

УДК 556.1:556.53

ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗАМУЛЕННЯ ПІДВІДНИХ І ТРАНСПОРТУВАЛЬНИХ КАНАЛІВ В ПРИДУНАЙСЬКИХ ОЗЕРАХ (ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО І НАНОСНОГО РЕЖИМУ)

О. Г. Кулібабін, канд. техн. наук, проф.

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, fobius-odessa@ukr.net

У статті наведені пропозиції щодо дослідження режиму взаємодії між річкою і підвідним каналом, динаміки водообміну в підвідних каналах, зусилля, що розвиваються при змішуванні мас потоку, гідравлічний режим і режим наносів підвідних і транспортувальних каналів для визначення основних вимог стосовно розмірів акваторії підвідного каналу. За результатами досліджень розроблені рекомендації по попередженню замулення підвідних і транспортувальних каналів. Ці міркування і дослідження дають змогу рекомендувати засоби керування гідравлічним режимом усередині підвідного каналу.

Ключові слова: замулення, водообмін, транспортувальний і підвідний канал, вири, циркуляція, потік, контурні течії, швидкість потоку, транзитні струмені.

1. ВСТУП

Придунайські озера з 50-х років минулого століття шляхом будівництва захисних дамб і регулюючих шлюзів перетворилися у водосховища з необхідним штучним водообміном, з дотриманням необхідного режиму спрацювання і наповнення їх протягом року. Захисні дамби уздовж Дунаю будувалися також поступово, із щорічним їхнім нарощуванням. Єдиного проекту усього водопровідного тракту, що з'єднує Придунайські озера з Дунаєм, тоді не було.

Підвідні канали-ковші, що з'єднують Дунай зі шлюзами, виникли стихійно, шляхом розчищення підвідної частини і переміщення ґрунту в кавальєри. Таким чином, через відсутність комплексного вирішення проблеми водопровідного тракту всі підвідні канали виявилися розташованими перпендикулярно до основного потоку річки. Водопровідний тракт складається з підвідного каналу-ковша, який з'єднує Дунай зі спорудою-шлюзом, транспортувального каналу – від шлюзу до гирла, тобто виходу каналу в озеро, і гирлової частини каналу. Внаслідок цього, питання замулення наносами й очищення їх від осадів, що накопичуються, виявляються надзвичайно злободенними і важливими. При цьому ступінь гостроти цих питань тим вищий, чим більші величини мутності води в річці і витрати води, що забирається, а також чим менш сприятливий гідравлічний режим створюється в підвідному каналі.

2. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ

Протягом усього періоду експлуатації цих споруд спостерігається занесення підвідних ка-

налів-ковшів, меншою мірою занесення транспортувальних каналів і утворення в гирлової частині транспортувальних каналів значних розмірів барів. Протягом усього періоду експлуатації споруд і каналів витрачаються порівняно великі кошти на очищення від наносів споруд і каналів. При зміні в останнє десятиріччя вартості енергоносіїв виникає необхідність більш поглибленого розгляду природи явищ занесення і зведення до мінімуму шляхом нескладної реконструкції замулення водопровідного тракту. Детальне вивчення можливості фізичного моделювання на прикладі вхідної частини в канал Дунай – Сасик показало малу (нижче 45 %) вірогідність отриманих результатів. У розглянутих умовах, коли величини ширини річки в плані і за глибиною дуже значні, а підвідний і транспортувальний канали порівняно малі, неможливо домогтися фізичної подібності моделі і природи й одержати достовірний коефіцієнт подібності.

Оскільки виконувати фізичне моделювання ми не маємо можливості, були вибрані дослідження минулих років стосовно к умовам функціонування діючих споруд на Придунайських озерах. Для цього були проаналізовані результати натурних досліджень і висвітлені характерні замулення підвідних і транспортувальних каналів шляхом інструментальних зйомок дна каналів і виконано порівняння цих даних з проектними перетинами. На основі цих робіт були вибрані і проаналізовані приклади гідравлічного режиму в спорудах, які розглядаються, для умов діючих. При цьому розглядалися дослідження різних авторів і наукових установ, таких як П. А. Денисов і Є. П. Москвін, Б. А. Пишкін [9], Ф. І. Бондар [8], який склав розділ «Ковшовые

водозаборные сооружения» в Керівництві по проектуванню річкових водозаборів. ВНДІ Вод-Гео проводив в різні роки великі роботи по дослідженню ковшових водозаборів. О. К. Пязоке розглядав гідравлічний режим входу в ківш і вплив на його водозабір елементів входу, русла і транспортувального каналу. Розглядалися також роботи, зв'язані з питаннями завислих наносів і транспортувальної здібності потоку, які стали предметом спеціальних досліджень багатьох авторів таких, як В. Н. Гончаров, М. А. Великанов [10], В. М. Маккавеев, Є. О. Замарин, С. Х. Абальянс [11], А. Г. Хачатрян [12], І. І. Леві, В. С. Кнороз та ін.

