

УДК 528.4

К.Р. Третяк, О. Ломпас

Національний університет “Львівська політехніка”

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАМУЛЕННЯ ТЕРЕБЛЯНСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

© Третяк К.Р., Ломпас О., 2010

Представлены результаты наблюдений по заилению Тереблянского водохранилища в период с 1986 по 2009 годы. На основе этих данных установлены скорость заиления, распределение ила в водохранилище, а также сделан прогноз заиления на десять лет.

This paper presents the results of studies of reservoir silting on river Tereblia from 1986 to 2009. Based on these data set the speed of silting, the distribution of silt in the reservoir, and the forecast silting of 10 years.

Постановка проблеми. Запорукою надійної і довготривалої роботи гідроелектростанції є ефективне функціонування її водосховища. З кожним роком експлуатації об'єм водосховища невинно зменшується через осідання в ньому замулу. Осідаючи, грубі частинки зменшують об'єм водойми та погіршують енергетичну ефективність дериваційних каналів, а дрібні частки можуть пошкодити робочі елементи гідротурбін. Тому важливим завданням є оцінка об'єму та стану замулення водосховища, щоб не допустити повного замулення та продовжити терміни його експлуатації.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Роль водосховищ в економіці держави доволі помітна. Їх застосовують для потреб ірригації, рекреації, водного транспорту, рибного та лісосплавного господарства, вони забезпечують населення (особливо міське) прісною водою, захищають від повеней та паводків [1]. Функціонування сучасної енергетики немислиме без використання водосховищ: в гідравлічних (ГЕС), гідроакумуючих (ГАЕС), теплових (ТЕС) та атомних (АЕС) електростанціях водосховища є важливою ланкою у процесі виробництва електроенергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв'язку з глобальною зміною клімату та екологічною кризою останнім часом з'являється багато публікацій, пов'язаних з небажаними екологічними явищами на водосховищах (забруднення важкими металами, токсичними та радіоактивними речовинами, “цвітіння” водосховищ) [1–3, 6]. Велика увага приділяється темі замулення, оскільки більшість водосховищ у світі споруджено у середині минулого століття і поступово вони втрачають свій потенціал через зменшення корисного об'єму.

Виклад основного матеріалу. Водосховищами називаються водойми штучного походження об'ємом понад 1 млн. м³, створені, як правило, у долинах рік для регулювання стоку і подальшого використання в економіці держави. На сьогодні у світі налічується близько 30 тис. водосховищ, сумарний об'єм яких перевищує 6000 км³. З них 95 % об'єму води припадає на 2,5 тис. великих водосховищ об'ємом більше за 0,1 км³ (табл. 1).

Таблиця 1

Найбільші водосховища світу

| Назва водосховища | Ріка | Країна | Об'єм, км ³ | Площа, км ² |
|-------------------|----------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| Братське | Ангара | Росія | 169,3 | 5426 |
| Насер (Асуан) | Ніл | Єгипет, Судан | 162,0 | 5248 |
| Кариба | Замбезі | Замбія/Зімбабве | 160,3 | 5580 |
| Вольта | Вольта | Гана | 148,0 | 8482 |
| Даніель Джонсон | Манікуаган | Канада | 141,2 | 1950 |
| Гурі | Кароні | Венесуела | 138,0 | 4250 |
| Красноярське | Єнісей | Росія | 73,3 | 2000 |
| Вікторія | озеро Вікторія | Уганда, Танзанія, Кенія | 68,0 (204,8) | 7130 (68 870) * |
| Таргар | Тигр | Ірак | 67,0 | 2000 |
| Куйбишевське | Волга | Росія | 58,0 | 6450 |
| Бухтармінське | Іртиш | Казахстан | 53 | 5500 |
| Рибінське | Волга | Росія | 25,5 | 4580 |

* у дужках вказані параметри озера Вікторія

Усі водосховища поділяють на річкові, озерні та наливні. Крім цього, деякі дослідники виділяють ще підземні, морські та водосховища-колектори стічних вод [1].

