

Онищук В.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ПРИНЦИПОВІ ВЛАСТИВОСТІ ВІДКРИТИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ РОЛЬ ПРИ РЕГУЛЮВАННІ РУСЕЛ РІЧОК

Ключові слова: відкрита динамічна система, принципи функціонування гідродинамічної системи «потік-русло», регулювання русел річок

Актуальність проблеми. Вивчення принципових властивостей гідродинамічної системи «потік-русло» (далі ГДС_{п-р}) має досить велике практичне значення при регулюванні русел, зокрема на гірських річках при реалізації протипаводкових заходів на урбанізованих ділянках руслозаплавного комплексу. У першу чергу це пов'язано з вибором ефективних і надійних у роботі конструкцій захисно-регулювальних споруд та їх раціональних компонувальних рішень (схем) на ділянках з різними типами русла. Слід зауважити, що вплив інженерних регулювальних споруд на розвиток і еволюцію руслових процесів повинен бути у межах толерантного втручання [1]. При цьому є необхідним збереження набутого типу русла з наближенням до референційних умов функціонування ГДС_{п-р} [2].

Склад робіт і методика досліджень. У даній статті поставлена задача описати усі інші основні принципи функціонування ГДС_{п-р}, які не були детально розглянуті у раніше опублікованій роботі [3].

Однадцять принципів, розглянутих нижче, безпосередньо стосуються фізичних властивостей динамічних водних об'єктів у форматі дії реактивних сил. При регулюванні русел річок важливим є урахування цілого ряду силових факторів природно-антропогенного походження, які можуть відповіднім чином впливати на хід розвитку руслових деформацій (на перебудову рельєфу русла). У методичному плані аналітичний аналіз основних принципів підпорядкований системному підходу до оцінки закономірностей розвитку і еволюції відкритих динамічних систем.

Виклад основного матеріалу. Наведені нижче ряд принципів, а саме: нелінійності зв'язків, факторної відносності, єдності ерозійно-акумулятивних процесів, автоматичного регулювання транспортувальної здатності були сформульовані раніше М. І. Маккавеєвим [4] та принцип обмеженості морфологічних комплексів М. А. Великановим [5]. Низка доповнень до змісту цих принципів, які були внесені пізніше, в основному стосуються практики їх можливого урахування при комплексному регулюванні урбанізованих ділянок річок. Серед них є наступні: сформульовані положення про взаємозв'язок у прояві еrozійно-акумулятивних процесів на всій довжині річки у комплексі з режимом функціонування заплави і водозбору; висвітлені ряд питань

стосовно впливу на русловий режим антропогенного фактору Р. С. Чаловим [6, 7].

Принцип збереження набутого структурного рівня

Кожна відкрита динамічна система намагається досягти найвищого структурного рівня, який відповідав би мінімуму дисипації енергії. В залежності від умов навколошнього середовища ГДС_{п-р} на ділянках від витоку до гирла набуває ознак самозбереження у просторово-часових координатах форм русла (типів русла). Кожний тип русла визначається послідовною дією водного потоку з потужностями близькими до руслоформуючих, коли витрати водотоку проходять у межах брівок русла. Більш висока стійкість (інерційність) макроформ русла у порівнянні з мезоформами забезпечує функціонування ГДС_{п-р} на досягнутому структурному рівні. Цей рівень структурної самоорганізації системи адекватно видозмінюється в залежності від потенціалу існуючих силових полів. При різкій зміні силових полів (внутрішніх або зовнішніх) ГДС_{п-р} може тимчасово вийти зі стану динамічної рівноваги або набути ознак іншого типу русла з відповідним терміном функціонування. При регулюванні русел необхідно дотримуватись цілої низки принципів щодо вірного і раціонального використання властивостей самоорганізації ГДС_{п-р}.

