	0,25	0,19	0,20
Al ₂ O ₃	2,15		2,19	3,68	3,23	3,47	3,66	4,15
FeO	0,16		0,21	0,22	0,05	0,61	0,19	0,30
MnO	0,06			0,01	0,04	—	0,07	0,06
P ₂ O ₅	-	-	-		0,16	—	—	—
3. Гідротроїліт	0,46	0,30			0,29	0,32	0,34	0,39
4. Органічні речовини, у т. ч. C _{орг.}	2,20	2,55	1,05		1,28	1,83	1,64	1,75
5. Поглинені іони	0,05	0,22	2,76		0,005	0,10	0,10	0,10

Сума розчинених солей розчину пелоїдів становить 9,44 (поле 1) – 9,78 % (поле 2). Основна маса розчинених солей представлена іонами хлоридів та натрію і калію.

Кристалічна частина твердої фази досліджених проб різко знижується від

40,55 (1968 р.) до 7,09 % (2008 р., поле 2, т. 1).

У 2008 р. в пелоїдах визначено підвищену кількість гіпсу – 1,31 % у порівнянні з 1964 р. (0,10 %).

До залізовмісних колоїдів відносяться FeO та Fe_2O_3 . В аеробних умовах проходить окислення розчинних форм заліза. Двовалентне залізо переходить у тривалентне і випадає у вигляді геля гідроксиду, тобто відбувається зменшення концентрації FeO і збільшення Fe_2O_3 (у пробі 2004 р. – навпаки). Так, в досліджених пробах концентрації FeO складають 0,05 (04.1984 р.) і 0,61 % (06.2004), а концентрації Fe_2O_3 складають 0,39 (2008 р., поле 2, т. 1) та 1,30 % (1968 р.). Слід відмітити відсутність P_2O_5 (крім 04.1984 р. – 0,16 %) та незначну кількість MnO (0,01 – 0,07 %).

Поруч із залізовмісними колоїдами в пелоїдах присутні в значних концентраціях SiO_2 : 0,19 (2008 р., поле 1, т. 1) – 2,64 % (1951 р.) та оксид алюмінію: 2,15 (1951 р.) – 4,15 % (2008 р., поле 2, т. 1).

Протягом тривалого часу відмічаються також і зміни у концентрації органічної речовини: зменшення з 2,20 (1951 р.) до 1,05 % (1965 р.) та поступове зростання до 1,75 % (2008 р., поле 2, т. 1).

8.4 Методика оцінки фізико-хімічних та мікробіологічних процесів у пелоїдах Куяльницького лиману при його обводненні морською водою з Одеської затоки шляхом фізичного (експериментального) моделювання

Для максимально точної оцінки впливу морської води Одеської затоки на стан, склад, лікувальні властивості пелоїдів Куяльницького лиману необхідно створити фізичну (експериментальну) модель впливу морської води на фізико-хімічний склад та мікробіологічні процеси лікувальних пелоїдів лиману.

Для цього, перш за все, потрібно відібрати проби ропи та пелоїдів безпосередньо з лиману. Відбір пелоїдів необхідно робити з максимальним збереженням їх вертикальної структури з 4-х точок лиману – там, де потужність шару ропи є максимальною (приблизно 0,5 м), а також при глибинах 0,3, 0,1 та 0,0 м (всього 4 проби).

Окрім того, потрібно здійснити відбір проб морської води з Одеської затоки у місці, де планується надходження її до лиману. Всього треба відібрати 1 пробу ропи та 1 пробу морської води.

Далі, в лабораторії, відібрані 4 зразка пелоїдів необхідно обережно залити шаром суміші ропи та морської води у наступних пропорціях:

- а) для проб, які відібрані з глибини 0,5 м – 5:2;
- б) для проб, які відібрані з глибини 0,3 м – 3:2;
- в) для проб, які відібрані з глибини 0,1 м – 1:2;

г) для проб, які відібрані з глибини 0,0 м – 0:1.

Підготовлені таким чином зразки пелоїдів зберігаються в лабораторії на прозі 6 місяців.

У процесі експерименту проводяться наступні повні фізико-хімічні дослідження:

- повні фізико-хімічні аналізи ропи та морської води (2 аналізи);
- повні фізико-хімічні аналізи пелоїдів на початку та наприкінці експерименту (8 аналізів).

Також в процесі моделювання, щомісячно виконується короткі аналізи пелоїдів (20 аналізів).

У процесі експерименту проводяться наступні мікробіологічні дослідження:

- повний мікробіологічний аналіз пелоїдів на початку та кінці експерименту (8 аналізів);
- визначається бактерицидність пелоїдів на 1-й, 3-й, 6-й місяці експерименту (12 аналізів);
- короткі мікробіологічні аналізи на 2-й, 3-й, 4-й, 5-й місяці (16 аналізів).

На підставі отриманих при фізичному моделюванні експериментальних результатів очікується встановлення у лабораторних умовах впливу морської води Одеської затоки на формування фізико-хімічного складу та мікробіологічного ценозу пелоїдів Куяльницького лиману, що дозволить при обводненні лиману водами Чорного моря прогнозувати можливість аналогічних процесів у цій водоймі.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Основні результати, висновки та рекомендації, отримані при виконанні НДР:

1. Рівень води в Куяльницькому лимані на протязі 2009-2012 рр. мав сталу тенденцію до зменшення, а його відмітки в 2012 р. на 15-35 см нижчі за відмітки аналогічних періодів минулих 2010-2011 рр. Відмітка рівня води в лимані в серпні-вересні 2012 р. досягала майже мінус 7,00 м БС. Це призвело до катастрофічного обміління лиману та пересихання деяких частин його акваторії.

2. Ропа гіперсолоного Куяльницького лиману при зниженні рівнів води в літні періоди 2009-2012 рр. перетворювалась в перенасичений («кріпкий») водно-сольовий розчин, мінералізація якого в серпні 2009 р. сягала 390 ‰, а з квітня по серпень 2012 р. зросла з 230 до 365 ‰, «опріснюючись» тільки в періоди весняного водопілля та короткочасних інтенсивних зливових опадів, як, наприклад, наприкінці травня 2012 р., коли солоність зменшилась до 205 ‰. В умовах такого водно-сольового режиму Куяльницького лиману, в літні періоди у водоймі відбувається самосадка розчинених в ропі лиману солей та утворення «соляної пустелі» (насамперед у верхній частині) як, наприклад, в липні-серпні 2009-2012 рр.

3. Поповнення Куяльницького лиману морською водою має більш ніж столітню історію та невід’ємно пов’язано з розвитком соляного промислу у водоймі. Для стабільного функціонування та розвитку промислової добучі солі в період з 1859 по 1878 рр. Куяльницький лиман було перегороджено в трьох місцях дамбами (залишки яких існують до сьогодні) на дві основні частини: північну – для затримки прісних річкових вод, та південну – солесадкову для промислової добучі солі, де рівень ропи регулювався впуском води з моря. За офіційними даними, в ХХ ст. Куяльницький лиман також ще двічі поповнювали морською водою – в 1907 та 1926 рр., через канал прокладений в 1890-1901 рр. для забезпечення потреб солепромислів в південній частині лиману. Промисел солі здійснювався на Куяльницькому лимані аж до 1931 р. і за 70 років солепромислу було видобуто 1,5 млн. т.

4. В 1941-1942 рр. Куяльницький лиман на 70 % об’єму поповнився водою з Хаджибейського лиману після руйнування (підриву) захисної дамби. Вода затопила територію пересипу і потрапила в Куяльницький лиман. За даними водомірних спостережень рівень води в лимані перевищів в червні 1944 р. відмітку мінус 2,00 м БС.

5. З 1859 р. і по сьогоднішній природний водно-сольовий режим Куяльницького лиману було трансформовано інтенсивною господарською діяльністю як в акваторії водойми, так і на водозбірному басейні лиману, тому

хід рівнів та солоності води лиману на протязі останніх 150 років не вірно називати природним.

