

УДК 711.168

Юрковець О.С.,
yurckowets@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8011-9340,
к.т.н., доцент Приймаченко О.В.,
priymachenko_a@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8836-4332,
Київський національний університет будівництва та архітектури

ПЕРЕФОРМУВАННЯ БЕРЕГОВИХ ЗОН ВОДОЙМ МІСТА КИЄВА

Розглянуто основні методи розрахунку переформування берегових зон штучних водойм. Використання двох запропонованих методів дає змогу теоретично оцінити можливі морфологічні зміни водойм та їхніх берегових зон протягом певних проміжків часу при сталих кліматичних показниках.

Ключові слова: берегова зона, штучні водойми, хвильова абразія.

Постановка проблеми. В межах території Києва є декілька крупних водойм, природного та штучного походження, які внаслідок антропогенного впливу зазнали змін в морфологічних параметрах, гідрологічних та гідродинамічних процесах. У зв'язку з постійним зростанням щільності забудови, рівня автомобілізації та інших урбанізаційних процесів, як наслідок необхідності освоєння берегових зон цих водойм, необхідно оцінити можливі процеси їхнього фізичного переформування.

Аналіз попередніх досліджень.

Дослідження формування берегів озероподібних водойм та розробка методів розрахунку переробки берегів активно почалися в 30-х роках ХХ століття, що було пов'язано з будівництвом та експлуатацією крупних водосховищ, на яких цей процес проходить найбільш інтенсивно в перші роки існування. Більшість цих досліджень направлені на використання прибережної території, покращення природно-технічного стану цих водойм та раціонального використання прибережних водоохоронних смуг.

Безумовно, найбільш актуальним було питання переміщення берегової лінії, оскільки могло поставити під загрозу різні споруди, населені пункти та сільськогосподарські угіддя, що були розташовані поблизу водойми, а також передумови можливого замулення прибережної зони, яке унеможливило експлуатацію водного транспорту. Будівництво на берегах озер, сільське господарство, водний транспорт важко уявити без прогнозування формування берегів.

В результаті досліджень, що проводилися протягом декількох років, були накопичені матеріали по інтенсивності переформування берегів, що дозволили розробити методи розрахунку (прогнозу) цих змін для різноманітних умов.

Значний вплив на визначення закономірностей формування берегів озер мали розробки, пов'язані з морськими берегами, хоча провести аналогії між цими об'єктами можливо далеко не в усіх випадках через суттєві відмінності в їхньому режимі роботи. Теоретичне обґрунтування особливостей переробки берегів озер і розробка методів їхнього розрахунку та прогнозу отримали два основних напрями. Перший, висунутий акад. Ф.Н. Саваренським [1], полягав у подібності берегів водосховища та берегів річки при високому рівні вод. Друге, висунуте проф. Поліковим [2], полягало в ідентичності берега водосховищ з берегом озер.

Перший напрям, в подальшому підтриманий В. Ширямовим, Г.С. Золотарьовим [3] та Є.Г. Качугіним [4] (на початку їхніх розробок), отримав у перші роки досліджень значне розповсюдження. Але по мірі накопичення фактичного матеріалу по дослідженню берегів водосховищ та перевірки визначених розрахункових залежностей виявили подібність у формуванні берегів озер та водосховищ і значну відмінність між процесами формування берегів водосховищ та річок. В подальших розробках значного розповсюдження набула теорія проф. Полякова, на принципах якої було розроблено методи розробки берегів Є.Г. Качугіна [4], Н.Є. Кондратьєва [5] та Б.А. Пишкіна.

Серед основних факторів, що впливають на береги в більшості розрахункових залежностей враховуються: висота та енергія хвиль, глибина в прибережній зоні, амплітуди коливань рівнів, кути нахилу берегів та геологічна будова. Розроблені методи значно відрізняються один від одного, що цілком очевидно, оскільки основою для теоретичних розробок послуговували матеріали, зібрані на водосховищах, що знаходяться в різноманітних природних умовах, а найчастіше, в різних географічних зонах.