Як даний принцип, так і інші при управлінні русловими процесами рекомендується об'єднати за допомогою принципу толерантного (втручання у ГДС_{п-р}) [1]. Толерантне втручання у ГДС_{п-р} у своїй основі передбачає гармонійне поєднання внутрішніх силових полів із зовнішніми полями. Концепція толерантного втручання ставить на меті забезпечення оптимального рівня функціонування ГДС_{п-р} як у природних, так і в умовах дії антропогенних чинників. За положеннями Водної Рамкової Директиви ЄС [8] це має бути збереження референційних або наближених до них умов функціонування водних об'єктів (водних тіл). Русьова ситуація на водному об'єкті в цілому визначається тріадою модульних характеристик ГДС_{п-р}: транспортуючу здатністю водотоку на найвищому структурному рівні самоорганізації, динаміко-кінематичним ефектом і проявом явища меандрування русла [9]. Зберігаючи послідовно по довжині річки досягнуті типи морфодинамічних комплексів (типи русла), при виконанні протипаводкових заходів необхідно забезпечити оптимальні ширини водопропускних коридорів русло-заплавного комплексу на урбанізованих ділянках річок та на них квазірівномірний гіdraulічний режим [10], що відповідним чином стабілізує розвиток явища меандрування русла. Режим транспорту наносів рекомендується регулювати за схемами дискретного відбору транзитних наносів. У верхів'ях річок рекомендується застосування баражування русла за допомогою систем низьких загат. Якщо русло розгалужується на два рукави, то необхідно їх зберегти з якомога рівними руслоформуючими витратами зі створенням стійких до розмиву русловиправних ділянок, особливо на вході і виході траси регулювання

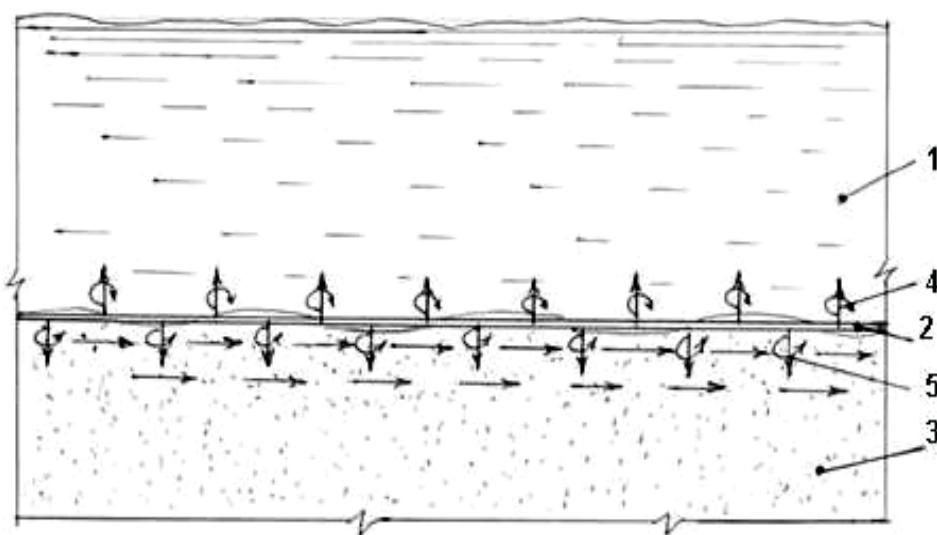
водотоку. Гідроморфологічний стан урбанізованих ділянок річок має відповідати відмінному або доброму класам [11].

Принцип турбулентності

Дослідженням турбулентності в руслових потоках переймались багато вітчизняних і зарубіжних вчених. Суттєві вклади у розвиток теоретичного обґрунтування явища турбулентності водних мас належать А.Н. Колмогорову [12], Б.А. Фідману [13], І.К. Нікітіну[14], В.С. Боровкову [15].

Турбулентність як явище – це природний двигун самоорганізації систем, зокрема ГДС_{п-р}. Турбулізація/активізація водних мас відбувається в придонній області, яка розділяє русловий потік від підрусового (фільтраційного) потоку. Товща придонної області δ домірна абсолютній висоті виступів шорсткості дна русла $\Delta_{\text{ср.зв.}}$ [9]. Ця область перебуває під впливом тиску водних мас за глибиною потоку. Чим більша глибина руслового потоку, тим вищий рівень активності явища турбулентності водних мас у придонній області.