Найчастіше водосховища класифікують за конфігурацією, морфометричними показниками, характером регулювання стоку та характером водообміну.

Класифікація за конфігурацією є досить складною, оскільки водосховища за різних рівнів води мають різну форму, тому для класифікації приймають контур водосховища при НПР (нормальному проектному рівні). Пропонується ділити водосховища на такі групи: заплавні, долинні, озероподібні та водосховища складної конфігурації.

Класифікація за морфометричними показниками основана на аналізі розмірів більшості водосховищ земної кулі. За площею поверхні водного зеркала та об'ємом води водосховища поділяються на найбільші, великі, середні, невеликі та малі.

За характером регулювання стоку виділяють водосховища багаторічного, сезонного, тижневого та добового регулювання. Вважається, що для багаторічного регулювання достатньо, щоб корисний об'єм водосховища становив 20–25 % річного стоку ріки, а для сезонного – 8–20 %.

За характером водообміну розрізняють водосховища зі сповільненим ($K < 0.1$), помірним ($0.1 < K < 5.0$) та інтенсивним ($K > 5.0$) водообміном. Коефіцієнт K визначається як відношення об'єму стоку через гідровузол у нормальний за водністю рік до загального об'єму водосховища [1].

За загальноприйнятою класифікацією Терезлянське водосховище належить до малих річкових водосховищ долинного типу з інтенсивним водообміном. Його спорудили в 1956 р. у високогірній частині Українських Карпат, перекривши бетонною греблею гірську ріку Терезля, праву притоку Тиси (рис. 1). Висота греблі становить 40 м, довжина водосховища – 3,5 км, ширина – 800 м, глибина – до 15 м.

Оскільки річка Терезля переносить велику кількість наносів (камінь, галька, гравій, піщані та глинисті частинки), то значна частина їх осідає у чаші водосховища, що призводить до зменшення об'єму та негативно впливає на ефективність роботи ГЕС.



Рис. 1. Розташування Терезлянського водосховища у Закарпатській області

Загальна схема накопичення відкладів у водосховищі передбачає такі процеси:

- Потрапляння седиментаційного матеріалу з водозбору (алохтонні речовини) і його перетворення у водоймі (автохтонні речовини).
- Транспорт підвішених часток у водоймі, їхня переробка, сортування, осідання та вимивання з водойми.
- Перетворення донних відкладень на осадову породу.

Автохтонні речовини утворюються внаслідок абразії (розмиву) берегів, початкового ложа, гравітаційних процесів у береговій зоні водосховища (осипання), продукування гідробіонтів, хемогенної седиментації. У гірських водосховищах основним джерелом замулення є поверхневий стік [5].

Найефективнішими методами визначення об'єму та ступеня замулення водосховища є повторні геодезичні зйомки рельєфу його дна під час профілактичних осушень та батиметричні проміри глибин. Інколи для цього використовують доволі приблизний балансовий метод, що ґрунтується на підрахунку об'ємів замулу, який потрапив до водосховища та був винесений з нього.

На великих водосховищах для батиметричного знімання застосовують ехолоти, синхронізовані з GPS-приймачами. Для гідрографічних цілей використовують як одночастотні, так і багаточастотні (одночасно використовують кілька гідроакустичних сигналів) ехолоти. Діапазон робочих частот лежить в межах від кількох кілогерц до кількох мегагерц. Основними робочими частотами для гідрографічних ехолотів є 210 кГц і 33 кГц. Частота 210 кГц дає змогу з великою точністю визначити глибину, тоді як випромінювання частотою 33 кГц, проникаючи у верхні шари дна, дає підстави для висновків про тип і густину донних відкладів. Синхронізація ехолота з GPS приймачем в режимі реального часу (RTK) дає змогу отримувати планові координати з точністю до 1 м. Оскільки Терезлянське водосховище розміщене в горах, які обмежують видимість супутників, для батиметричного знімання була використана інша технологія. Від греблі вздовж берегової лінії до місця впадіння р. Терезля прокладено хід загальною довжиною 3,8 км, координати точок якого визначались із застосуванням GPS-приймачів. З точок ходу (станцій) за допомогою тахеометра полярним методом (вимірювання кута і лінії) знаходили координати промірних точок (відбивач на човні). Точність визначення координат промірних точок тахеометром – у межах 5–10 см. Покриття акваторії водосховища промірними точками виконувалось приблизно по квадратах з сторонами 50 м. Глибини вимірювали рулеткою з вантажем з точністю 5 см.