Більшість цих досліджень узагальнював О. С. Образовський [8].

Вся виконана робота по аналізу різних досліджень багатьох авторів дала змогу затверджувати застосування означених в статті методів аналітичних досліджень у тому числі використовувались ймовірно-статистичні підходи.

Метою даних досліджень є обґрунтування на основі методів аналітичних досліджень пропозицій по усуненню чи зменшенню проблем замулення підвідних і транспортувальних каналів в існуючих умовах і запропонування необхідних конструктивних заходів. Боротьба з завислими наносами до останнього часу обмежувалася лише простим видаленням осадів, виконуваних не завжди систематично й успішно. В останні роки знайдені заходи боротьби з так званим надлишковим замуленням ковшів, обумовлених водообміном з річковим потоком.

Виходячи з висловлених розумінь, запропоновані для розв'язання зазначених проблем методи аналітичних досліджень, які включають імовірно-статистичні підходи, що застосовуються при аналізі процесів з безупинно змінною обстановкою.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКУ

Для уявлення важливості проблеми, яка розглядається, і обґрунтування запропонованої методики моделювання слід перш за все розглянути гідравлічні характеристики потоку, що формуються в підводному каналі. Тобто це перший етап запропонованих досліджень.

Вирі, що формуються в підвідних каналах різних типів, є одним з найбільш характерних елементів їхнього гідравлічного режиму. Як показують дослідження й елементарний динамічний аналіз, у зонах вирів можуть бути дуже різні течії. У зв'язку з цим видається доцільною деяка

класифікація вирів з виявленням найбільш характерних відмінностей одного типу від інших [1].

Варто розрізняти насамперед плоскі вирі (рис. 1а) і тривимірні форми (рис. 1б) циркуляцій.

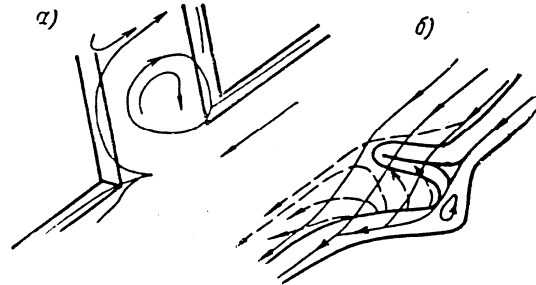


Рис. 1 - Циркуляція на вході в канал: а) плоскі вирі; б) тривимірні вирі

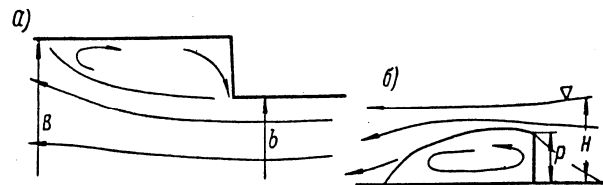


Рис. 2 - Плоскі циркуляції на вході в канал: а) наявна z-циркуляція (у плані); б) u-циркуляція (у поздовжньому перерізі)

До останніх необхідно віднести гвинтові, і гвинтоподібні течії, що виникають за навскісними порогами і шпорами, а також вихрові шнури, що виникають біля бортів, біля різного роду перешкод течії тощо.

Плоскі форми циркуляції (рис. 2) необхідно характеризувати, крім того, найменуванням вектора нормалі до площини, у якій розвивається обертання. Так, наприклад, на (рис. 2а) наявна z-циркуляція (у плані), а на (рис. 2б) u-циркуляція (у поздовжньому перерізі).