В самому русловому потоці при зміні рівня турбулентності водних мас (рівня генерації міковирів (міковихорів) – елементів турбулентності) відбувається структурна самоорганізація відповідного потоку, що характеризує рівень формування мезо- і макровирів. Формування міковирів також відбувається в області підрусового потоку. Це положення необхідно підтвердити експериментами. Два потоки з різними енергетичними потенціалами розмежовуються нейтральною зоною, яка забезпечує їх індивідуальність (рис. 1).



Rис.1. Конструктивна схема гідродинамічної системи «русловий потік-придонна область -підрусовий фільтраційний потік»:

- 1 – русловий потік;
- 2 – нетральний шар у придонній області;
- 3 – підрусовий фільтраційний потік;
- 4 – вирова структура змиву наносів поверхневого шару дна русла;
- 5 - вирова структура спонтанного виходу мас води у підрусовий потік.

У нашому випадку для русового потоку ($\Gamma DC_{п-р}$) це його придонна область, яка має досить низький тиск, щоб запустити механізм ежекції. Повітря у придонну область надходить із підстильного ґрунту/алювію. Цей вакуумний простір є по сутті енергетичним каналом, де спостерігається потік водно-повітряної суміші, має нестационарний режим функціонування, а тому його можна назвати областю фазового переходу [9].

У цьому контексті слід зауважити про тісну спорідненість явищ турбулентності, меандрування і самовимощення дна русла. При обтіканні виступів шорсткості дна русла русловим потоком відбувається прояв ефекту ежекції (всмоктування) дрібних частинок наносів із різнофракційного гранулометричного складу алювію через мікрокопічні канали між більш крупними частинками відкладів (шару самовимощення). Саме через ці канали відбувається формування мікровирів – в бік русового потоку, а в сторону підрусового потоку, в антіфазі (асинхронно) – антимікровири. Під терміном антимікровири треба розуміти мікровири з протилежним напрямом руху (обертання водних мас проти годинникової стрілки).

Принцип обмеженості морфологічних комплексів

Вперше цей принцип був чітко сформульований М.А. Велікановим [5, с. 426], а саме: «В естественных русловых потоках в результате длительного взаимодействия потока и русла проявляются особого рода зависимости между уклоном, расходом, формой русла, размерами твердых частиц дна и, наконец, формой гидрографа, в свою очередь связаной с климатической и топографической характеристиками водозбора. Это зависимости морфологического характера совместно с общими, хорошо нам известными, гидравлическими зависимостями образуют как бы совокупность уравнений, определяющих *ограниченное число возможных в природе русловых процессов*».

На ділянках русел річок зі структурним транспортуванням донних наносів спостерігається цілком визначена кількість морфологічних комплексів – грядова форма рельєфу русла, осередкова форма розподілу руслового алювію на поверхні активного шару та меандри з різними формами розвитку. Ці комплекси є відносно стійкими на фоні ерозійно-акумулятивного процесу, а тому визначають відповідні типи русла [5,8]. За цими комплексами (типами русла) є можливість виконувати класифікацію річок за гідроморфологічними ознаками, що дає можливість оцінити специфіку прояву руслових процесів при різних сценаріях суперпозиційної дії природно-антропогенних факторів, а також науково обґрунтовано виконувати проектування захисно-регулювальних споруд у складі єдиного противаводкового комплексу для визначених типів русел річок.

Принцип факторної відносності

Даний принцип вказує на те, що реакція $\Gamma DC_{п-р}$ на ділянках з різними типами русла річкової мережі є різною за потужністю та зміщеною у часовому інтервалі. Найбільш активно цей принцип має прояв у річковій мережі на фоні дії антропогенного фактору (кар'єрні відбори руслового алювію,

транспортування водним потоком значних об'ємів наносів у місцях злиття водотоків, зокрема водотоків з селевою компонентою тощо). Цей принцип був запропонований та практично використаний М. І. Маккавеєвим [4]. Прикладом відносно повільних трансформаційних змін руслової мережі може служити акумуляція наносів вище крупних водосховищ. Вперше принцип був використаний для трактовки механізму виникнення терас і накопичення наносів у річних долинах. В зоні виклинування підпору формуються острови, перекати тощо, які переміщаються регресивно з тенденцією майбутніх впливів на русловий режим більш високих ділянок мережі. Значні трансформації руслового режиму (руслової мережі) можуть викликати глобальні зміни клімату, особливо на малих річках. При комплексному протипаводковому захисті урбанізованих заплавних територій рекомендується локалізувати до мінімуму порушення референційних умов функціонування об'єктів [10].