5. Природні води р.Дністер не можуть розглядатися як альтернативне джерело поповнення Куяльницького лиману прісною водою, тому що існуючий рельєф місцевості не дозволяє створити самоплинний канал, який забезпечить подачу дністровських вод в лиман, а наявна система напірних та самоплинних водоводів питної води від ВОС «Дністер» до м. Одеса та розвідних мереж не дозволяє виділити з неї частину трубопроводів для подачі по ним природної (неочищеної) річкової води.

6. Проектна розрахункова продуктивність ВНС «Котовського» (ВНС № 5), з якої є технічна можливість поповнювати Куяльницький лиман питною водою, становить 350 тис. м³/д, що в 3-9 разів більше об'ємів води необхідних для живлення водойми (в перший рік – 40-50 млн. м³ або 110-137 тис. м³/д, а в наступні роки щорічно – до 15 млн. м³ або до 42 тис. м³/д, при рівномірній подачі води протягом року).

Водопровідна вода в напірних водоводах на виході з ВОС «Дністер» відповідає ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», але за вмістом залишкового хлору найсприятливішим періодом наповнення лиману питною водою є літні місяці року, що співпадає з періодом інтенсивного випаровування води з водної поверхні лиману, тобто це буде сприяти підтримці необхідного рівня і солоності води в лимані.

7. Поповнення Куяльницького лиману питною водою за сучасних умов є економічно недоцільним, через її високу собівартість (2,736 грн. за 1 м³ станом на вересень 2012 р.). Вартість скинутої в Куяльницький лиман питної води в перший рік наповнення (40-50 млн. м³) становитиме 110-140 млн. грн., а щорічні витрати, пов'язані з поповненням лиману водою (до 15 млн. м³) питної якості, складуть в середньому 40 млн. грн.

10. Існує технічна можливість подачі вод Хаджибейського лиману або частково очищених скидних вод СБО «Північна» в Куяльницький лиман, для чого необхідно прокласти напірний трубопровід від існуючої КНС-25 або здійснити врізку в напірний трубопровід до Хаджибейському лиману в напрямку Куяльницького лиману. Орієнтовна довжина такого напірного трубопроводу буде дорівнювати 3,0-3,5 км, а вартість будівництва – не менш ніж 18-20 млн. грн. При реалізації схеми поповнення Куяльницького лиману водами Хаджибейського лиману або очищеними стічними водами СБО «Північна» можливе використання існуючого насосного обладнання КНС-25.

Але через невідповідність сучасним вимогам технологій очищення стічних вод, які застосовуються на СБО «Північна», поповнення Куяльницького лиману водами Хаджибейського лиману або стічними водами з СБО «Північна» на даний час не рекомендується. Цей варіант може розглядатися як

альтернативний тільки після корінної реконструкції очисних споруд СБО «Північна» та введення нових сучасних технологій очистки стічних вод м.Одеси від забруднюючих речовин.

11. Аналіз картографічних матеріалів, супутникових і аерофотографічних знімків, натурні обстеження сучасного стану Пересипу між лиманом і морем та нівелювання його поверхні від урізу моря до урізу лиману дозволили встановити:

- перевищення рівня води Чорного моря в Одеській затоці над рівнем води Куяльницького лиману в нижній його частині складає 6,0-6,5 м;
- природні відмітки поверхні Пересипу становлять в середньому 0-0,5 м БС при середньорічній відмітці рівня моря мінус 0,11 м БС;
- відстань від урізу води моря до урізу води лиману становить 1575-1600 м і залежить від рівня води в лимані;
- рельєф поверхні пересипу забезпечує надходження морської води в лиман самопливом, що дозволяє виключити з розгляду будівництво насосних станцій.
- під насипом залізної дороги на ділянці станції «Одеса-Сортирувальна» та насипом автомобільної дороги «Одеса-Об'їзна» є дві водопропускні споруди, які можуть бути використані, як складові частини, при будівництві штучного з'єднувального каналу або труби.

Отримані дані свідчать про можливість будівництва штучного з'єднувального каналу або трубопроводу, через які морські води самопливом (без використання насосних станцій) будуть наповнювати лиман, а також визначити трасу їх проходження на місцевості. Для регулювання кількості води, що поступає в лиман самопливом, необхідно передбачити дросельний затвор.

12. В порівнянні з трубопроводом, варіант будівництва відкритого каналу є менш переважним, зважаючи на складність його експлуатації в умовах міста (можливість засмічення населенням та рекреантами, виникнення застійних явищ) та необхідність організації переходів каналом автомобільних доріг і залізниці.

13. Для поповнення лиману морськими водами через з'єднувальний трубопровід «море-лиман» запропоновано розглянути можливість використання існуючого зливового каналізаційного залізобетонного трубопроводу діаметром $D = 1000$ мм, довжиною 1170 м з ухилом в сторону лиману 3,86 %, який може забезпечити надходження самопливом морських вод до лиману з витратою води приблизно $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$ або щодобово – до 86400 м^3 , а щомісячно – до 2,6 млн. м^3 . При з'єднанні наявних зливових каналізаційних трубопроводів – чавуного ($D = 300$ мм) та залізобетонного ($D = 1000$ мм) під вул. Красна (відрізок довжиною приблизно 11 м), для забезпечення поповнення Куяльницького лиману морськими водами з витратою приблизно $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$

залишитися прорити канал або прокласти трубу довжиною 225 м на території парку «Лузанівка» (60-70 м західніше центральної алеї) від його північної межі до урізу моря.

14. Надходження морської води в лиман на протязі року, залежно від діаметру трубопроводу «море-лиман», забезпечить наступне підвищення відміток рівня води в лимані (при початковій відмітці мінус 6,41 м БС): при діаметрі 1 м – підвищення рівня на 1,1 м; при діаметрі 1,5 м – на 2,5 м; при діаметрі 2 м – на 4,1 м. Використовуючи затвор на трубопроводі можна регулювати надходження води в лиман залежно від показників його водно-сольового режиму.

15. Для поповнення Куяльницького лиману морською водою, у першому наближенні, обраний зимово-весняний період року, виходячи з наступних позицій:

- для цього періоду року притаманна найбільша вітрова активність, яка бути сприятиме інтенсивному водооновненню вод Одеської затоки чистими водами відкритого моря;
- низька температура води обумовлює мінімальні швидкості хіміко-біологічних процесів;
- через відсітність або мінімальні значення випаровування з водної поверхні лиману ефективність «розпріснення» його вод морськими буде максимальною (див. висновок 22) .

16. За результатами імітаційного моделювання водно-сольового балансу Куяльницького лиману в період з 1960 по 2010 рр. за умови наповнення водойми на початку кожного року водами Чорного моря або прісною (наприклад, дністровською водою питної якості) до нормального підпертого рівня (НПР), встановленого на відмітці мінус 5,50 м БС, визначені можливі середньорічні значення рівнів та солоності води лиману.

При регулюванні гідроекологічного режиму Куяльницького лиману у вказаний спосіб морськими водами з припливом 1 і 3 м³/с, середнє багаторічне значення солоності ропи за період з 1960 по 2010 рр. становило би 103 ‰, мінімальна солоність – 48 ‰ (у роки з високою водністю), максимальна солоність – 172 ‰ (у роки низької водності), а при використанні дністровських вод середня багаторічна величина солоності ропи дорівнювала би 83 ‰, мінімальна солоність – 41 ‰ (у роки з високою водністю), максимальна солоність – 124 ‰ (у роки низької водності). Тобто, в обох випадках солоність ропи лиману знаходилась би у межах сприятливих як для лікувальних цілей, так і для існування специфічних гідробіонтів лиману та створення лікувальної грязі.