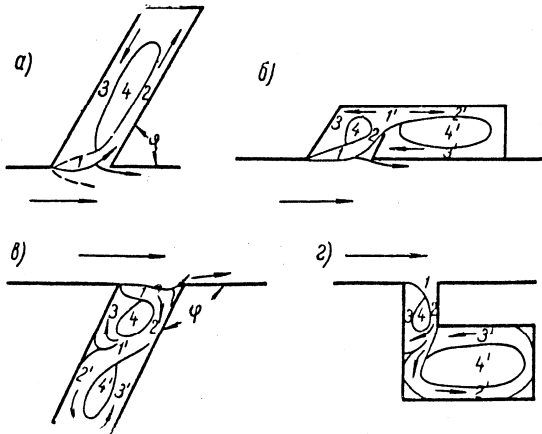
Як показали досліди, вирі варто розрізняти і за їх найважливішими динамічними особливостями. За цією ознакою вирі необхідно поділяти на чотири групи [2]:

- 1) вирі, збуджувані на контакт з потоком, що не розширюється чи слабо розширюється ;
- 2) вирі, збуджувані на контакт з потоком, що різко розширюється ;
- 3) вирі, збуджувані на контакт з потоком, що різко звужується;
- 4) вирі, що виникають на контакт з такими потоками, які спочатку звужуються й утворюють

переріз найбільшого стиснення, а потім розширюються.

Перший тип вирів при малих значеннях параметра $M = v_k / v_a$, (M – режим водообміну; v_a – швидкість потоку, що обтікає вхід в ковш; v_k – середні умови швидкості в поперечній течії водозвороту) являють собою контурні струмені чи струми, що повторюють значною мірою форми зовнішнього твердого контуру каналу чи кишені й у центральній частині іноді мають майже нерухомі маси води (рис. 3, а, г).

Другий тип вирів у каналах з низовим входом, частково чи цілком висунутим у русло. Ці вири характерні своєю значною довжиною, що досягає 6 - 10 ширин виру.



1 – зона збудження контурних течій; 1' – умовно нерухомі маси води; 2 і 3 – контурні течії, 2' і 3' – те саме, вторинні; 4 і 4' – середня малорухома область.

Рис. 3 - Схема контурних течій в ковшах різних форм: а) форма водоприймального ковша заглибленого в берег з ухилом в бік потоку; б) те ж заглибленого в берег з ухилом протилежним руху потоку; в) те ж заглибленого в берег з ухилом паралельно руху потоку; г) те ж заглибленого в берег перпендикулярно руху потоку.

Довжина цих вирів змінюється зі зміною параметра $M = v_k / v_a$. При значеннях цього параметра, який дорівнює нулю, вир має звичайно найбільшу довжину; швидкість на контакт з потоком у перерізі малого діаметра виру в цьому випадку дорівнює половині швидкості течії в руслі, тобто $v_m = v_a / 2$ (v_m – швидкість руху вирів водозворотів). Найбільша швидкість у зворотній гілці на тому самому діаметрі дорівнює $0.18 v_a$. При здійсненні відбирання з області такого виру, тобто при збільшенні параметра M від 0 до 0.137 (у межах режиму водообміну), транзитний струмінь розташовується по контуру

виру, не змінюючи його розмірів, а змінюючи тільки швидкості в зворотній гілці. Вони зростають відповідно від $0.18 v_a$ до $0.5 v_a$.

При подальшому збільшенні водовідбирання і, отже, параметра M до M_2 , що дорівнює 0.32, швидкості в зворотній гілці продовжують зростати, а довжина виру починає зменшуватися.

При параметрах $M > M_2 = 0.32$ течія набуває вигляду, показаного на рис. 4в, при якому вир розглянутого типу перетворюється у вир нового типу, розглянутий нижче. Сказане дозволяє відзначити, що розглянутий вир спостерігається тільки при режимі водообміну і при переході до режиму розподілу. Останній супроводжується вже виром нового типу [3].

Вири, що виникають на вході в ковші і канали при значних водовідбираннях з потоку, являють собою четверту характерну групу чи тип вирів. Потоки, що обтікають вири цього типу, спочатку мають прискорену течію і деяке стиснення, і лише після цього вони розширюються з частковим відновленням своєї кінетичної енергії. Вири цього типу розташовані в областях найменших п'єзометричних тисків. Вони характеризуються інтенсивною циркуляційною течією і високим водообміном з потоком, що їх обтікає, і спостерігаються при режимі розподілу. На відміну від циркуляцій чи вирів першого типу, вони меншою мірою пов'язані з формами твердого контуру ковша й більшою - з формами потоку, що їх обтікає. Часто вони розташовуються по обидва боки транзитного струменя в шаховому порядку (рис. 4). Водообмін таких вирів залежить від числа $M = v_k / v_a$, як це з'ясовано вище.