Принцип періодичної географічної зональності

Річкова мережа належить під постійним впливом екзогенних процесів, які у значній мірі залежать від зміни клімату поруч з іншими чинниками формування рельєфу водозбору. Вплив клімату визначається в зональних закономірностях розподілу атмосферних опадів, температур, вологості повітря і ґрунту, швидкостей і напрямку вітрів. Територія України розташована у чотирьох зонах (степовій, лісостеповій, широколистяних лісів і гірські країни), що значною мірою позначається на проявах сучасних екзогенних процесів [11]. Крім того, басейнова річкова мережа в значній мірі залежить від геологічних умов і рельєфу території, що охоплюється вертикальною поясністю. Найбільш вразливими до змін екзогенних процесів є річки у басейнах Українських Карпат та Криму. Головними процесами в Карпатах є схилові та руслові, селеві і зсуви. У Поліссі і Закарпатській низовині - інженерно-техногенні та ерозійно-акумулятивні, зумовлені впливом повеней і паводків, локально-еолові, біогенні, вторинного підтоплення земель тощо. Зональність обумовлює індивідуальну специфіку прояву процесів руслоформування. Гірські річки суттєво відрізняються від рівнинних за характером руслового режиму, за специфікою самоорганізації у межах структурного розвитку ГДС_{п-р} тощо. Інтегрований план управління басейнами повинен включати оптимізовану комплексну схему стосовно вирішення екзодинамічних проблем регионального характеру. Періодичність екзодинамічних процесів (географічної зональності) обумовлена повторюваністю форм рельєфу по території України.

Принцип єдності ерозійно-акумулятивних процесів

Системний (цілісний) методичний підхід стосовно дослідження як рівнинних, так і гірських річок належить у значній мірі М.І. Маккавеєву [4].

Даний принцип полягає в тому, що ерозія, переміщення (транспортування) і акумуляція наносів є обов'язкові складові єдиного процесу. У верхів'ї річок має місце безструктурний транспорт наносів, що вказує на можливість розвитку еrozії русла при швидкостях потоку вищих від допустимих нерозмивних і наявність майже повної акумуляції наносів у гирловій частині річок при середніх швидкостях нижчих від незамулюючих. У просторово-

часових координатах розвиток ерозійно-акумулятивних процесів під впливом природно-антропогенних факторів обумовлює формування відповідних динамічно стійких морфологічних форм рельєфу русла, які відповідають певним (типовим) проявам руслових процесів (типам русла). Розвиток будь-якої форми русла представляє сукупність розмивів на окремих ділянках і акумуляції наносів на інших. У цьому контексті доцільно зазначити наступне: «Даже смещение грядовых аккумулятивных форм руслового рельефа, посредством которых осуществляется транспорт русловых наносов, есть совокупность процессов эрозии, транспорта, переотложения и аккумуляции частиц» [6]. В залежності від типу русла, як правило, приймаються тільки їм властиві управлінські рішення стосовно збереження відносної динамічної рівноваги ГДС_{п-р}. Наприклад, при обвалуванні русло-заплавного комплексу необхідно забезпечити ширину водопропускного коридору достатню для вільного проходження катастрофічних паводків.