На Терезлянському водосховищі регулярні батиметричні виміри проводились з 1970 р., на їх основі складено батиметричні карти (рис. 4). За даними досліджень, з початку експлуатації загальний об'єм водосховища зменшився з 23,40 до 17,97 млн. м³. Об'єм замулу – 5,43 млн. м³, що в процентному співвідношенні до початкового об'єму становить 23,19 %.

Для прогнозування подальшого зменшення загального та корисного об'ємів використано дані батиметричного знімання 1986–2009 рр. (табл. 2, рис. 2, 3). За початкові загальний і корисний об'єми взято об'єми водосховища станом на 1958 р., які на той час становили 23,4 та 18,76 млн. м³ відповідно.

Таблиця 2

Результати визначення загального та корисного об'ємів Терезлянського водосховища за даними 1986–2009 рр.

| Рік | Загальний об'єм водосховища V_p , м ³ | Корисний об'єм водосховища V_k , м ³ | Процентне співвідношення визначеного загального об'єму до початкового V_p / V_{p0} , % | Процентне співвідношення визначеного корисного об'єму до початкового V_k / V_{k0} , % |
|------|--|---|--|---|
| 1986 | 20440000 | 16950000 | 87,35 | 90,35 |
| 1987 | 20080000 | 16635000 | 85,81 | 88,67 |
| 1988 | 19720000 | 16320000 | 84,27 | 86,99 |
| 1989 | 19650000 | 16250000 | 83,97 | 86,62 |
| 1990 | 19340000 | 15960000 | 82,65 | 85,07 |
| 1991 | 19150000 | 15790000 | 81,84 | 84,17 |
| 1994 | 18823000 | 15516000 | 80,44 | 82,71 |
| 2000 | 18626971 | 15586971 | 79,60 | 83,09 |
| 2003 | 17980303 | 15459154 | 76,84 | 82,40 |
| 2005 | 17974378 | 15486356 | 76,81 | 82,55 |
| 2009 | 17969261 | 15523404 | 76,79 | 82,75 |