17. Встановлено, що при формуванні весняного водопілля одновідсоткової забезпеченості до лиману з його басейну надійде об'єм води рівний 90 млн. м³. При формуванні дощового паводку одновідсоткової

забезпеченості стік з водозбору до лиману надійде 42 млн. м³. При накладанні цих явищ одне на інше – об'єм припливу води в лиман складе майже 132 млн м³. Із порівняння можливих максимальних відміток рівня води в лимані (мінус 2,4-3,0 м БС) після проходження водопілля або паводку одновідсоткової забезпеченості, та при їх накладанні, з картами та планами місцевості нижньої частини лиману і пересипу витікає, що у сучасних умовах затоплення території санаторію, об'їзної дороги, пересипу не відбудеться (наприклад, найнижчі відмітки об'їзної дороги становлять приблизно мінус 1,0 м БС), тому обрана відмітка НПР = -5,50 м БС може вважатися достатньо обґрунтованою та надійною.

18. Встановлено, два можливих варіанти поповнення лиману морськими водами – з припливом 3 м³/с та 1 м³/с.

В першому варіанті, для функціонування лиману у вказаному режимі необхідно забезпечити приплив морських вод в лиман впродовж 7-60 діб з витратою води 3 м³/с (за виключенням першого року). В перший рік період наповнення Куяльницького лиману до відмітки НПР (мінус 5,50 м БС) буде становити приблизно 7-9 місяців (об'єм морських вод, що надійдуть до лиману – 54,17 млн. м³), при початковому значенні рівня води в лимані мінус 7,00 м БС та об'ємі – 13,67 млн. м³.

В другому варіанті, при поповненні лиману морськими водами через трубу з пропускною здатністю 1 м³/с, в перші два роки приплив морських вод до лиману повинен відбуватися безперервно на протязі майже 22,5 місяців (678 діб). В наступні роки, для поповнення лиману водами Чорного моря в рекомендований зимово-весняний період року, приплив морських вод з витратою 1 м³/с можна забезпечити впродовж 17-180 діб (або 0,5-6,0 місяців) в залежності від попереднього наповнення водойми.

В перший рік, при використанні існуючого трубопроводу з пропускною здатністю 1 м³/с, наповнення лиману до НПР = - 5,50 м БС не відбудеться, і до водойми надійде 31,55 млн. м³ морської води. Рівень води в лимані зросте на 1,26 м, а його відмітка в кінці року становитиме мінус 6,26 м БС. Таке поступове зростання рівня води в лимані задовольняє вимогам бальнеологів, щодо запобігання різкого впливу морських вод на процес пелоїдогенезу в Куяльницькому лимані. На другий рік припливу морських вод з витратою 1 м³/с, в лиман за 313 діб надійде 26,61 млн. м³ морських вод. Рівень води зросте лише на 0,4 м, але відмітка рівня води у водоймі в кінці року вже становитиме мінус 5,94 м БС. В наступні роки поповнення лиману морськими водами до НПР = - 5,50 м БС буде мати періодичний характер: періоди від 2 до 8 років – з об'ємами поповнення морськими водами від 1,47 до 15,61 млн. м³; періоди від 1 до 12 років – коли не буде потреби в поповненні лиману водами Чорного моря або з інших водойм.

19. Гідродинамічне моделювання просторового розподілу концентрації зважених наносів на ділянці прибережної зони моря в районі пляжу «Лузанівка», де планується будівництво гідротехнічних споруд морської частини з'єднувального трубопроводу або каналу, показало, що при сталому південному вітрі швидкістю 15 м/с обвалення вітрових хвиль та зкаламучування донного матеріалу відбувається на мілководному узбережжі, починаючи з глибин 3,0-3,5 м на відстані 300-335 м від берега. Тому морський оголовок гідротехнічної споруди (труби) рекомендується виводити за межі цієї мілководної зони.

Варіант розміщення оголовку труби на відстані 80-110 м від берега за умови, що нижня його частина повинна бути піднята над дном на відстань не менш 1,0 м, потребує додаткового дослідження й обґрунтування шляхом виконання розрахунків при сталих вітрах меншої швидкості, які мають більшу повторюваність.

20. Гідродинамічне моделювання змін рівня і солоності вод в Куяльницькому лимані під час надходження до нього морської води через штучний сполучний канал або трубопровід, з врахуванням впливу випаровування та атмосферних опадів, та за умови відсутності бокового припливу прісних вод, показало, що при інтенсивності надходження морських вод 3 м³/с наповнення лиману до відмітки рівня води мінус 5,5 м БС відбувається за 140 діб (з початку року), при початковому значенні рівня води в лимані мінус 6,42 м БС . Наприкінці травня діапазон мінливості солоності води на основній акваторії лиману (за виключенням його верхів'я) складає 75-100 ‰, а максимальна солоність води у верхів'ї лиману – 118 ‰. Різниця між значеннями солоності води в південній і північній частинах основної акваторії лиману, за виключенням його верхів'я, змінюється від 40-50 ‰ у січні-березні до 25 ‰ – наприкінці травня.

При надходженні морських вод до лиману з інтенсивністю 1 м³/с підвищення рівня води в лимані відбувається тільки до початку літнього періоду року (мінус 6,09 м БС). Влітку надходження морських вод з витратою 1 м³/с компенсується втратами води за рахунок перевищення випаровування над атмосферними опадами. Різниця між значеннями солоності води в південній і північній частинах основної акваторії лиману, за виключенням його верхів'я, змінюється від 50 ‰ – у перші місяці року до 30-40 ‰ – у липні-серпні, і до 20 ‰ – наприкінці жовтня. Діапазон мінливості солоності вод на основній акваторії лиману складає наприкінці травня 120-160 ‰, серпня – 100-130 ‰, жовтня – 80-110 ‰.

21. Ропи Куяльницького лиману (метаморфізована морська вода) і води Одеського регіону північно-західної частини Чорного моря (ПнЗЧМ) відносяться до хлоридно-натрієвих вод. Значні відмінності в солоності води цих акваторій (максимальна солоність в поверхневому шарі Одеського регіону 17,8

‰, а в Куяльницькому лимані – більше 300 ‰) відображаються на вмісті головних іонів: аніонів – хлору, сульфатів, карбонатів і гідрокарбонатів; катіонів – натрію, кальцію і магнію.

Води Одеського регіону ПнЗЧМ містять значно менше іонів кальцію ($\approx$ в 5 разів), магнію ($\approx$ в 30 разів), сульфатів ($\approx$ в 3 рази), ніж ропа Куяльницького лиману. Однак, відсоткове співвідношення головних іонів в ропі Куяльницького лиману і воді північно-західної частини Чорного моря схожі, а значення хлорних коефіцієнтів (відношення кількості солей, що містяться в природній воді, до вмісту хлору) близькі: 1,62 для Куяльницького лиману, 1,82 для ПнЗЧМ.

22. При солоності вище 150 ‰ в лимані неодноразово спостерігали процес осідання солі, який супроводжувався випадінням гіпсу (CaSO_4) і тому різким зменшення іонів SO_4^{2-} и Ca^{2+} . По мірі розведення прісними водами солей, що осіли, відбувалося розчинення гіпсу, який не увесь повертався до лиману, так як в періоди низьких концентрацій солоності вод, які сприяють життєдіяльності сульфат-редуючих бактерій, значна частина гіпсу відновлювалась і перетворювалась в вуглекислий кальцій і сірководень, велика кількість яких скрізь відмічена в мулових відкладеннях лиману.

23. Мінливість концентрацій карбонатів і гідрокарбонатів у водах лиману і ПнЗЧМ залежить від показника рН середовища, тобто, від інтенсивності розвитку продукційно-деструкційних процесів. Рівень і діапазон мінливості біогенних речовин, здатних впливати на евтрофування природних вод, в ропі Куяльницького лиману значно вище, ніж в воді Одеського регіону. В Куяльницькому лимані при солоності більше 150 ‰ відбувається зниження розвитку продукційних і уповільнення деструкційних процесів.

24. В ропі лиману відмічали високі концентрації амонійного азоту, сполук фосфору і розчиненої органічної речовини, концентрації якої, у порівнянні з 1960-1970 рр. минулого сторіччя, збільшились в 4-6 рази, що пов'язано з низьким ступенем розкладання органічної речовини.