Вири третього типу, які виникають на контакт з потоком, що різко звужується (рис. 5), звичайно розташовуються в областях підвищеного тиску. Завдяки цьому їм властиві дві наступні особливості:

- по-перше, циркуляційна течія у ковшах і в цьому випадку супроводжується більш значним ухлинюванням поверхневих мас потоку, що набігають на ківш, і відповідно до цього витіканням з ковша придонних мас води;

- по-друге, завдяки зазначеному нагнітанням в ківш поверхневих мас потоку, що набігає, дуже часто виникає коливальний режим течій біля входу. Останній характеризується тим, що за деякий період часу в ківш чи канал втікає значно більше води, ніж забирається з ковша і внаслідок цього рівень у ковші тимчасово підвищується.

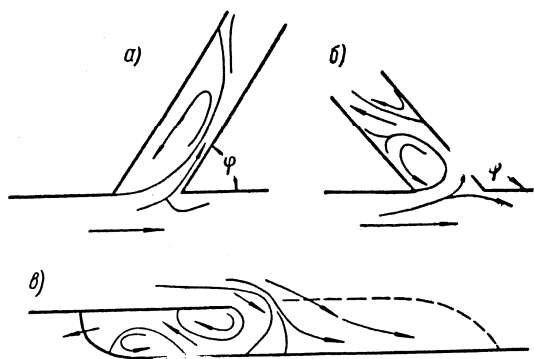


Рис. 4 - Вири, що виникають біля стиснених перерізів транзитних струменів: а) форма водоприймального ковша заглибленого в берег з ухилом вздовж потоку; б) форма водоприймального ковша заглибленого в берег з ухилом протилежним потоку; в) форма водоприймального ковша заглибленого в берег з входом перпендикулярним потоку.

При деякій висоті останнього втікання в ківш припиняється і навіть виникає деяке витікання з ковша, у результаті чого рівень в останньому зменшується і викликає наступне значне втікання в ківш. У подібному коливальному змінному режимі можуть бути наявними значні витрати [4].



Рис. 5 - Вири, що виникають біля різких звужень потоку

4. АНАЛІЗ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Натурні обстеження підвідних каналів підтвердили вищенаведене дослідження гідравлічного і наносного режиму в каналах Придунайських озер і встановили загальну тенденцію відкладених наносів на верховій дамбі і розмиву - низової.

Усі підвідні канали-ковші на Придунайських озерах розташовані перпендикулярно до основної течії річки, тому зменшення швидкостей течії перед водоприймачем змінює умови транспортування завислих наносів, роблячи підвідний канал своєрідним відстійником.

Межі живлення підвідних каналів-ковшів у відкритому руслі річки залежать від розподілу швидкостей течії в річковому потоці й умов розподілу потоку. Характер течії усередині підвідного каналу залежить від форми входу, зокрема від форми його низового борта.

Приведені міркування і дослідження дають змогу рекомендувати засоби керування гідравлі-

чним режимом усередині підвідного каналу. При цьому найчастіше виникають два характерних завдання:

а) потрібно домогтися найбільш значного розширення транзитного струменя на якомога меншій його довжині;

б) потрібно зменшити розміри в плані, що займаються первинним виром, безпосередньо взаємодіючим з річковим потоком.

Перше з зазначених завдань може виникати при необхідності поліпшення режиму в каналі в періоди повені і межені. Друге ж звичайно виникає тільки при поліпшенні режиму в періоди інтенсивного руху наносів, тобто звичайно в повінь.

Слід зазначити, що вирішення обох завдань у більшості випадків може досягатися заходами того самого виду. У зв'язку з цим доцільно розрізняти керування транзитними струменями в каналі у період повені й у періоді межені.

У періоді межені керування режимом транзитного струменя здійснюється звичайно за допомогою струмененапрямних виступів і граней, що влаштовуються на укосах низового борта входу в канал або ківш [5].

В подальшому для визначення конструктивних засобів слід розглянути ще характеристики складу завислих наносів річки Дунай, а також виконати експеримент по змінненню швидкості осідання наносів в залежності від змінення мінералізації води. Мова йде про те, що Дунайська вода, менш мінералізована, зустрічається з водою озера з додатковою мінералізацією.

5. ВИСНОВКИ

На основі виконаних досліджень гідравлічного і наносного режиму підвідних і транспортувальних каналів в Придунайських озерах пропонуються наступні попередні рекомендації щодо розв'язання проблем попередження замулення в цих каналах.