Принцип автоматичного регулювання транспортувальної здатності

Найбільш чітко дія цього принципу простежується при формуванні гряд руслового рельєфу і при меандруванні русла. При зазначеных структурних рівнях самоорганізації ГДС_{п-р} відбувається перерозподіл транспортувальних наносів у вертикальній або горизонтальній площині у межах елементів системи. Завдяки формуванню циркуляційних водних структур спостерігається взаємообумовлений транзит, розмив та акумуляція наносів у межах морфологічних структур. Наприклад, розмив увігнутих ділянок берегів (звивин) і акумуляція наносів на опуклих. Таким чином, при проходженні русло- формуючих витрат у межах брівок, відбувається автоматичне регулювання руслових процесів у напрямі досягнення найвищого ступеня стійкості морфологічних структур, тобто збереження набутого структурного рівня самоорганізації системи «потік-русло» (досягнення відносної динамічної рівноваги ГДС_{п-р}). Баланс наносів на конкретній ділянці річки є інтегральним потенціалом саморегулювання ГДС_{п-р}. М.І. Маккавеєв при розгляді механізму формування поздовжнього профілю, показав, що в його основі лежить процес автоматичного регулювання транспортувальної здатності потоку. «На тех участках русла, где удельная транспортирующая способность потока недостаточна для транзита поступающих с вышележащего участка наносов, дно постепенно повышается до тех пор, пока в результате отложений уклон не возрастет до величин, обеспечивающей транзит наносов.» [17, с. 54].

При вкрай необхідному проведенні комплексу русловправних робіт необхідно дотримуватись положень Водної Рамкової Директиви ЄС [8], Це має бути збереження референційних або досить наблизених до них умов функціонування водних об'єктів, з огляду на збереження набутого стійкого поздовжнього профілю русла.

Принцип нелінійності зв'язків між характеристиками гідродинамічної системи «потік-русло»

Відкриті динамічні системи за своєю природою є нелінійними, оскільки інерційність підсистем проявляється неоднозначно. Найбільш показово цей

принцип простежується через наявність степеневої залежності між витратою транспортувальних наносів і витратою води - $R = f(Q^m)$ - де степінь m змінюється у геометричній прогресії в порівнянні з лінійною зміною витрати води [7,17]. Нелінійність зв'язків також має прояв між витратою води і транспортувальною здатністю русового потоку. Особливо це характерно для ділянок злиття річок, що фізично можна пояснити проявом властивості синергізму (самоформування додаткового потенціалу). Синергізм між підсистемами відбувається на фоні резонансу, коли їх вібрації співпадають [18]. Транспортувальна здатність потоку також нелінійно зростає при різкому збільшенні нерівномірності стоку і на звивинах русла, де нерівномірність течії у створі може змінюватися від 1,5 до 2 разів.

Принцип інерції

Слід розрізняти інерцію спокою, інерцію руху і інерцію напрямку руху. В тій чи іншій системі дані види інерції мають відповідний прояв. У руслових процесах доводиться мати справу з інерцією напрямку руху. При регулюванні руслових процесів слід науково обґрунтовано підходити до зміни напрямку руху води і наносів у вигляді планових струменів. Межі толерантного втручання стосовно зміни напрямку руху русового потоку находяться від 0 до 12° [1,2,19]. Такі межі за рахунок дискретного відбору транзитних наносів дають можливість стабілізувати прояв явища меандрування і, відповідно, забезпечити більш високий рівень стійкості берегів водотоків. Принцип інерції уособлює рівень стійкості ГДС_{п-р}, оскільки сила інерції урівноважує сили зовнішнього середовища. Сила інерції тутожна коефіцієнту гідравлічного опору $\lambda_3 = \lambda_\Delta + \lambda_{p,\phi} + \lambda_b$.(сила інерції домірна сумарній дії опору зернистої шорсткості дна русла, опору руслових форм і опору берегів).

Принцип суперпозиції внутрішніх і зовнішніх сил

Відкрита динамічна система функціонує у достатньо тісному контакті з зовнішніми системами (із зовнішнім середовищем). При дії зовнішніх сил на систему, у межах відповідного структурного рівня самоорганізації, спостерігається лінійна суперпозиція потенціалів. Переход системи на більш високий або інколи у форс-мажорних ситуаціях нижчий за досягнутий енергетичний потенціал має нелінійний характер взаємодії сил [14]. Нелінійність системи між рівнями і лінійність у межах конкретних досягнутих ступенів розвитку системи характеризує активність прояву емерджентності, збереження набутого структурного рівня тощо. Фазові переходи систем у структурному розвитку відбувається спонтанно, наприклад, розвиток процесів руслоформування у градовій формі прояву. Чим вищий структурний рівень розвитку системи, тим більший потенціал самозбереження на фоні дії сил інерції.