В ропі лиману (особливо в його південній частині) реєстрували високі концентрації забруднюючих речовин: нафтопродуктів і продуктів їх окислення (формальдегід, феноли), важких металів (мідь, свинець, кадмій, цинк, хром, ванадій) та інш. Концентрації нафтопродуктів і свинцю в окремих випадках перевищували ГДК в декілька разів.

25. Відмінною особливістю Куяльницького лиману є запаси пелоїдів, в яких концентрації мінеральних і органічних сполук, включаючи і біогенні речовини, перевищують концентрації в ропі. Розбавлення Куяльницької ропи з солоністю більше 300 ‰ морськими водами Одеського регіону призведе до значного виходу цих сполук з пелоїдів в ропу. Разом з морською водою в Куяльницький лиман будуть надходити розчинені речовини, включаючи хлориди і сульфати.

26. Позитивним моментом надходження чорноморської води в Куяльницький лиман може стати надходження сульфаторедукуючих бактерій, які завжди присутні в морських водах. Сульфаторедукуючі бактерії – анаеробні гетеротрофи, які здатні вилучати кисень з сульфатів, при відновленні яких в осад випадає кальцит (CaCO_3) і виділяється сірководень. Для життєдіяльності сульфаторедукуючих бактерій велике значення має присутність у ропі і пелоїдах лиману вуглецю, водню, сульфатів, фосфатів, заліза і азоту аміаку. Життєдіяльність бактерій буде сприяти відтворенню запасів куяльницької грязі, яке в даний час не відбувається через надвисоку солоність води і зниження біологічної активності флори і фауни, яка бере участь в утворенні пелоїдів.

27. Надходження в Куяльницький лиман дністровських вод не викликає помітного збільшення концентрацій іонів Ca^{2+} і випадіння гіпсу (CaSO_4), так як їх концентрації в лимані в 17-39 разів перевищують значення в дністровській воді, а іони SO_4^{2-} в дністровській воді присутні в незначних концентраціях. При подальшому рості солоності ропи в лимані утворення гіпсу буде проходити і без розбавлення прісними водами за рахунок порушення іонної рівноваги в системі ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$), так як на відміну від MgSO_4 , який добре розчинний у воді (при 70°C – $59 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$, при 20°C – $44,5 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$), максимальна розчинність CaSO_4 складає $2,1 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ при 40°C , і з підвищенням температури розчинність знижується.

Експериментально встановлено, що розведення води Куяльницького лиману з солоністю 304 ‰ (вода відібрана 3 грудня 2012 р., горизонт – 0,5 м) при 20°C адекватною кількістю водопровідної (дністровської) води не викликало випадіння гіпсу. Нагрівання розчину до 50°C (максимальна розчинність при 40°C складає $2,100 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$), а потім його охолодження до 5°C (так зване висалювання гіпсу в результаті зміни термодинамічних умов пересичених розчинів) також не викликало випадіння гіпсу.

28. За оцінками можливих напрямків відновлення біоти Куяльницького лиману, при альтернативному наповненні його водами різного походження, найбільш оптимальними визначені морські, з якими будуть привнесені галотолерантні види, що складають екобіоморфи з певною стійкістю до підвищеної солоності. З них в безпосередньо Куяльницькому лимані вже реєструвалось біля 100 видів фітопланктону та фітобентосу і така ж кількість видів з тваринного планктону і бентосу.

29. За даними, отриманими при порівнянні складу і закономірностей формування галофільної біоти в водоймах однотипних з Куяльником, можна впевнено стверджувати про можливість її відновлення в лимані в діапазоні розрахункової солоності, яка очікується при наповненні морською водою. Динаміка формування біоти в перший рік вбачається в послідовній заміні тимчасових комплексів екобіоморф за виникаючими при розпрісненні хорогалінними порогами перехідних зон солоності – морської зони у 26-29 ‰,

основної морської зони 26-42 ‰ до перехідної морської-гіпергалінної зони 40-51 ‰, після чого повинна натуралізуватись стала біота бальнеологічного значення (при 100-180 ‰) – це 1 вид фільтраторів з числа артемій, 6-10 видів ультрагалобних мікроводоростей планктону та бентосу з такими домінантами як *Dunaliella Salina*. У зонах зниженої солоності (45-90 ‰) можливе тимчасове формування зоопланктонних та зообентосних спільнот гідробіонтів з короткими циклами розвитку, які дадуть додаткове біорізноманіття. Найбільш вірогідними домінантами будуть такі як *Brachionus plicatilis*, *Hexarthra oxyuris*, *Moina satinet*, галофільні хірономіди, мокреці та коротковусі двокрилі з родин *Stratiomyidae*, *Tabanidae*, *Empididae* та ін., що дають значну біомасу і забезпечують первинну трансформацію надлишкового органічного опаду.

Не виключаючи можливість існування в лимані застійних зон з солоністю вище 200 ‰ (межа, за якою припиняється існування бальнеологічної біоти), можна очікувати появу іншого виду з числа артемій – *Artemia urmiana*, який є екологічним аналогом типового аборигенного виду *Artemia salina* (syn. *Artemia tunisiana*) з тією відмінністю, що *Artemia urmiana* здатний існувати при мінералізації до 370 ‰, забезпечуючи функціональну стабільність повноцінної бальнеологічної спільноти в широких межах коливання солоності і за екстремальних кліматичних проявів.

30. Наданий опис фізико-хімічних характеристик пелоїдів Куяльницького лиману, макроскладу ропи та розчину пелоїдів, приведені результати повного хімічного аналізу колоїдних дисперсій за схемою Щукарева.

Описані зміни, що сталися з пелоїдними системами Куяльницького лиману, обумовлені як процесом пелоїдоутворення та коливаннями гідрологічного режиму водоймища, так і постійною експлуатацією покладу пелоїдів у його південній частині. Відмічається зниження процесу біохімічної сульфатредукції, сучасний стан мікробних ценозів пелоїдів Куяльницького лиману свідчить про їх слабкий вплив на процес пелоїдогенезу. Дослідження бактерицидної дії пелоїдів Куяльницького лиману при контамінуванні їх тест-культурою *E. coli*, показали, що пелоїди можуть бути віднесені до високобактерицидних.

Результати мікробіологічних досліджень свідчать про наявність у пелоїдах Куяльницького лиману мікроорганізмів, які відрізняються за біологічними властивостями та активністю метаболізму. Інтенсивність розвитку сульфатвідновлювальних бактерій оцінюється 3-4 балами. Найбільш активними є гнилісні мікроорганізми – інтенсивність розвитку 5 балів. Низькою є кількість важливих у пелоїдогенезі залізоокислювальних бактерій.

На мікробний ценоз пелоїдів південної частини Куяльницького лиману у значній мірі впливає антропогенне навантаження, що виражається в загальному збідненні таксономічних груп, перерозподілі живильних ланцюгів з включенням вуглецьвмісних речовин антропогенного походження. Відповідно,

пелоїди південної частини Куяльницького лиману за загальним сучасним станом мікробного ценозу не можуть бути рекомендовані для процедур, у яких передбачено контакт нативних пелоїдів з слизовою оболонкою організму людини.

Основний компонентний склад ропи Куяльницького лиману складають хлорид-іони, іони натрію та магнію. Колювання мінералізації залежать від вмісту цих компонентів. Причому, колювання мінералізації практично не впливають на співвідношення основних компонентів. За класифікацією, що використовується в бальнеологічній практиці, ропи Куяльницького лиману характеризується як бромний борний йодний хлоридний магнієво-натрієвий розсіл. Розчин пелоїдів відноситься до хлоридних магнієво-натрієвих, натрієвих.

У складі кальцієво-магнезіального скелету пелоїдів протягом більше 50-ти років відмічається збільшення вмісту гіпсу від 0,15 (1951 р.) до 1,08-1,31 % (2008 р.). Для порівняння, у пелоїдах оз. Велике (курорт Бердянськ) - 1,46 %.