1. Виконаний аналіз режиму течій у підвідних каналах-ковшах дає основу до розв'язання всіх основних питань, що виникають при виборі типу і конструктивних параметрів заходів щодо зниження занесення підвідної частини каналів, які з'єднують озера-водосховища з Дунаєм. Керування транзитними струменями в каналі досягається підбором необхідних форм низового борту входу.

2. Зменшення швидкостей течії перед водоприймачем, здійснюване підвідним каналом, змінює умови транспортування завислих наносів і робить канал своєрідним відстійником незале-

жно від того, потрібно деяке просвітлення води в ньому чи ні.

3. Боротьба з донними наносами на підвідних каналах вирішується вибором місця водозабору і типу ковша, а також призначенням відповідних конструктивних форм і розмірів вхідної їх частин. Більшість цих питань слід вирішувати шляхом зміни підходу розуміння формування потоку у вхідній частині водозабору, в кожному конкретному випадку розглядати на основі пропонувані вище міркувань типи і конструктивні форми гідротехнічних заходів.

4. Наведені результати дослідження дали змогу визначити необхідні конструктивні рішення і зробити перший експериментальний проект реконструкції підвідної частини каналу «Желявський» на озері Катлабух і здійснити його будівництво.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чоу В. Т. Гидравлика открытых русел. Госэнергоиздат, 1976. 398 с.
2. Бернадский Н. М. Теория турбулентного потока и ее применение к построению течений в открытых водах. Специальные вопросы. Госэнергоиздат, 1966. 48 с.
3. Зегжда А. П. Основные положения методики расчета размеров отстойника и времени его заилиения. Госэнергоиздат, 1969. 59 с.
4. Белоконов П. Н. Водоприемные ковши. Госэнергоиздат, 1968. 159 с.
5. Бернадский Н. М. Речная гидравлика. Т. 1. Общие формы течения. Госэнергоиздат, 1953. 196 с.
6. Шапов Г. И. Гранулометрический состав наносов рек СССР // Труды ГГИ. 1958. Вып. 18. С. 101-109.
7. Соколов Д. Я. Водозаборные устройства для гидростанций и ирригации. ОНТИ. 1957. 374 с.
8. Образовский А. С., Москвин Е. П., Бондар Ф. И. Гидравлический режим водоприемных ковшей // Труды ВНИИ ВодГео. 1978. Части I и II. 178 с.
9. Пышкин Б. А. О ковшевом водозборе / Научные труды Московского гидромелиоративного института. 1959. 96 с.
10. Великанов М. А. Руслвые процессы. Госиздат физико-математической литературы, 1978. 212 с.
11. Абальянс С. Х. Движение взвесей в открытых потоках // Труды САНИИРИ. 1987. Вып. 136. С.154.
12. Хачатрян А. Г. Отстойники на оросительных системах. Сельхозгиз, 1968. 92 с.

REFERENCES

1. Chou V. T. *Gidravlika otkrytykh rusel* [Hydraulics of open channels]. Gosenergoizdat, 1976. 398 p.
2. Bernadskiy N. M. *Teoriya turbulentnogo potoka i ee primeneniye k postroyeniyu techeniy v otkrytykh vodoemakh. Spetsialnye voprosy* [The theory of turbulent flow and its application to the construction of flows in open water. Special issues]. Gosenergoizdat, 1966. 48 p.
3. Zegzhda A. P. *Osnovnye polozheniya metodiki rascheta razmerov otstoynika i vremeni ego zaileniya* [Summary of methods for calculating the size of the sump and the time of its silting]. Gosenergoizdat, 1969. 59 p.
4. Belokon P. N. *Vodopriemnye kovshi* [Rainwater buckets]. Gosenergoizdat, 1968. 159 p.
5. Bernadskiy N. M. *Rechnaya gidravlika*. T. 1 *Obschie formy techeniya* [The river hydraulics. Vol. 1 General form of the flow]. Gosenergoizdat, 1953. 196 p.
6. Shamov G. I. *Granulometricheskii sostav nanosov rek SSSR* [The size distribution of the sediment of rivers of the USSR] // *Proc. SHI*, 1958, vol. 18, pp. 105-109.
7. Sokolov D. Y. *Vodozabornye ustroystva dlya gidrostanciy i irrigacii* [Water intake device for hydro power and irrigation]. ONTI, 1957. 374 p.
8. Obrazovskiy A. S., Moskvina E. P., Bondar F. I. Hydraulic mode of water reception ladles. *Trudy VNI VodoGeo* – *Proc. AUSRI VodoGeo*, 1978, Ch. I, II, 178 p. (In Russian).
9. Pyshkin B. A. *O kovshevom vodozborne* [About a ladle vodozbor]. Proc. MHMI, 1959. 96 p.
10. Velikanov M. A. *Ruslovye processy* [Channel processes]. Gosizdat fiziko-matematicheskoy literatury, 1978. 212 p.
11. Abal'yans S. H. The movement of suspensions in open streams. *Proc. SANIIRI*, 1987, issue. 136, pp. 154.
12. Hachatryan A. G. *Otstoyniki na orositel'nykh sistemakh* [Settlers on irrigating systems]. Sel'khozgiz, 1968. 92 p.