Усі відомі методи прогнозу хвильової абразії берегів водосховища можна згрупувати наступним чином.

1. **Енергетичні** методи, що базуються на припущенні про те, що об'єми переробки берегу пропорційні енергії хвиль, що впливають на нього. До цієї групи відносяться методи Є.Г. Качугіна, Н.А. Кондратьєва, Є.К. Гречищева, Б.А. Пишкіна, В.Л. Максимчука, що були розроблені для водосховищ, що проектувалися, чисельно-аналітичні методи Д.Д. Лаппо, А.Ш. Хабідова, І.О. Леонтьєва, що були розроблені для морських берегів.

2. **Порівняльно-геологічні** чи методи натурних аналогій Г.С. Золотарьова, Л.Б. Розовського, Д.П. Фінарова.

3. **Імовірнісні** методи: випадкових моделей В.К. Єпішина, В.Н. Екзаряна, статистичної оцінки Є.В. Коломенського та ін.

Основними **перевагами** даних методів є:

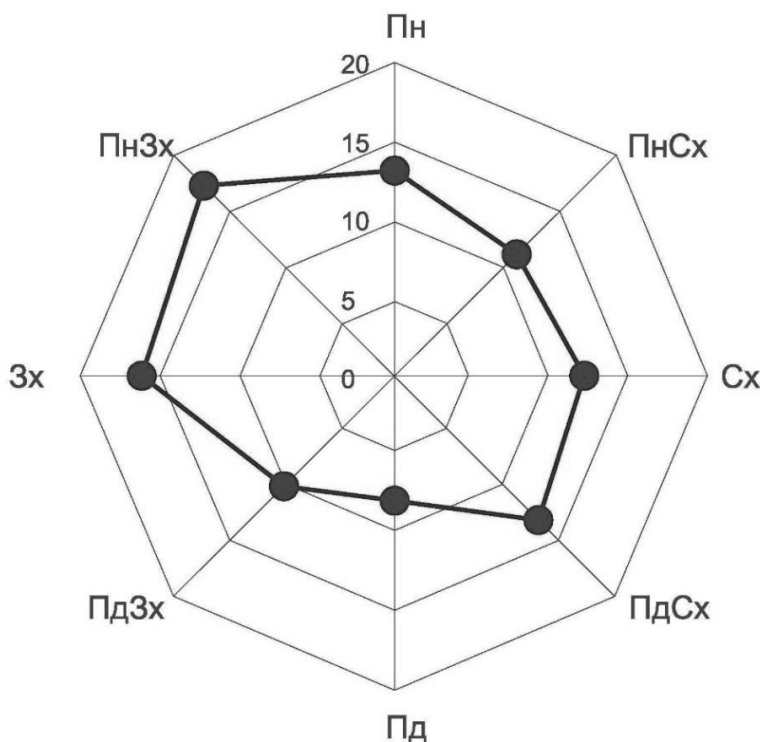
- врахування декількох факторів впливу на берег, що дає змогу більш повно охарактеризувати явище та зменшує імовірність допущення помилок;
- застосування графічних побудов, що значно полегшують розрахунок і дають наглядний результат;
- гідродинамічне обґрунтування методів.

Серед **недоліків** можна виділити:

- відсутність єдиної термінології, відмінності у визначення нульового положення, відсутність конкретного вибору режиму водойми, як наслідок неврахована динаміка рівнів та штормів;
- вирішення лише 2-ох мірної задачі (в площині), не даючи просторової характеристики явища;
- недостатньо глибоке розкриття питання про роль переміщення наносів вздовж берегів;
- недостатнє врахування сумарної дії хвиль за певний період.

Основне дослідження.

Для дослідження переробки берегів було обрано декілька водойм м Києва, на кожному з яких було розмічено так звані створи (точки N, N1, N2 і



т.д.; загалом 32 шт., окрім оз. Сонячне). Розрахунки проводилися за топографічними даними 2000-го року, для всіх точок за графічно-аналітичним методом Кондратьєва, та енергетичним методом Качугіна. В якості вихідних даних виступають показники швидкості та повторюваності вітрів (див рис. 1).