Дослідженнями, які були виконані в 1995 р., було показано, що при визначенні високих концентрацій важких металів в пелоїдах необхідно враховувати вміст водорозчинної форми, як найбільш доступної. Отримані дані свідчать про переважне зв'язування свинцю органічною речовиною пелоїдів (59-80 %), розчинність яких може бути досягнута лише при зменшенні рН (3- 5 од. рН) та високих значеннях Eh. Тому при надходженні морських вод до Куяльницького лиману необхідно враховувати цей факт.

31. Для оцінки впливу надходження морських вод до Куяльницького лиману необхідне обов'язкове проведення моніторингових досліджень щодо визначення основних фізико-хімічних показників, мікробіологічних властивостей та експериментальних досліджень на лабораторних тваринах для оцінки безпечності та наявності біологічної активності пелоїдів. Розроблена методика лабораторної оцінки змін фізико-хімічних та мікробіологічних процесів у пелоїдах Куяльницького лиману при його обводненні морською водою з Одеської затоки.

32. Зважаючи на критичну ситуацію, яка склалася через катастрофічне обміління Куяльницького лиману в останні роки, виникнення наявної загрози втрати його унікальних лікувальних, бальнеологічних, рекреаційних ресурсів, загрозу розвитку екологічної катастрофи, пов'язаної з можливим засоленням ґрунтів прилеглих до лиману територій, живлення лиману водами Чорного моря через штучний з'єднувальний трубопровід або канал є єдиним, найбільш екологічно і економічно виправданим варіантом, який може бути рекомендований до реалізації.

33. Рекомендується режим поповнення лиману морськими водами з припливом 1 м³/с, який повністю задовольняє пропозиціям і вимогам бальнеологів, біологів та гідрохіміків, щодо плавного щорічного наповнення

лиману морськими водами (не більш ніж на 1,0-1,5 м), забезпечуючи створення умов для поступової адаптації екосистеми водойми до менш мінералізованих морських вод та запобіганню різкого впливу морських вод на процес пелоїдогенезу в Куяльницькому лимані. Крім цього, починаючи з третього року поповнення лиману морськими водами з припливом $1 \text{ м}^3/\text{с}$, період такого поповнення буде тривати 0,5-6,0 місяців, тобто буде повністю проходити в зимово-весняний період року.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Регіональна програма збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки: Рішення Одеської обласної ради VI скликання від 28.10.2011 р. № 270-VI.
2. Водний кодекс України: Постанова Верховної Ради України від 6 червня 1995 р. № 214/95-ВР (Відомості Верховної Ради України, 1995, № 24, ст. 190). Із змінами, внесеними згідно із Законами України (станом на 27.09.2011 р.) та Рішення Конституційного Суду України № 10-рп/2008 (v010p710-08) від 22.05.2008 р.
3. Кодекс України про надра; Лісовий кодекс України; Водний кодекс України: чинне законодавство зі змінами та допов. станом на 27 верес. 2011 р.: (офіц. текст). – К.: Паливода А.В., 2011. – 148 с. – (Кодекси України).
4. Про затвердження переліку водних об'єктів, що відносяться до категорії лікувальних: Постанова Кабінету Міністрів України № 1499 від 11.12.1996 р.
5. О границах округа и зон санитарной охраны курорта Куяльник в Одесской области: Постанова Ради Міністрів УРСР № 102 від 07.03.1985 р.
6. 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.
7. Гопченко Є.Д., Гриб О.М. Оцінка складових водного балансу Куяльницького лиману та визначення причин сучасного обміління водойми // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2010. – Вип. 51. – С. 200-215.
8. Стан гідрографічної мережі річки Великий Куяльник в умовах водогосподарських перетворень на її водозбірному басейні: Звіт з НДР. Од. держ. екол. ун-т. – Одеса, 2011. – 165 с.
9. Актуальні проблеми лиманів північно-західного Причорномор'я: Монографія / За ред. Ю.С. Тучковенко, Є.Д. Гопченка. – Одеса: ТЕС, 2012. – 224 с.
10. Про внесення змін до рішення Одеської обласної ради VI скликання від 28.10.2011 р. № 270-VI «Про затвердження Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману» (Розроблення проектно-кошторисної документації щодо спорудження гідротехнічної споруди зі з'єднання Куяльницького лиману та Одеської затоки впродовж 2012-2013 роки): Рішення Одеської обласної ради VI скликання від 28.08.2012 р. № 587-VI.
11. Рішення Басейнової Ради річки Великий Куяльник та Куяльницького лиману: Протокол засідання від 07.09.2011 р.
12. Рішення Всеукраїнської науково-практичної конференції «Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення» (12-14 вересня 2012 р., м. Одеса) від 14.09.2012 р.

13. Рішення Ради Південного наукового центру Національної академії наук України Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України: Протокол засідання № 1/2012 від 12.10.2012 р.

14. Тимченко В.М. Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья. – К.: Наук. думка, 1990. – 240 с.

15. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоёмов Украины: Монография. – К.: Наук. думка, 2006. – 384 с.

16. Геоэкологический анализ ситуации и разработка схем мероприятий по улучшению водно-солевого режима Куяльницкого лимана: Отчёт о НИР. Од. гос. ун-т им. И.И. Мечникова. – Одесса, 1995. – 190 с.

17. Лиманы Северного Причерноморья / Полищук В.С., Замриборщ Ф.С., Тимченко В.М. и др. – К.: Наук. думка, 1990. – 204 с.

18. Природа Одесской области. Ресурсы, их рациональное использование и охрана. – К.: Вища шк., 1979. – 143 с.

19. Розенгургт М.Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. – К.: Наук. думка, 1974. – 225 с.

20. Вырижковский В.К., Плащев А.В., Чекмарев Г.А. Геология шельфа СССР. Лиманы. – К.: 1984. – 176 с.

21. Осмоловський-Ярошенко А.Р. Історія наших лиманів за теорією і спостереженнями // Зап. Од. наук. при ВУАН Тар. – 1929. – Ч. 3. – С. 39-74.

22. Муха Б.Б. О причинах обмеления рек и некоторых природных явлений на юге Украины по оценкам исследователей XIX-XX веков. – Известия Музейного Фонда им. А.А. Браунера. – 2011. – Т. VIII. – № 1. – С. 19-26.

23. Шмаков Г. Одесские лиманы // Тр. Од. стат. ком. – Вып. II. – С. 61.

24. Одесские лиманы: соляные промыслы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://odessa.club.com.ua> (станом на 17.11 2010 р.)

25. Рудской М.П. О происхождении лиманов Херсонской губернии // Зап. Новорос. общ. естествоисп. – 1896. – Т. XX. – Вып. 1 (Тр. Комиссии по исследованию лиманов). – 48 с.

26. Вельможко А. Куяльник: Мертвое море Одессы может превратиться в соляную пустыню [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://realityinua.com> (станом на 26.11.2012 р.).

27. История одной плотины – как Куяльницкий лиман разделили на две части [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kaiser-w.livejournal.com> (станом на 09.12 2012 р.).

28. Куяльницкая плотина: скрытое стало явным [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://davauproedem.blogspot.com> (станом на 09.12 2012 р.).

29. Бицилли М.В. Годовой сток бассейна Куяльницкого лимана // Тр. Од. гидромет. ин-та. – 1958. – Т. XII. – С. 235-243.

30. Бурксер Є.С. Солоні озера та лимани України (гідрохімічний нарис) = Le lacs et les liman sales de l'Ukraine (un apescu hudrochinique) // Тр. фіз.-мат. відділу Всеукр. Акад. наук. – 1928. – Т. 8. – Вип. 1. – 341 с.

31. Васильев А.С. Исследования Куяльницкого лимана // Зап. Новорос. общ. естествоисп. – 1898. – Т. XXII. – Вып. 2.