Принцип обмеженості незалежних параметрів системи

Розвиток і еволюція ГДС_{п-р} відбувається завдяки індивідуальності прояву суперпозиційної взаємодії незалежних параметрів – Q , I , $d_{cep.zv}$ і μ . Таким чином, система функціонує на фоні реалізації реальних потенціалів водності (Q), градієнту гравітації (I), крупності русового алювію ($d_{cep.zv}$) і

каламутності руслового потоку (μ). За допомогою цих характеристик можна досить повно оцінити статичний стан системи, зокрема критеріальними залежностями. Динамічна стійкість ГДС_{п-р}) в свою чергу оцінюється за допомогою залежних показників - числа Фруда $F_r = V/(gh)^{0.5}$, B/h , $(B/h)\lambda$ і ін.

Взаємозв'язок принципів та практичні рекомендації стосовно регулювання русел річок

Принципи в своїй ієрархічній будові/системі доповнюють один одного у напряму підвищення рівня упорядкування відповідної системи та її ступень стійкості (самозбереження). Основними вимогами стосовно толерантного втручання в ГДС_{п-р} є наступні: робота інженерних протипаводкових споруд не повинна порушувати набутий структурний рівень (тип русла); шорсткість берегозахисних кріплень повинна наблизатись до природного аналога; для акумуляції паводкових вод рекомендується використання позадамбових водоакумулюючих ємностей (польдерних систем); для гірських ділянок є доцільним влаштування системи низьких переливних загат та обвалування русло-заплавного комплексу з науково обґрунтованою його шириною; кар'єрний відбір наносів із русел річок є негативним господарським заходом, спрямованим на розвиток незворотних руслових деформацій.

Висновки і практичні рекомендації. Підводячи підсумки стосовно важливості використання принципів функціонування ГДС_{п-р} при регулюванні руслових деформацій слід відмітити наступне:

1) цілий ряд наведених вище принципів функціонують у межах прояву властивостей самоорганізації і саморегулювання ГДС_{п-р}.

2) дієвість кожного із принципів визначається у форматі їх спільної взаємодії на відповідному структурному рівні.

3) наявність чіткої ієрархії принципів відкриває можливість науково обґрунтовано виконувати аналіз руслових процесів, проводити розрахунки стоку води і наносів та розробляти раціональні заходи протипаводкового захисту урбанізованих ділянок русло-заплавного комплексу;

Список літератури

1. *Онищук В.В.* Науково-методичні основи щодо раціонального регулювання алювіальних русел відкритих водотоків / В.В. Онищук, З.В. Розлач // Україна: географічні проблеми сталого розвитку. Зб. наук. пр. у 4-х тт. – К. : ВГЛ Обрїї. - 2004. - Т.3. - С.249-261
2. *Ободовський О.Г.* Обґрунтування оптимальних управлінських рішень для протипаводкового захисту урбанізованих заплавних територій в басейні р. Латориця / О.Г. Ободовський, В.В. Онищук, Р.С. Федів // Водне господарство України. - 2009. - №4. - С.17-24.
3. *Онищук В.В.* Принципові властивості відкритих динамічних систем у контексті управління русловими процесами / В.В. Онищук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2011. - Т.2(23). - С.40-48.
4. *Маккавеев Н.И.* Сток и русловые процессы / Н.И. Маккавеев.. - М. : Изд-во МГУ, 1971.- 116 с.
5. *Великанов М.А.* К постановке проблемы русловых процессов / М.А. Великанов. // Метеорология и гідрологія. – 1946. – №3. - С.16-46..
6. *Маккавеев Н.И.* Русловые процессы / Н.И. Маккавеев, Р.С. Чалов. – М. : Изд-во МГУ, 1986. - 264 с.
7. *Чалов Р. С.* Русловедение: теория, география, практика. Т.1: Русловые процессы: факторы, механизм, формы проявления и условия формирования речных русел / Р. С. Чалов. - М. : Изд-во ЛКИ, 2008. - 608 с..
8. *Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС:* основні терміни та їх визначення / [підгот. К. Алієв та ін.]. ; Вид. офіц. - К.:, 2006. - 240с.
- 9.