Рис. 1. Повторюваність напрямку вітру за рік

Для розрахунку переробки берегової зони за методом **Кондратьєва** враховується швидкість вітру v в м/с, довжина розгону хвилі D в км, коефіцієнти m_1 та m_0 , які є сталими величинами, а також уклон берегової зони, який в таблицях виражений α (тангенс кута нахилу берега). Маючи ці дані, було розраховано висоту хвилі h_e (див. формулу (1)) в м за формулою Андріянова:

$$h_B = 0,0208 \cdot W^{\frac{5}{4}} \cdot D^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де $W = 1,5 \cdot v$ – швидкість вітру над водною поверхнею, м/с;
 D – теоретична довжина розгону хвилі, км;

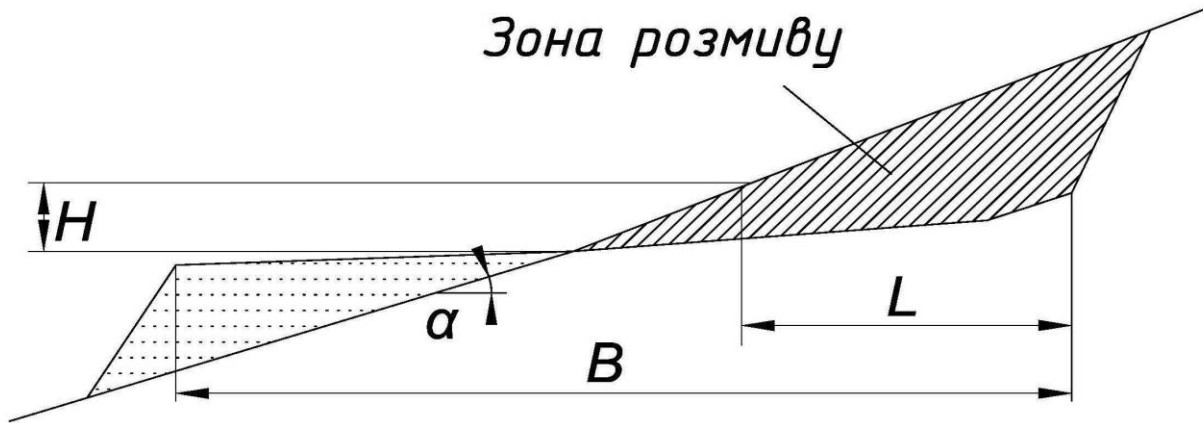


Рис. 2. Схема розмиву по Кондратьєву.

Коефіцієнт, (див. формулу (2)), який визначає ступінь шорсткості прибережної мілини:

$$k = \frac{20m_1 \cdot m_0}{m_1 - m_0}, \quad (2)$$

де $m_1 = 0,07$ та $m_0 = 0,01$ – сталі величини, їхні значення прийняті для піщаних ґрунтів;

H – геометрична величина, м (див. рис. 2), яка залежить від висоти хвилі (див. формулу (1)) і розраховується за формулою (3):

$$H = 0,64 \cdot \operatorname{arsh} 8,1h_B, \quad (3)$$

де arsh – тригонометрична функція, обернена гіперболічного синуса;

B – геометрична величина, м (див. рис. 2), яка залежить від H (див. формулу (3)) та коефіцієнта шорсткості (див. формулу (2)) і розраховується за формулою (4):

$$B = 0,05 \cdot \frac{m_1 \cdot m_0}{m_1 - m_0} \cdot H^2 + \frac{H}{m_1}, \quad (4)$$

Ширина теоретичного розмиву L , м (див. рис. 2) розраховується за формулою (5):

$$L = 0,3125 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot B + 0,625 \cdot H + 0,5 \cdot B + \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (5)$$

де α – кут нахилу берегової лінії.