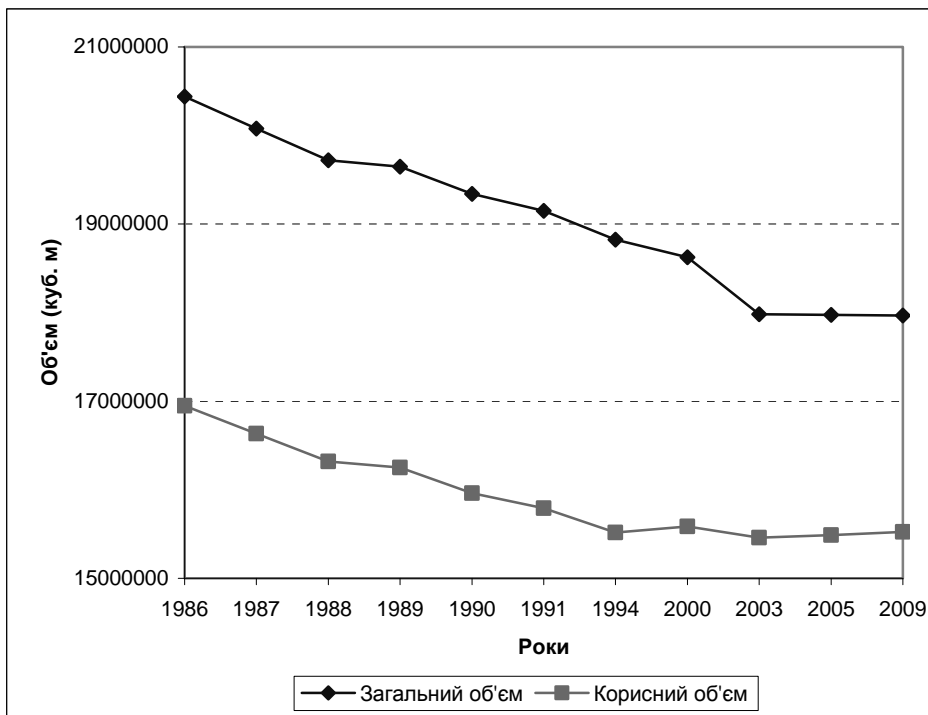


Рис. 2. Зміна загального та корисного об'ємів водосховища за період 1986–2009 рр.

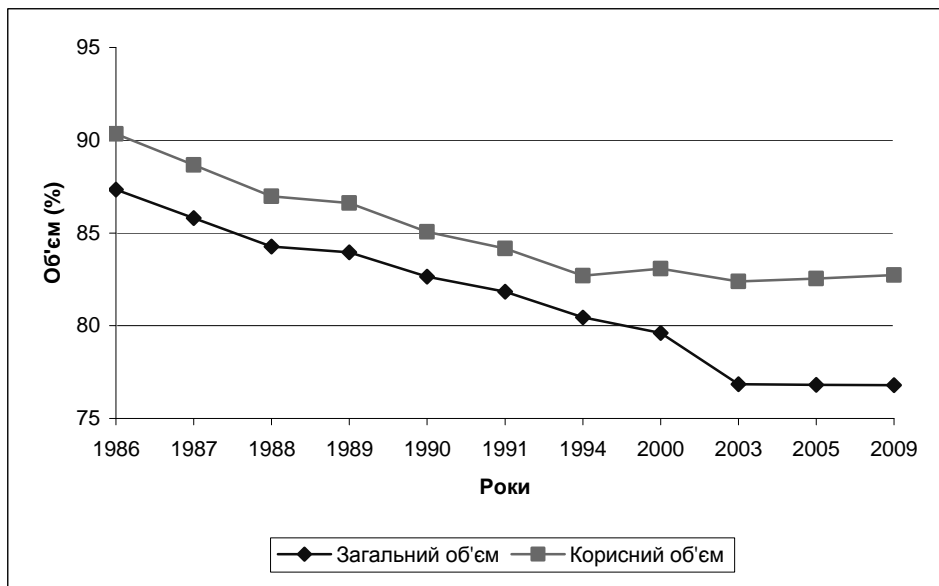


Рис. 3. Зміна у процентному співвідношенні загального та корисного об'ємів водосховища за період 1986–2009 рр.

На основі цих даних виконано апроксимацію функцією $f(x) = a \cdot x^b + c$ (де a , b , c – коефіцієнти) та здійснено прогноз зменшення загального та корисного об'ємів на десять років, (табл. 3). Середня квадратична помилка апроксимації становить для загального об'єму 0,14 млн. м³, а для корисного – 0,16 млн. м³ (відносна похибка 0,66 % та 0,93 %).