Онищук В.В. Наукові основи регулюваші руслових процесів гірських річок / В.В. Онищук // Водне господарство України. – 2000. – №5-6. – С.16-19. **10.** *Онищук В.В. Физическое моделирование русловых процессов горных рек / В.В. Онищук, А.С. Бильчук, О.Н. Козицкий // Мелиорация и водное хозяйство. – 1989. – Вып.70. – С.60-65.* **11.** Результаты анализа гидроморфологичной якости річок екорегіону Карпат на прикладі басейну Ужа / [О.Г. Ободовский, В.В. Онищук, З.В. Розлач і ін.] // Матеріали V міжнародного форуму “AQUA Ukraine 2007”. – К., 2007. – С. 12-17.

12. *Колмогоров А.Н. Локальгая структура турбулентности в несжимаемой жидкости при очень больших числах Рейнольдса / А.М. Колмогоров // ДАН СССР. – 1941. – Т.30, №4.* **13.** *Фидман Б.А. Об уравнениях гидромеханики для многокомпонентной турбулентной среды / Б.А. Фидман // Изд. СО АН СССР, ОТН. – 1965. – №2, вып.1.* **14.** *Никитин И.К. Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области./ И.К. Никитин. – К. : Изд-во АН УССР, 1968. – 120 с.* **15.** *Боровков В.С. Русловые процессы и динамика речных наносов на урбанизованных территориях / В.С. Боровков. – Л. : Гидрометеоиздат, 1989. – 286 с.* **16.** *Маринич О.М. Фізична географія України / О.М. Маринич, П.Г. Шишченко. – К. : Знання, 2005. – 511 с.* **17.** *Маккавеев М. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне / М.И. Маккавеев. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 347 с.* **18.** *Хакен Г. Синергетика: Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – М. : Мир, 1985.- 423 с.* **19.** *Онищук В.В., Методологічні аспекти раціонального регулювання русел гірських річок / В.В. Онищук, О.Г. Ободовський // Екологічні та соціально-економічні аспекти катастрофічних стихійних явищ у Карпатському регіоні (повені, селі, зсуви) : мат. Міжнар. наук.-практ. конф. (Рахів, 21-24 вересня 1999 р.). – Ужгород : Патент, Полічка “Карпатського Краю”, 1999. – С.261-265.* **20.** *Маца К.А. Системы неорганические, органические, социальные: свойства и принципы организации. / К. А. Маца. – К. : ИГЛ «Обрій», 2008. - 196с.*

Принципові властивості відкритих динамічних систем і їх роль при регулюванні русел річок

Онищук В.В.

На основі попередніх теоретичних досліджень властивостей відкритих динамічних систем виділені основні принципи функціонування гідродинамічної системи «потік-русло».

Ключові слова: відкрита динамічна система, принципи функціонування гідродинамічної системи «потік-русло», регулювання русел річок.

Принципиальные особенности открытых динамических систем и их роль при регулировании русел рек

Онищук В.В.

На основе предыдущих теоретических исследований свойств открытых динамических систем выделены основные принципы функционирования гидродинамической системы «поток-русло».

Ключевые слова: открытая гидродинамическая система, принципы функционирования гидродинамической системы «поток-русло», регулирование русел рек.

Principal peculiarities of a free dynamic systems and its role in river channel regulation

Onyschuk V.V.

Based on the materials of theoretical researches of free dynamic systems the group of main principles of hydrodynamic systems «stream-channel» functioning is determined.

Keywords: free dynamic system, principles of hydrodynamic system «stream-channel» functioning, river channel regulation.

Надійшла до редколегії 10.01.12