Для розрахунку переробки берегової зони за методом *Качугіна*, для кожної точки було прокладено три напрямки дії вітру, один з яких перпендикулярний дотичній, два інших під кутом 45% (див рис. 4 D_1, D_2, D_3) в км. Враховано повторюваність вітру для кожного із трьох напрямків (див рис. 2) у %. Відповідно для кожного із напрямків порахована аналогічно (див. формулу (1)) висота хвилі $h_{хв1}, h_{хв2}, h_{хв3}$ за формулою Андріянова (1):

Для кожного із трьох напрямків відповідно до графіку (див. Рис.3) визначається показник наносорухомої енергії E , тс.м

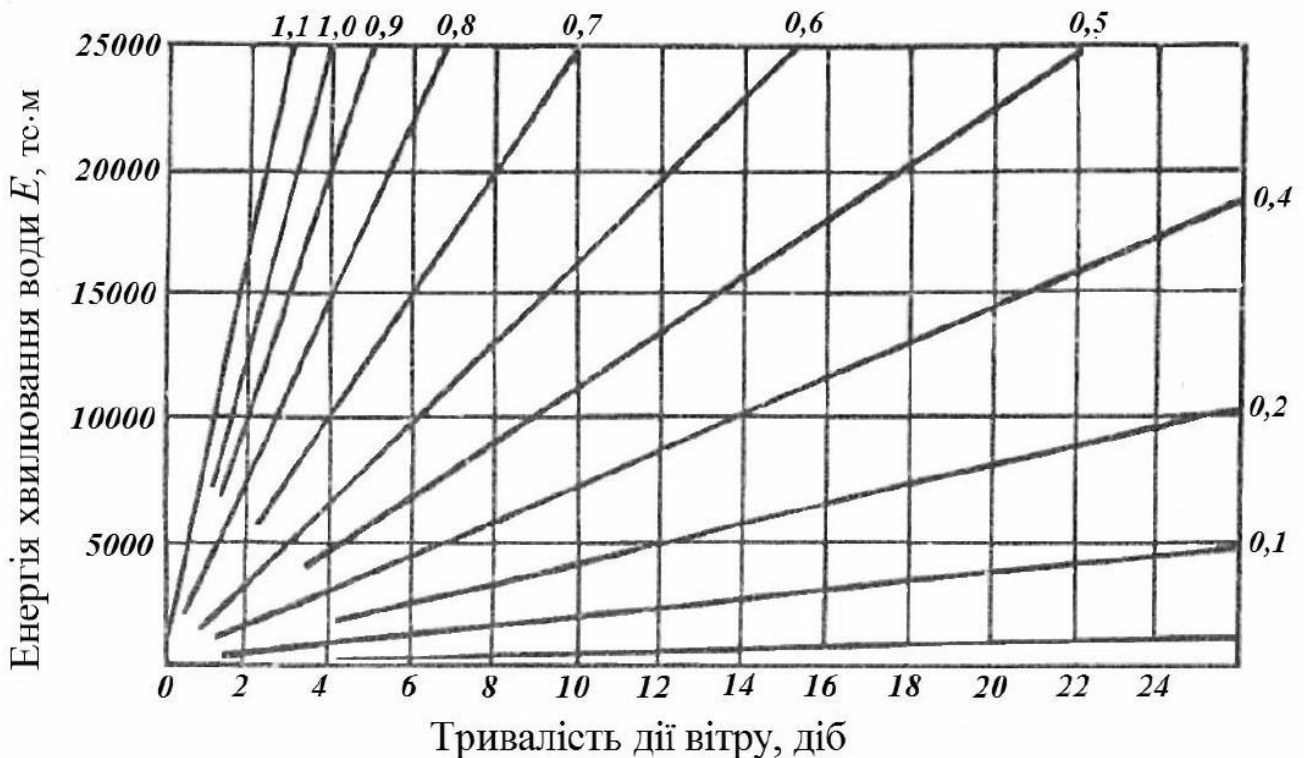


Рис. 3. Залежність між енергією хвилювання води, повторюваністю дії вітрів на висотою хвиль