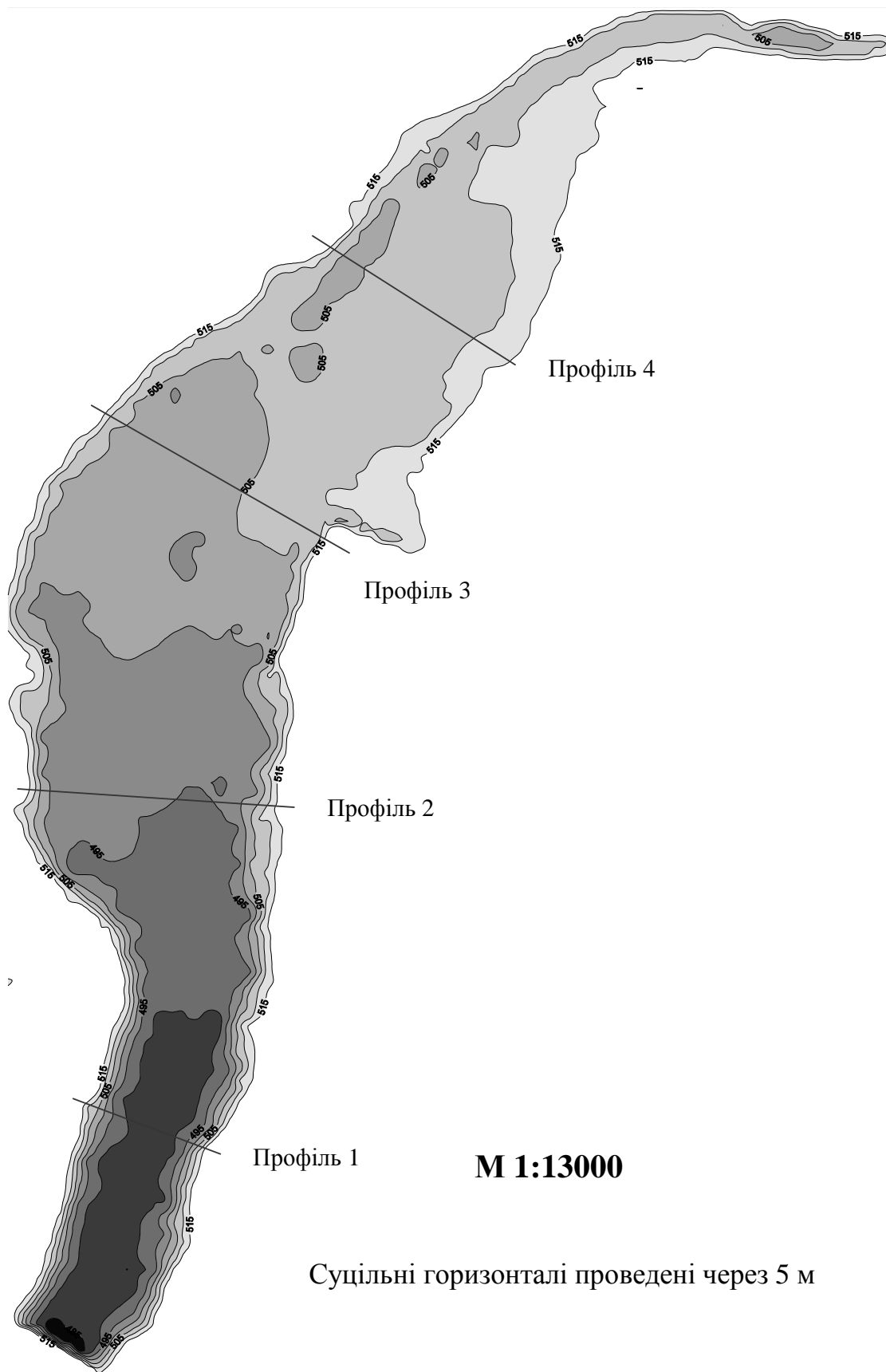


Рис. 4. Схема батиметричного знімання акваторії Терблянського водосховища (2009)

Таблиця 3

Прогноз замулення загального і корисного об'ємів на десять років

| Рік | Загальний об'єм водосховища $V_p, \text{м}^3$ | Корисний об'єм водосховища $V_k, \text{м}^3$ | Процентне співвідношення визначеного загального об'єму до початкового $V_p / V_{п}, \%$ | Процентне співвідношення визначеного корисного об'єму до початкового $V_k / V_{п}, \%$ |
|------|---|--|---|--|
| 2010 | 17753125 | 15319116 | 75,87 | 81,66 |
| 2011 | 17695675 | 15297111 | 75,62 | 81,54 |
| 2012 | 17639345 | 15275698 | 75,38 | 81,43 |
| 2013 | 17584070 | 15254840 | 75,15 | 81,32 |
| 2014 | 17529793 | 15234503 | 74,91 | 81,21 |
| 2015 | 17476462 | 15214656 | 74,69 | 81,10 |
| 2016 | 17424028 | 15195270 | 74,46 | 81,00 |
| 2017 | 17372447 | 15176320 | 74,24 | 80,90 |
| 2018 | 17321678 | 15157783 | 74,02 | 80,80 |
| 2019 | 17271683 | 15139637 | 73,81 | 80,70 |
| 2020 | 17222428 | 15121862 | 73,60 | 80,61 |