32. Супутникові знімки та карти поверхні Землі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://maps.google.com> (станом на 24 липня 2011 року).
33. Санаторий Куяльник – история возникновения курорта [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kuaylnik.com.ua> (станом на 04.09 2012 р.).
34. Грязелечебница санатория Куяльник – история создания [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kuaylnik.com.ua> (станом на 02.10 2012 р.).
35. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 1936-2006 гг. – Ч. 1 и 2. – Том 2. – Вып. 1. – 1938-2008.
36. ДСанПіН 2.2.4-171-10. «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». (Наказом МОЗ України від 12.05.2010 р. № 400).
37. Проект предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ, отводимых с возвратными водами предприятий филиала «Инфоксводоканал» во внутренние морские воды Черного моря и реку Днестр. – Одесса: ГП «УкрНИИМФ», 2010. – 286 с.
38. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксінок та ін. – К.: СИМВОЛ-Т, 1998. – 28 с.
39. Емельянова В.П., Данилова Г.Н., Колесникова Т.Х. Оценка качества поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям // Гидрохимические материалы. – 1983. – Т. LXXXVIII. – С. 119-129.
40. Латышенков А.М. Основы гидравлики. – Л.: Гидрометиздат, 1971. – 248 с.
41. Справочник по гидравлике. – К.: Вища шк., 1977. – 280 с.
42. Чугаев Р.Р. Гидравлика. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.
43. SWAN Cycle IV, Version 40.31: user manual. – Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, Netherlands, 2004. – 110 p.
44. Иванов В.А. Проблемы и перспективы оценок воздействия на окружающую среду при освоении ресурсов шельфа / Иванов В.А. – Севастополь: НПП «ЭКОСИ - Гидрофизика», 2004. – С. 114-125.
45. Океанографические таблицы [ред. Мироненко З.И.]. – С.-П.: Гидрометеиздат, 1975. – С. 234-236.
46. Hess K.W. MECCA Programs documentation: Technical Report / NOAA. – NESDIS 46. – Washington, D.C., 1989. – 97 p.
47. Андрианова О.Р., Белевич Р.Р., Скипа М.И. Об особенностях изменчивости основных характеристик Одессы в XX столетии // Морской гидрофизический журнал. – 2005. – № 5 – С. 19-29.
48. Загоровский Н.А., Багдасарьянц А., Окул А.В. О колебаниях гидрологических и биологических свойств Одесских лиманов. – Тр. Всеукр. ин-та курортологии и бальнеологии. – 1933. – выпуск 2. – С.37-44.
49. Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Бабинец С.К., Мариняко Л.А., Чурсина О.Д., Сизо А.В., Гордеева Л.В. Особенности ионно-солевого состава воды Куяльницкого лимана // Вісник ОНУ. – 2006. – Т. 11, выпуск 2. – С. 67-74.
50. Адобовский В.В., Богатова Ю.И., Большаков В.Н. и др. Куяльницкий лиман // В кн. Северо-западная часть Черного моря: Биология и экология / под ред. Ю.П.Зайцева, Б.Г.Александрова, Г.Г. Миничевой. – Киев: Наукова думка. – 2006. – С. 407-411.

51. Капочкин Б.Б., Исакова Ж.В., Исаков М.И. К вопросу о состоянии Куяльницкого лимана // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. – №1 (12). – Одесса, 2011. – С. 118-137.
52. Эннан А.А., Шихалеева Т.Н., Адобовский В.В., Герасимюк В.П., Шихалеев И.И., Кирюшкина А.И. Дegrаdация водной экосистемы Куяльницкого лимана и пути ее восстановления // Причерноморский Екологічний бюлетень. – 2012. – №1 (43) березень. – Одесса. – С. 75-85.
53. Справочник по гидрохимии /под ред. А.М. Никанорова. – Л.: Гидрометеиздат, 1988 – 391с.
54. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 239 с.
55. Бабинец А.Е., Сухоребрий А.А. О геохимических особенностях донных отложений лиманов северо-западного Причерноморья // Геологический журнал. – 1981. – Т.41, №2. – С.104-111.
56. Посохов Е.В. Формирование хлоридных вод гидросферы. – М.: Гидрометеиздат, 1977. – 247с.
57. Шихалеева Г.Н., Редько Т.Д., Бабинец С.К., Каревин А.В., Гордеева Л.В. Изучение динамики содержания биогенных компонентов в акватории Куяльницкого // Метеор., кліматол. та гідрол. – 2004. – № 48 – С. 313-321.
58. Гончаров О.Ю., Юрченко Ю.Ю. Динаміка біогідрохімічних процесів в Куяльницькому лимані в 2001-2002 роках // Вісник ОНУ. – 2003. – Т.8, випуск 6. – С. 71-76.
59. Воскобойников В.М., Кониов Е.Г. Гидрогеохимия поверхностных вод лиманов. Гидрохимия поровых вод донных отложений причерноморских лиманов // Геология шельфа СССР. – Киев: Наукова думка, 1984. – С. 81-95.
60. Основы курортологии. – М.: Медгиз, 1956. – 751 с.
61. Адобовский В.В., Шихалеева Г.Н., Шурова Н.М. Современное состояние и экологические проблемы Куяльницкого лимана // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2002. – вып. 1, №6. – С. 71-81.
62. Шихалеева Г.Н., Эннан А.А., Бабинец С.К., Чурсина О.Д. Миграция и аккумуляция свинца в водной экосистеме Куяльницкого лимана // Вісник ОНУ. – 2009. – Т. 14, вип. 11. – С. 79-88.
63. Нікіпелова О.М. Результати моніторингу колоїдно-хімічних властивостей мулових сульфідних систем Куяльницького лиману та озера Чокрак // Труды Од. политех. ун-та. – 2009 – вип. 1 (13). – С. 169-173.
64. Алмазов А.М. Гидрохимический очерк // Биология северо-западной части Черного моря. – К.: Наукова думка, 1967. – С. 32-43.
65. Виноградов К.А., Розенгурт М.Ш., Толмазин Д.М. Атлас гидрологических характеристик северо-западной части Черного моря. – К.: Наук. думка, 1966. – 47с.
66. Черное море. Гидрохимические условия и океанографические основы формирования биологической продуктивности // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. – Т. IV, вып. 2. – 220с.

67. Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И. Гидрохимические исследования // В кн. Северо-западная часть Черного моря: Биология и экология / под ред. Ю.П.Зайцева, Б.Г.Александрова, Г.Г. Миничевой. – Киев: Наукова думка. – 2006. – С. 60-86.
68. Тучковенко Ю.С., Дятлов С.Е., Рясинцева Н.И., Павлютина Л.П., Сапко О.Ю. Гидрохимический режим // В кн. Северо-западная часть Черного моря: Биология и экология / под ред. Ю.П.Зайцева, Б.Г.Александрова, Г.Г. Миничевой. – Киев: Наук. думка. – 2006. – С. 451-457.
69. Тучковенко Ю.С., Иванов В.А., Сапко О.Ю. Оценка влияния береговых источников на качество вод Одесского района северо-западной части Черного моря. – Севастополь, НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». –2011. – 169с.
70. Богатова Ю.И. Особенности формирования гидрохимических условий в прибрежной зоне г. Одессы в 2009-2010 гг. // Сб. Экологическая безопасность – Севастополь, 2012. – Т. 1, вып. 25. – С. 212-219.
71. Дятлов С.Е., Рясинцева Н.И., Савин П.Т., Подплетная Н.Ф., Секундяк Л.Ю., Коновалова Т.И. Антропогенное загрязнение // В кн. Северо-западная часть Черного моря: Биология и экология / под ред. Ю.П.Зайцева, Б.Г.Александрова, Г.Г.Миничевой. – К.: Наук. думка. – 2006. – С. 458-460.
72. Тучковенко Ю.С., Доценко С.А., Дятлов С.Е., Нестерова Д.А., Скрипник И.А., Кирсанова Е.В. Влияние гидрологических условий на изменчивость гидрохимических и гидробиологических характеристик вод Одесского региона северо-западной части Черного моря // Морской экологический журнал. – 2004. – Т. III, № 4. – С. 75-86.
73. Доценко С.А., Подплетная Н.Ф., Савин П.Т. Гидрологический режим и современное состояние нефтяного загрязнения моря у берегов Одессы // Вісник Од. держ. екологіч. ун-ту. – 2009. – вип. 7. – С. 210-216.
74. Дятлов С. Е., Лещинский А. О. Одесские лиманы: Краеведческие очерки. — Одесса: Маяк, 1980. -72 с.
75. Герасим'юк В.П., Шихалеева Г.М., Еннан А.А. та ін. Водорості річки Великий Куяльник // Вісник Од. нац. ун-ту ім. І.І. Мечникова. - Т. 13. - Вип. 14. Біологія. – Одеса, 2008. – С. 37-53.
76. Дядичко В.Г. Водные плотоядные жуки (Coleoptera, Hydradeptera) Северо-Западного Причерноморья: монография / В.Г. Дядичко. - Одесса: Астропринт, 2009. - 204 с.
77. Хлебович В.В., Аладин Н.В. Фактор солёности в жизни животных / В.В Хлебович, Н.В Аладин // Вестник РАН. – 2010. - т. 80. - № 5-6. - С. 527-532.
78. Kolbe R. Zur Okologie, Morphologie und Sistematik der Brackwasser Diatomeen [Text]/ R. Kolbe: Pflanzenforschung, -1927.- 7. - 146 s., 78.
79. Hustedt F. Die Diatomeenflora des Flusystems der Weser im Gebiet der Hansestadt /F. Hustedt //Abhandlungen Naturwissenschaftlicher.- Verein. -1967.- 34. - S.181-440.
80. Герасимюк В.П., Эннан А.А., Шихалеева Г.Н. Видовой состав водорослей бентоса Куяльницкого лимана (северо-западное Причерноморье, УКРАИНА) // Algologia. 2011.- V. 21. - N 2. – С. 226- 240.

81. Кривошеина М.Г. Роль водной среды в становлении отряда двукрылых (Insecta. Diptera) Russian Ent. J. - 2005. - V.14. № 1. - P. 29-40.
82. Балущкина Е.В. Функциональное значение личинок хирономид в континентальных водоемах / Е.В. Балущкина. - Л.: Наука, 1987. - 179 с.
83. Голубков С.М. Функциональная экология личинок амфибиотических насекомых / С.М. Голубков // Тр. ЗИН РАН., 2000. - Т. 284. – 294.
84. Зинченко Т. Д. Биондикация как поиск информативных компонентов водных экосистем (на примере хирономид – Diptera, Chironomidae) / Т.Д. Зинченко // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. - М., 2005. - Вып. 3. - С. 338-359.
85. Кривошеина М.Г. Экологические предпосылки перехода ряда групп двукрылых насекомых (Diptera) к обитанию в загрязненных водоемах 163-171 // Проблемы водной энтомологии России и современных стран: Материалы III Всероссийского симпозиума по амфибиотическим и водным насекомым. – Воронеж, 2007. – 409 с.
86. Bartsch I. 2004. Geographical and ecological distribution of marine halacarid genera and species (Acari: Halacaridae) / Exp. Applied Acarology. – Vol. 34. - P 37-55.
87. Гельмбольдт М.В. Морские клещи (Halacaridae: Acari) северо-западной части Черного моря: видовое разнообразие и экология: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук Севастополь – 2003. – 23 с..
88. Балущкина Е.В., Петрова Н.П. Функционирование популяций хирономид в гипергалинных озерах Крыма // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. – 1989. - Т. 205. - С. 129-140.
89. Бульон В.В., Анохина Л.Е., Аракелова Е.С. Первичная продукция гипергалинных озер Крыма // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. – 1989. - Т. 205. - С. 14-25.
90. Ivanova M.B., Balushkina E.V., Basova S.L., 1994. Structural-factional reorganization of ecosystem of hyperehaline lake Saki (Crimea) at increased salinity // Russian J. Aquatic Ecology. V. 3. № 2. P. 111-126.
91. Boulton A.J., Peterson C.G., Grimm N.B., Fisher S.G., 1992. Stability of an aquatic macroinvertebrate community in a multiyear hydrologic disturbance regime // Ecology. V. 73. P. 2192-2207.
92. Closs G.P., Lake P.S., 1994. Spatial and temporal variation in the structure of an intermittent stream foodweb // Ecology. № 64. P. 1-21.
93. Клишко О.К., Балущкина Е.В., 1991. Озеро Барун-Торей. Зообентос // Содовые озера Забайкалья. Новосибирск: Наука. С. 189-198.
94. Балущкина Е.В., Голубков С.М., Голубков М.С., 2005. Влияние абиотических и биотических факторов на структуру и функционирование сообществ донных животных в озерах с разной степенью минерализации // Научные записки Тернопольского педагогического университета. Спец. вып. Гидр о экология. Пресноводная гидробиология. С. 27-29.

95. Голубков СМ., 2006. Трофодинамика континентальных водоемов: от балансового подхода к динамической изменчивости экосистем // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Актуальные проблемы экологии. Вып. 5. Т. 8. № 1. С. 18-25.
96. Балущкина Е.В., Голубков СМ., Голубков М.С., Литвинчук Л.Ф., 2007. Структурно-функциональные характеристики экосистем малых соленых озер Крыма // Биология внутренних вод. № 2. С. 11-19.
97. Иванова М.Б., 1990. О зоопланктоне гипергалинных озер // Гидробиол.журн. Т. 26. № 5. С. 3-9.
98. Иванова М.Б., 1990. О зоопланктоне гипергалинных озер // Гидробиол.журн. Т. 26. № 5. С. 3-9.
99. Williams W.D., 1972. The iniqueness of salt lakes ecosystems // Productivity Problems of Freshwaters. Warsza-va; Krakow. P. 350-361.
100. Williams W.D., 1998a. Salinity as a determinant of the structure of biological communities in salt lakes // Hydrobiologia. V. 381. P. 191-201.
101. Williams W.D., 1998b. Guidelines of lake management. Management of inland saline waters // Int. lake Environment Committee, United Nations Environment Programm. V. 6. 108 p.
102. Hammer U.T., 1990. The effect of climate change of the salinity? Water levels and biota of Canadian prairie saline lakes // Verh. Int. Ver. Limnol. V. 24. P. 321-326.
103. Timms B.V., 1981. Animal communities in three Victorian lakes of differing salinity // Hydrobiologia. V. 81/82. P. 181-193.
104. Timms B.V., 1983. A study of benthic communities in some shallow saline lakes of western Victoria, Australia // Hydrobiologia. V. 105. P. 165-178.
105. Timms B.V., Hammer U.T., Sheard J.W., 1986. A study of benthic communities in some saline lakes in Sakatchewan and Alberta, Canada // Int. Revue ges. Hydrobiol. V. 71. (6). P. 759-777.
106. Timms B.V., 1993. Saline lakes of the Paroo, inland New Soyth Wales, Australia // Hydrobiologia. V. 267. P. 269-289.
107. Brock M.A., Shiel R.J., 1983. The composition of aquatic communities in saline wetlands of Western Australia // Hydrobiologia. V. 105. P. 77-84.
108. Пащенко В.М. Степная зона/ В.М. Пащенко// Природа Украинской ССР. Ландшафты.К. Наукова Думка.-1985.- С.122-179.
109. Шадрин Н.В. Каротиноиды в красной соли гиперсолёного Кояшского озера (Крым,Чёрное море): Предварительное сообщение/ Н.В. Шадрин, И.В. Дробецкая. И. Н. Чичикова, Н. В. Терентьева // Морський екологічний журнал. - 2003. – С.85-87.
110. Балущкина Е.В., Голубков С.М., Голубков М.С., Литвинчук Л.Ф., Шадрин Н.В. Влияние абиотических и биотических факторов на структурно-функциональную организацию экосистем соленых озер Крыма // Ж. общей биологии. Т. 70. № 6. С. 504-514.
111. Williams P.J., Le B., 1981 Incorporation of microheterotrophic processes into the classical paradigm of the planktonic food web // Kieler Meeresforsch. Sonderh. B.5. S. 1-28.