Після чого знаходиться сумарний показник ΣE , тс.м (див. формулу (6)):

$$\Sigma E = (E_1 + E_3) \cdot \cos 45^\circ + E_2 \quad (6)$$

де E_1, E_2 та E_3 - значення прийняті з номограми (див. Рис.4)

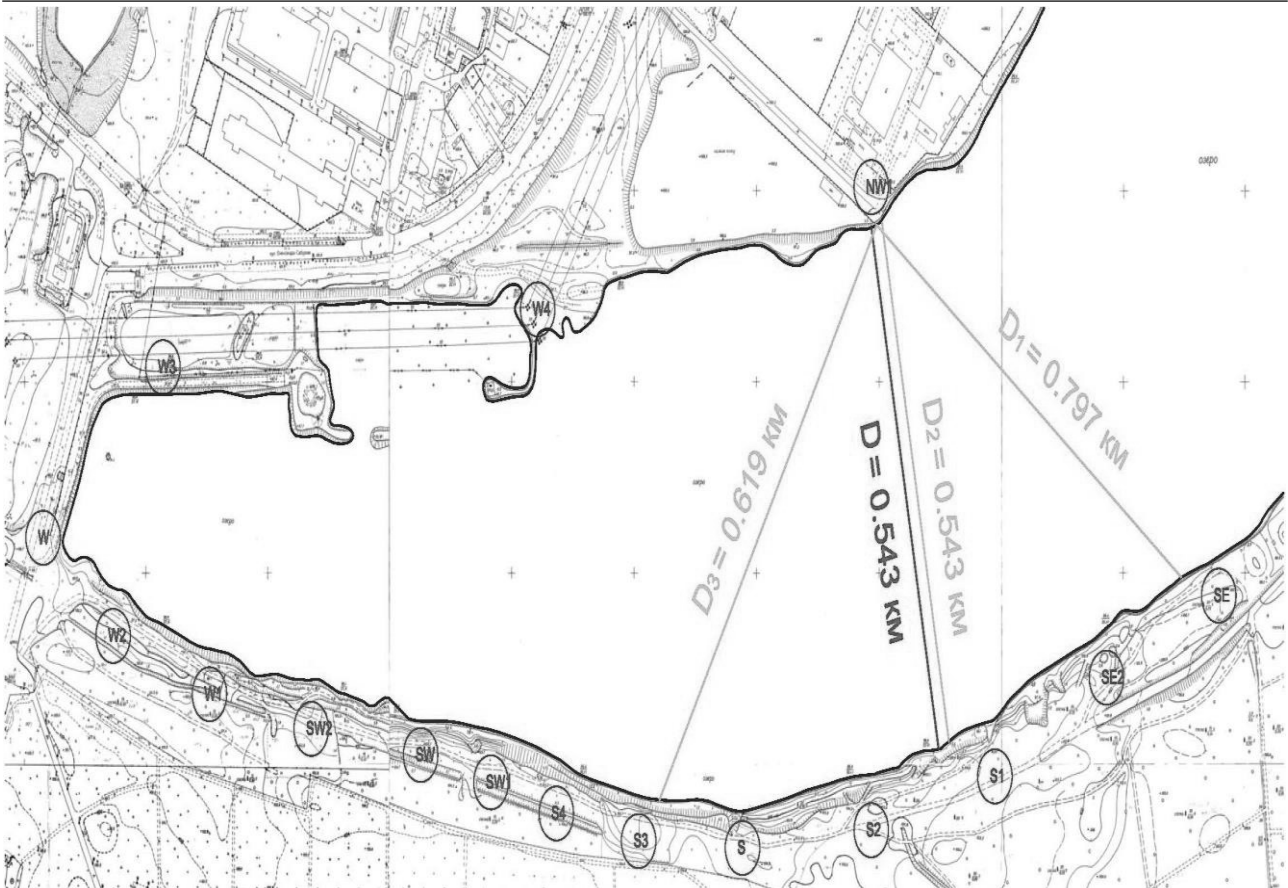


Рис. 4. Схема розміщення створів на прикладі оз. Алмазне

Кількість розмивної породи берега (див. формулу (7)) за час t (рік) на 1 м його довжини (m^3):

$$Q = \Sigma E \cdot K_p \cdot K_b \cdot t^B, \quad (7)$$

де: ΣE – сумарний показник енергії хвилювання;