Швидкість замулення Терезлянського водосховища є нерівномірною і лежить у межах 0,03–0,36 млн. м³/рік. Очевидно, це пов'язано з річним гідрорежимом р. Терезлі і кількістю річних опадів і повеней.

Останнім часом спостерігається сповільнення швидкості замулення загального об'єму водосховища. Якщо до 2003 р. швидкість замулення становила 0,12 млн.м³/рік, то у 2003–2009 рр. – 1,8 тис. м³/рік (рис. 5).

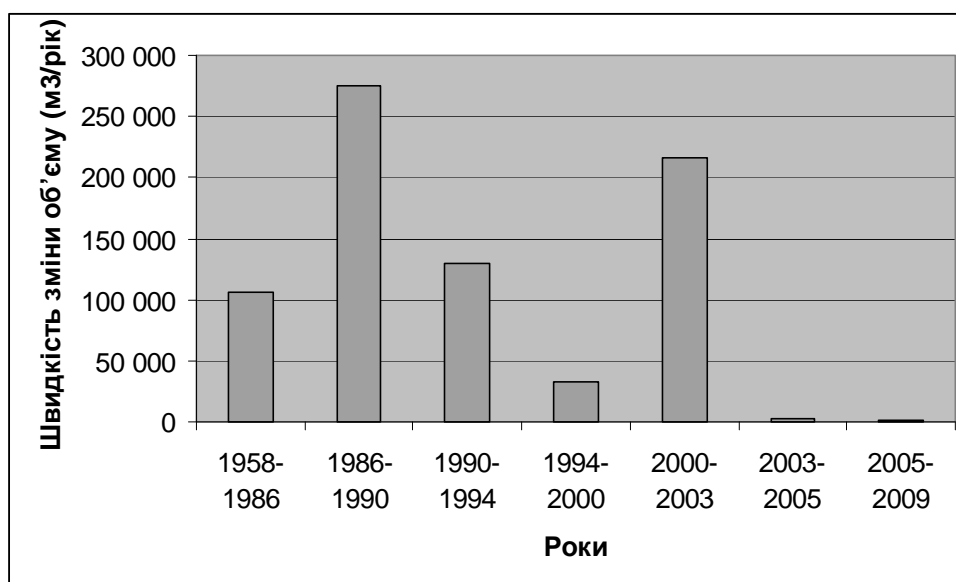


Рис. 5. Швидкість замулення Терезлянського водосховища

Як видно з профілів, побудованих у різних частинах водосховища (рис. 6), відклади в його межах розподілені нерівномірно.