112. Azam F., Fenchel T., Field J., Gray J., Meyer-Reil LA., Thingstad F., 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea// *Mar. Ecol Prog. Ser.* V. 10. P. 257-263.

113. Overmann J., Beatty J.T., Hall K J., 1996. Purple sulfur bacteria control the growth of aerobic heterotrophic bacterio-plankton in a meromictic lake// *Appl. Environ. Microbiol.* V. 62. P. 3251-3258.

114. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 150 с.

115. Бульон В.В. Закономерности первичной продукции в лимнических экосистемах. СПб.: Наука, 1994. 222 с.

89. Бульон В.В., Анохина Л.Е., Аракелова Е.С. 1989. Первичная продукция гипергалинных озер Крыма // *Тр. Зоол. ин-та АН СССР.* Т. 205. С. 14-25.

116. А. И. Копылов, Д. Б. Косолапое, А. В. Романенко, А. В. Крылов, Л. Г. Корнева, Л. С. Гусев Микробная "петля" в планктонных сообществах озер разного трофического статуса// *Журнал общей биологии.* 2007. том 68, № 5, с. 350-360.

117. Левушкин С. И. Понятие вида и экология // *Матер. к II Всес. совещ. "Вид и его продуктивность в ареале".* Вильнюс, 1976. С. 83-85. Кашкаров Д. Н. Среда и сообщество (Основы синэкологии). М.: Медгиз, 1933. 383 с.

118. Куркин К. А. Параметры биогеоценозов и системный подход к их определению // *Бюлл. МОИП. Отд. биол.* 1980. Т. 85. № 3. С. 40-56.

119. Алеев Ю. Г. Экоморфология. Киев: Наукова думка, 1986. 424 с. Розенберг Г. С. К построению системы концепций современной экологии // *Журн. общ. биол.* 1991. Т. 52. № 3. С. 422-440.

120. Федоров В. Д., Гильманов Т. Г. Экология. М.: МГУ, 1980. 464 с.

121. Гиляров А.М. Экология в поисках универсальной парадигмы // *Природа.* 1998. № 3. С. 73-82.

122. Гладышев М. И. Концепция биогеоценоза с позиций общей теории систем // *Экология.* 1990. № 4. С. 11-19.

123. Heatwole H. The concept of the econe, a fundamental ecological unit // *Trop. Ecol.* 1989. V. 30. № 1. P. 13-19.

124. Oren A., Plotnikov I. S., Sokolov S., Aladin N. V. The Aral Sea and the Dead Sea: Disparate lakes with similar histories // *Lakes & Reservoirs: Research and Management.* – 2010. - 15.- P.223–236.

125. Micklin P. (1988) Desiccation of the Aral Sea: A water management disaster in the Soviet Union. *Science* 241, 1170–6.

126. Neev D., Emery K. O. (1967) The Dead Sea. Depositional Processes and Environments of Evaporites. Bulletin No. 41, State of Israel, Ministry of Development, Geological Survey, 147 p.

127. Плотников И.С., Аладин Н.В. Современное состояние остаточных водоемов возникших на месте бывшего Аральского моря// *Материалы XI научного семинара «Чтения памяти К.М.Дерюгина» Санкт-Петербург 2009.* – С. 44- 65.

128. Хлебович В. В. Физиология эвригалинности: критическая соленость внешней и внутренней среды // Вопросы гидробиологии.- М.: Наука, 1965.- Т. I.- С. 440-441.
129. Хлебович В. В. Критическая соленость биологических процессов.- Л.: Наука, 1974.-230 с.
130. Khlebovich V. V. Some peculiar features of hydrochemical regime and the fauna of mesohaline waters // Marine Biol.- 1968.-Vol. 2.- N. 1.-P. 47-49.
131. Khlebovich V. V. Aspects of animal evolution related to critical salinity and internal state // Marine Biol.- 1969.- Vol. 2.- N. 4.- P. 338-345.
132. Kinne O. Salinity - Animals - Invertebrates // Marine Ecology.-London ect.: Wiley-Interscience.- 1971.-Vol. 1.- Pt. 2.- P. 821-995.
133. Виноградов А. К- Хорогалинная зона 22-26‰ в морских экосистемах // Тезисы докладов V съезда ВГБО (Тольятти, 15-19 сентября 1986 г.), Куйбышев, 1986.- Ч. I.- С. 64-65.
134. Аладин Н.В., Плотников И.С. Современные проблемы изучения и сохранения биоразнообразия неполносолёных морей и солёных озёр. IV Невский международный экологический конгресс. Санкт-Петербург, 16-17 мая 2011.
135. Г. В. Выхованец, Т. Д. Борисович. К вопросу о классификации водно-болотных угодий на побережье Чёрного и Азовского морей.
136. Зайцев Ю.П. Экотон Чёрного моря // Экотон в биосфере. – М.: РАСХН, 1997. – С. 242-258.
137. Залетаев В.С. Мировая сеть экотонов как биосферный феномен // Проблемы изучения краевых структур биоценозов: Тез. докл. Всеросс. семинара, Саратов, 16-17 сент. 1997 г. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1997 б. – С. 3-4.
138. Залетаев В.С. Экотонные системы и проблемы их классификации // Проблемы изучения краевых структур биоценозов: Тез. докл. Всеросс. семинара, Саратов, 16-17 сент. 1997 г. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1997 г. – С. 4-5.
139. Хлебович В.В., Аладин Н.В. Фактор солёности в жизни животных / В.В Хлебович, Н.В Аладин // Вестник РАН. – 2010. - т. 80. № 5–6. – С. 527-532.
140. Литвиненко Л. И. Жаброногие рачки рода *Artemia* Leach, 1819 в гипергалинных водоемах Западной Сибири : (география, биоразнообразие, экология, биология и практ. использование) : специальность 03.00.16 "Экология" : автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра биол. наук / Л. И. Литвиненко [Перм. гос. ун-т]. - Пермь, 2009. - 46 с.
141. Радченко Л. А. Влияние температуры и солености на развитие и выживаемость артемии в экспериментальных условиях [электронный ресурс] <http://10.0.0.194:8080/dspace/handle/99011/2383>.
142. Хоменко С. Б. Иранский эндемик артемия урмиана В гиперсоленом озере Кояшское (Крым, Украина): предварительное обоснование заноса птицами/ С. Б. Хоменко, Н. В. Шадрин // Сборник научных трудов Лзово-Черноморской орнитологической станции., 2009.- Вып. 12. - С. 81-91.

143. Голубков М.С. Первичная продукция планктона вдоль градиента солености: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук (03.02.10) / М.С. Голубков; Рос. акад. наук. Зоол. ин-т. – С.-Пб.: [б. и.], 2010. – 25 с.

144. Минеева Н.М. Первичная продукция водных экосистем: Материалы междунар. конф. (Борок, 11-16 окт. 2004 г.) / РАН. Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина, Гидробиол. о-во. – Ярославль. – 2004. – 126 с.

145. Селиванова Е.А. Экологическо-трофическая характеристика микробиоценоза гипергалинного водоема на примере Соль-Илецкого озера Развал (Оренбургская область) / Е.А. Селиванова, Н.В. Немцева // Проблемы региональной экологии. - 2011. - № 5 (сентябрь-октябрь). – С. 86-89.

146. Неврова Е.Л., Шадрин Н.В. Донные диатомовые водоросли соленых озер Крыма / Е.Л. Неврова, Н.В. Шадрин // Морск. екол. журн. - 2005. – № 4. – С. 61-71.

147. Аладин Н.В., Плотников И.С. Современные проблемы изучения и сохранения биоразнообразия неполносолёных морей и соленых озёр // Матер. IV Невского междунар. эколог. конгресса. – С.-Пб. – 2010.