K_b – коефіцієнт (див. формулу (7)), який враховує висоту берега:

$$K_b = h_b \cdot C, \quad (8)$$

C – стала величина, залежить від ґрунту, для піщаних ґрунтів 0,003;

K_p – коефіцієнт розмивності порід, приймається за таблицями;

t – час розмиву, рік; B – показник степеня менше одиниці;

залежно від швидкості припинення розмиву.

Знаючи величину Q , і кут нахилу берегу в конкретній точці через тригонометричну залежність знаходиться L – ширина теоретичного розмиву.

Результати розрахунків відображені у таблицях (див. табл. 1).

Алмазне												
№	Точка	V, м/с	D, км	m ₁	m ₀	α	W	h _e	k	H	B	L
1	N	3.54	1.166	0.07	0.01	0.5	5.31	0.17647	0.23333	0.22438	3.42117	2.83414
2	N3	3.54	0.312	0.07	0.01	0.5	5.31	0.11371	0.23333	0.14459	2.15514	1.79386
3	N4	3.54	0.398	0.07	0.01	0.30116	5.31	0.12333	0.23333	0.15681	2.34554	2.01221
4	NE1	3.54	0.413	0.07	0.01	0.37868	5.31	0.12486	0.23333	0.15876	2.37596	1.98761
5	NE	3.54	0.442	0.07	0.01	0.32495	5.31	0.12771	0.23333	0.16239	2.43285	2.0647
6	NE2	3.54	0.458	0.07	0.01	0.22867	5.31	0.12924	0.23333	0.16432	2.46322	2.22895
7	E1	3.54	0.479	0.07	0.01	0.24789	5.31	0.13118	0.23333	0.1668	2.50208	2.22199
8	E2	3.54	0.692	0.07	0.01	0.29091	5.31	0.1483	0.23333	0.18856	2.84609	2.44781
9	E	3.54	0.729	0.07	0.01	0.47818	5.31	0.15089	0.23333	0.19186	2.89866	2.40363
10	E3	3.54	0.714	0.07	0.01	0.34043	5.31	0.14985	0.23333	0.19054	2.87756	2.42369
11	E4	3.54	0.689	0.07	0.01	0.27523	5.31	0.14808	0.23333	0.18829	2.84176	2.46708
12	SE1	3.54	0.656	0.07	0.01	0.89835	5.31	0.14568	0.23333	0.18523	2.79322	2.50272
13	SE	3.54	0.601	0.07	0.01	0.94225	5.31	0.14149	0.23333	0.1799	2.70876	2.45535
14	SE2	3.54	0.558	0.07	0.01	0.37657	5.31	0.13803	0.23333	0.17551	2.63924	2.20596
15	S1	3.54	0.546	0.07	0.01	0.26914	5.31	0.13703	0.23333	0.17424	2.61924	2.28621
16	S2	3.54	0.531	0.07	0.01	0.35522	5.31	0.13577	0.23333	0.17263	2.59384	2.17872