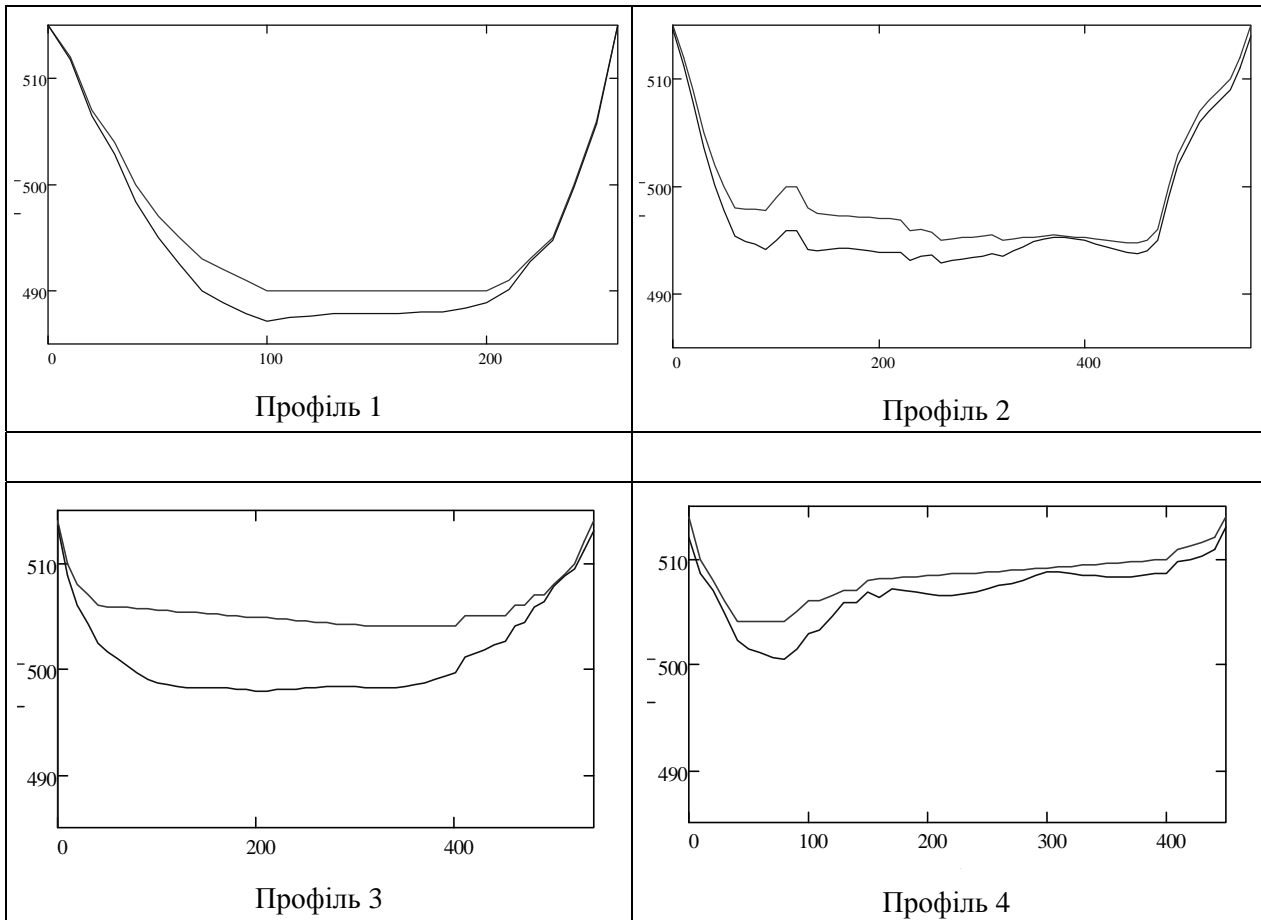


Рис. 6. Профілі Терешчинського водосховища. Планове положення профілів на водосховищі позначено лініями на рис. 4