TO SUBSTANTIATE MEASURES AIMED AT PREVENTION OF SILTATION OF SUPPLY AND TRANSPORT CHANNELS IN THE DANUBE LAKES (STUDY OF HYDRAULIC AND ALLUVIAL REGIMES)

O. H. Kulibabin, Cand. Sci. (Tech.)

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, fobius-odessa@ukr.net

Underwater bucket channels connecting the Danube with sluices were built perpendicular to river's main stream. Water supply tract consists of an supply bucket channel, connecting the Danube with a sluice facility, a transporting channel – from a sluice to the mouth, i.e. to an output of a channel into a lake, and a mouth section of a channel. Throughout the whole period of operation of these facilities silt accumulation has been observed within supply bucket channels, in a lesser degree – within transport channels, and emergence in a mouth section of transport channels of sandbars having considerable dimensions. Throughout the whole period of operation

of facilities and channels plenty of money has been spent for cleaning facilities and channels off sediments, so there is a need for deeper examination of the nature of silting phenomenon and minimization of water supply tract siltation through its simple reconstruction.

The aim of this research consists in substantiation of proposals to eliminate or to reduce effects of silting of supply and transport channels under existing conditions and substantiation of proposed necessary structural measures on the basis of proposed mathematical modelling and methods of analytical studies. Therefore methods of analytical studies including probable and statistical approaches used when analyzing processes with constant change of environment were proposed. These studies found that boundaries of supply of inlet channels in an open river's channel depend on distribution of flow velocities throughout a river's stream and conditions of stream distribution and flow pattern in the middle of the supply channel depends on shape of an inlet, particularly on shape of its lower side.

These suggestions and studies give us an opportunity to recommend means of controlling a hydraulic regime in the middle of a supply channel. Fighting against deposition of bottom sediments at supply channels may be won after choosing a place for water intake and a type of bucket, as well as after specification of appropriate structural forms and sizes of their inlet components. Therefore the article provides suggestions on research of regime of interaction between the river and a supply channel, dynamics of water exchange in supply channels, forces of stream masses developing during mixing, hydraulic regime and regime of deposition of supply and transport channels in order to determine the major requirements regarding size of water area of a supply channel.

Keywords: siltation, water exchange, transport and supply channel, whirlpools, circulation, stream, contour flows, stream velocity, transit streamflows.

К ОБОСНОВАНИЮ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ЗАИЛЕНИЯ ПОДВОДЯЩИХ И ТРАНСПОРТИРОВОЧНЫХ КАНАЛОВ В ПРИДУНАЙСКИХ ОЗЕРАХ (ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО И НАНОСНОГО РЕЖИМА)

А. Г. Кулибабин, канд. техн. наук, проф.

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, fobius-odessa@ukr.net*

В статье приведены предложения по исследованию режима взаимодействия между рекой и подводным каналом, динамики водообмена в подводных каналах, усилия развивающихся при смешивании масс потока, гидравлический режим и режим наносов подводных и транспортировочных каналов для определения основных требований по размерам акватории подводного канала. Предложенные методы аналитических исследований, которые включают вероятностный статистические подходы, применяемые при анализе процессов с непрерывно изменением обстановкой. Эти меры и исследования позволяют рекомендовать средства управления гидравлическим режимом внутри подводного канала.

Ключевые слова: заиление, водообмен, транспортировочный и подводящий канал, водовороты, циркуляции, поток, контурные течения, скорость потока, транзитные струи.

Дата первого подання: 04. 11. 2016

Дата надходження остаточної версії : 28. 03. 2017

Дата публікації статті : 26. 10. 2017