Алмазне																			
№	Точка	V, м/с	V, м/с	h, м	D ₁ , км	D ₂ , км	D ₃ , км	% ₁	% ₂	% ₃	h _{хс1}	h _{хс2}	h _{хс3}	E ₁	E ₂	E ₃	ΣE	Q	L
1	N	3.54	5.31	1	0.374	1.023	0.158	17.4	13.5	12	0.1208	0.1689	0.0906	15132	16419	7830.3	32655	3.9647	3.0528
2	N3	3.54	5.31	1	0.559	0.592	0.252	13.5	12	12.3	0.1381	0.1408	0.1059	13423	12162	9377.4	28284	3.434	2.6442
3	N4	3.54	5.31	3.9	2.062	0.398	0.406	12	12.3	13	0.2134	0.1233	0.1241	18435	10920	11619	32172	3.9061	0.7712
4	NE1	3.54	5.31	10.3	0.935	0.391	0.414	12	12.8	10	0.1639	0.1226	0.125	14163	11297	8995.9	27673	3.3599	0.2512
5	NE	3.54	5.31	8.4	1.437	0.439	0.635	11.7	12.5	12.4	0.1892	0.1274	0.1441	15936	11467	12864	31832	3.8648	0.3543
6	NE2	3.54	5.31	8.2	2.358	0.516	0.614	11.7	12.5	12.4	0.2232	0.1345	0.1425	18796	12101	12721	34388	4.1751	0.3921
7	E1	3.54	5.31	8.8	1.227	0.669	0.746	12	12.8	10	0.1795	0.1466	0.1521	15506	13512	10947	32217	3.9116	0.3423
8	E2	3.54	5.31	3.2	2.539	0.697	0.679	12	12.8	10	0.2287	0.1487	0.1474	19760	13698	10609	35172	4.2703	1.0275
9	E	3.54	5.31	2.63	2.193	0.734	0.655	12	12.8	10	0.2178	0.1512	0.1456	18818	13936	10482	34655	4.2075	1.2319
10	E3	3.54	5.31	11.2	1.629	0.705	0.709	12.3	13	8.5	0.1973	0.1492	0.1495	17468	13965	9148.4	32786	3.9807	0.2737
11	E4	3.54	5.31	9	1.053	0.708	0.835	12.5	13.5	5	0.1706	0.1494	0.1579	15350	14523	5683	29395	3.5689	0.3053
12	SE1	3.54	5.31	3.8	1.609	0.662	1.045	12.5	13.5	5	0.1965	0.1461	0.1701	17680	14201	6124.2	31033	3.7678	0.7635
13	SE	3.54	5.31	3.1	0.752	0.668	1.866	12.8	10	8	0.1525	0.1466	0.2064	14049	10551	11888	28892	3.5078	0.8713
14	SE2	3.54	5.31	0.9	0.878	0.553	1.336	12.8	10	8	0.1605	0.1376	0.1847	14794	9907.2	10635	27888	3.386	2.8969
15	S1	3.54	5.31	4.5	0.827	0.548	1.466	12.8	10	8	0.1574	0.1372	0.1905	14502	9877.3	10969	27888	3.386	0.5794
16	S2	3.54	5.31	9.9	0.681	0.551	2.326	13	8.5	10	0.1475	0.1375	0.2221	13805	8411	15992	29481	3.5793	0.2784

Табл. 1. Результати розрахунку методом Кондратьєва та Качугіна на прикладі оз. Алмазн

Висновки.

Проведені розрахунки по переробці берегів терміном на 10 років показують, що імовірний розмив становить приблизно 3-4 м. При цьому основними чинниками є:

- **швидкість вітру**, яка в середньому складає по Києву 4 м/с і переводиться за рахунок відповідних коефіцієнтів;
- **довжина розгону хвилі**, яка через морфологічні особливості не перевищує 1,3 км;
- **кут нахилу берегової зони**;
- **геологічні особливості ґрунтів**.