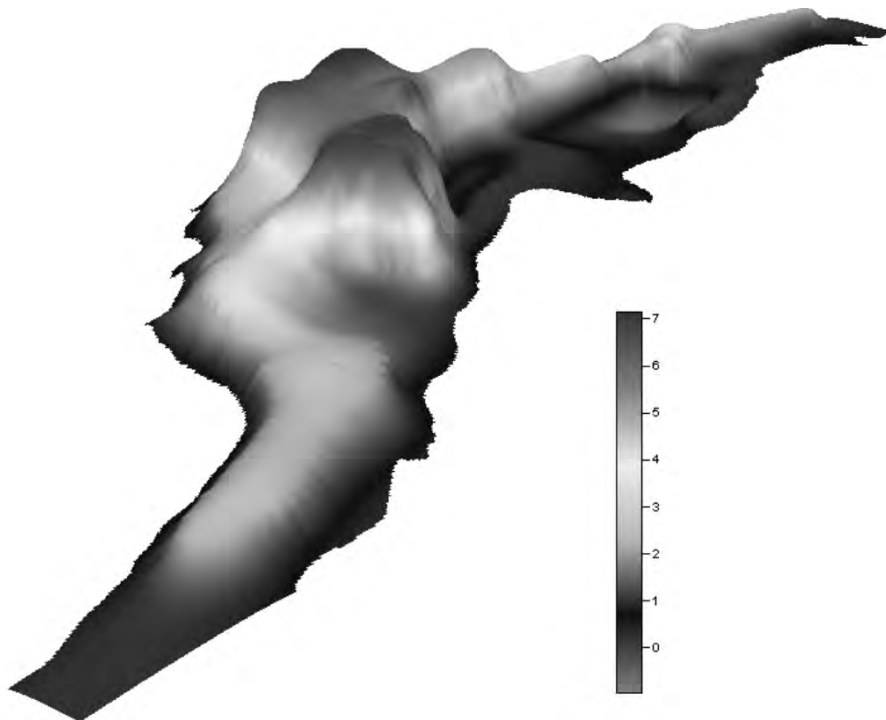


Рис. 7. Просторовий розподіл намалу у водосховищі

У межах водосховища можна окреслити три зони. Перша зона утворена своєрідним конусом виносу, складеного з гальки, гравію та піску, завтовшки приблизно 2–5 м. Її поверхня дрібногорбиста і нахилена у бік водосховища. Друга зона, в яку переходить конус виносу, є найбільшою. Вона складена глинистими відкладами завтовшки до 7 м у вигляді практично плоскої поверхні. Третя зона розташована головню у глибоководній частині водосховища. Максимальні потужності замулу (3–4 м) зосереджені в районі русла Терєблї, а на схилах досягають 1,5 м. Донні відклади у межах третьої зони не змогли замаскувати морфологію первинної чаші водосховища і вона тут виразно простежується (рис. 7) [4].

Таке нерівномірне накопичення донних відкладів у водосховищі зумовлене головню паводковим (селевим) характером перенесення уламкового матеріалу річкою. На формування селевого режиму Терєблї великий вплив мають характер селевих мас, умови залягання гірських порід, крутизна та лісистість схилів у басейні водозбору, інтенсивність випадання опадів та інші фактори. Найчастіше селї проявляються на крутих схилах з малою лісистістю. Найнаочніше вплив паводків проявляється на накопиченні уламкового матеріалу у першій зоні, яка фактично є селевим конусом виносу.

Висновок На замулення Терєблянського водосховища впливає багато факторів. Зважаючи на те, що водозбір Терєблї формується у горах, важливими факторами є кількість опадів, крутизна та лісистість схилів. Також однією з проблем вивчення замулення гірських водосховищ, подібних до Терєблянського, можна назвати обмеження використання сучасних супутникових технологій через часткову закритість горизонту біля берегів. Сьогодні водосховище майже на чверть (24 %) заповнене замулом, тому для підтримки його у працездатному стані потрібен постійний моніторинг за станом замулення і всебічне вивчення факторів, які на нього впливають.

1. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. – М.: Мысль, 1987. – 325 с.
2. Войцехович О., Шестопалов В. К дискуссии относительно идеи спуска Киевского водохранилища // Бюллетень экологического состояния зоны отчуждения и зоны безусловного (обязательного) отселения. – МНС. – № 14, 1999. – 45 с.
3. Воропаев Е.В., Авакян А.Б. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду / Под ред. Е.В. Воропаева, А.Б. Авакян. – М., 1986.
4. Исследование и определение деформаций сооружений Тербле-Рикской ГЭС и их взаимосвязей с эндогенными процессами // Отчет. – Львов – 1990.
5. Прыткова М.Я., Семенов И.В. Методика комплексного изучения осадконакопления в малых водохранилищах. – Ростов-на-Дону, 1989. – 88 с.
6. Сухенко С.А. Ртутная проблема в водохранилищах // Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах: Аналит. обзор. Ч. 3. Закономерности миграции и региональные особенности / ГПНТБ СО АН СССР. – Новосибирск, 1989. – С. 128–140.