Перспективи подальших досліджень

Причинами зменшення водойм, на нашу думку, є:

- 1) **Збільшення інтенсивності забудови** та, як наслідок, збільшення використання природних ресурсів, що зменшує басейн водозбору та спричиняє загальне порушення екосистеми. Система взаємозв'язків міста і його водних об'єктів носить стихійний характер. Тому надзвичайно важливо перетворити цю проблему з лише наукової в науково-практичну. Таким чином, природоохоронна функція стане пріоритетною для будь-якого району міста з його подальшою ландшафтно-екологічною оптимізацією. При цьому необхідною умовою буде визначення оптимального співвідношення природних та господарських угідь на території водозбору. Оскільки антропогенний вплив переважає природні та компенсаційні фактори на 50%, водна екосистема виходить з рівноваги.
- 2) Проблеми, пов'язані з **некоректною роботою очисних споруд, інженерних мереж** та каналів, через які водойми штучно зарегульовані з р. Дніпро і тому порушується гідрологічний режим комплексу водойм.
- 3) **Пряме втручання (вимивання піску)**, яке змінює геоморфологічні характеристики водойми та порушує гідрологічний режим.
- 4) **Погіршення екологічного стану** за рахунок значної кількості потрапляння фосфатних речовин та інших елементів побутової хімії, які під дією сезонної спеки призводить до цвітіння водойм.

Список використаних джерел:

1. Богословский, Б.Б. Озероведение / Б.Б. Богословский. Москва : Издательство Московского университета, 1960. - 334 с.
2. Б.Д. Зайцев. Очерки по озероведению. 2 часть – Ленинград: Гидрометеорологическое издание, 1960. - 330 с.
3. Золотарев Г.С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки / Г.С. Золотарев. // Тр. Лаб.

гидрогеол. проблем им. Ф.П. Саваренского. - М.: Изд-во АН СССР, 1955. - Т. 12. - С. 45-70.

4. Качугин Е.Г. Рекомендации по изучению переработки берегов водохранилищ / Е.Г. Качугин. - М.: Изд-во геологии и охраны недр, 1959. - С. 3-89.

5. Кондратьев Н.Е. Расчет ветрового волнения и переформирования берегов водохранилищ / Н.Е. Кондратьев. - Л.: Гидрометеиздат, 1953. - 123 с.

6. И.П. Иванов, Ю.П. Тржцинский «Инженерная геодинамика» – Издательство «Наука», Санкт-Петербург, 2001 г. 416 с.

7. Поляков Б.В. Гидрологический режим водохранилищ. Сб. «Нижневолгопроекта», вып. №8 ОНТИ. - М.-Л., 1938.

Аспирант Юрковец А.С.,
к.т.н., доцент Приймаченко А.В.,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ БЕРЕГОВЫХ ЗОН ВОДОЕМОВ ГОРОДА КИЕВА

Рассмотрены основные методы расчета преобразования береговых зон искусственных водоемов. Использование двух предложенных методов позволяет теоретически оценить возможные морфологические изменения водоемов та их береговых зон на протяжении определенных периодов времени при неизменных климатических показателях.

Ключевые слова: береговая зона, искусственные водоемы, береговая абразия.

Postgraduate student Olexandr Yurkovets,
Candidate of Engineering Sciences, docent Oleksiy Pryimachenko,
Kyiv National University of Construction and Architecture

TRANSFORMATION OF COASTAL AREAS OF WATERS OF KIEV

The main methods of calculating coastal zones` transformation of artificial reservoirs are considered. The use of the two proposed methods makes it possible to theoretically assess the possible morphological changes in water bodies and their coastal zones during certain periods of time with constant climatic indices.

Calculations made on the processing of shores for a period of 10 years show that the expected erosion is about 3-4 m. In this case, the main factors are: wind speed, which on average makes 4 m / s in Kyiv and is translated at the expense of corresponding coefficients; the length of the acceleration of the wave, which due to morphological features does not exceed 1.3 km; angle of inclination of the coastal zone; geological features of soils.

Comparing the dimensions of the reservoir mirror in 2000 and 2017 (see Table 3), all reservoirs changed their morphometric characteristics; however some increased, which confirms the relevance of the above-mentioned processes, while others, on the contrary, have decreased.

The reasons for reducing the reservoirs, in my opinion, are: increase of intensity of development, malfunction of the treatment facilities, extraction of sand, deterioration of the ecological state.

Key words: coastal zone, artificial ponds, coast abrasion/