УДК 528.83

Х. БУРШТИНСЬКА, А. БАБУШКА, М. ДЗЮБА

Кафедра фотограмметрії та геоінформатики, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. Карпінського, 6/622, Львів, 79013, Україна, тел. +0964768773, ел. пошта: andrii.v.babushka@lpnu.ua; orcid 0000-0002-2025-8733

АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ РУСЛА РІЧКИ СВІЧА В МІСЦЯХ ПЕРЕХОДУ ОБ’ЄКТІВ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Метою роботи є дослідження горизонтальних зміщень русла річки Свіча, а також аналіз місць розташування переходів об’єктів паливно-енергетичного комплексу через річку. **Методика** досліджень передбачає використання архівних топографічних карт, зокрема австрійського періоду (1874 р.), польського періоду (1933 р.) та радянського періоду (1989 р.), а також супутникових зображень. Для визначення горизонтальних зміщень русла річки Свіча архівні карти прив’язано за опорними точками та приведено до однієї системи координат зі знімками. Середня квадратична похибка визначення планових координат для архівних карт становить до 20 м, для топографічної карти радянського періоду – до 10 м. За кожним набором даних виконано цифрування русла річки. **Результати.** В результаті виконання вимірювань визначено максимальні зміщення на досліджуваних ділянках. Проаналізовано горизонтальні зміщення на чотирьох ділянках річки Свіча в місцях переходу об’єктів паливно-енергетичної інфраструктури. Встановлено, що на двох ділянках річка є нестійкою і змінює горизонтальне положення, що призводить до періодичних аварій на об’єктах. Зокрема, на ділянках переходу біля с. Шевченкове та с. Підбережжя встановлено значні горизонтальні зміщення русла, які сягають до 450 м. Також у цих місцях виникали надзвичайні ситуації внаслідок підняття рівня води в річці під час паводків, що призводило до розривів газопроводів. **Наукова новизна та практична значущість.** Застосовано методику геоінформаційного моніторингу горизонтальних зміщень для русла річки Свіча з метою визначення придатності наявних місць переходу об’єктів паливно-енергетичного комплексу.

Ключові слова: газопровід; геоінформаційні технології; зміщення русла; руслові процеси.

Вступ

Дослідження водних ресурсів набуло актуальності, оскільки їх планові та вертикальні деформації необхідно враховувати під час будівництва гідротехнічних споруд, проектування ліній електропередач, газопроводів, трубопроводів під час переходу через річки, визначення зон затоплення земель, встановлення меж водоохоронних зон, встановлення державного кордону по фарватеру річки. Через зміну кліматичних умов, порушення вимог екологічного законодавства та антропогенну діяльність збільшилась кількість надзвичайних ситуацій, пов’язаних із дією водних артерій.

Тому важливо вести моніторинг за зміною русла річок та визначати особливості поширення небезпечних процесів, тенденцій розвитку та ризику їх виникнення з метою запобігання непередбачуваним ситуаціям, які призводять до значних матеріальних витрат та навіть людських жертв.

Основним методом сучасних технологій, пов’язаних із отриманням інформації про руслові процеси, є використання матеріалів ДЗЗ та ГІС-технологій.

Предметом запропонованого дослідження є методика моніторингу горизонтальних зміщень річки Свіча на підставі різночасових картографічних матеріалів та космічних знімків з метою аналізу вибору місць переходів енергетичних об’єктів через річку.

Аналіз літературних джерел

Геоморфологічні дослідження стають все популярнішими протягом останнього десятиліття. Їх ефективно використовують під час оцінювання ризику поєднанні, розроблення проєктів сталого відновлення та введення ефективних заходів щодо захисту і збільшення біорізноманіття прісноводних екосистем.

Оскільки кожен річку досліджують окремо через вплив на руслові процеси як природних, так і антропогенних чинників, сфера таких досліджень достатньо широка. Цю тезу підкреслено в науковому дослідженні [Aher та ін., 2012]. Наголошено, що проточна вода має вищу здатність спричиняти ерозію, ніж інші геоморфологічні агенти. Дослідження проводили над рікою Правара, русло якої постійно змінюється внаслідок впливу геоморфологічних, кліматичних чинників та людської діяльності в цьому районі. У роботі використано дані дистанційного зондування та топографічні дані для отримання результатів 35-річних змін русла річки. З використанням ГІС-технологій оцифровано русло річки за різні часові періоди. Порівняльний результат пояснює 35-річні зміни внаслідок різних природних та антропогенних чинників, до яких належать сільськогосподарські та техногенні заходи, такі як повінь, швидкість води, вивезення піску, зміна рослинного покриву та видобування родючого ґрунту для потреб людей.

У публікації [Alam та ін., 2007] автори проаналізували результати дельтової діяльності двох річок – Гангу та Брахмапутри. Ці основні річки та їх притоки контролюють гідрологічну та морфологічну поведінку Бангладешу. Але основну увагу було сконцентровано на річці Стара Брахмапутра. Дослідження спрямовано на виявлення морфологічних змін, їх причин та наслідків за допомогою дистанційного зондування та ГІС. Морфологія русла є результатом взаємодії категорій, які охоплюють швидкість, зсув, ерозію, характер русла або його конфігурацію, навантаження осаду та матеріал берега. В роботі встановлено закономірність морфологічних змін цієї річки та її вплив на майбутнє планування захисту сільськогосподарських угідь і екологію прилеглої території.

У статті [Auma, та Fawzi, 2011] описано меандрування й ерозію берегів річки Ніл (Єгипет) та її вплив на довкілля прилеглих районів. У дослідженні використано зображення Landsat, отримані у 1987–2000 рр., а також польові спостереження, ГІС-аналіз та індекс звивистості для дослідження меандрів річок і пов'язаних з ними процесів ерозії берегів та островів, відкладення осадів та утворення нових островів. Після аналізу космічних зображень встановлено міграцію течії річки в часі та просторі. Деякі острови повністю зникають у зоні дослідження, тоді як з'являються нові в інших місцях. Ерозія берегів призвела до зменшення сільськогосподарських угідь та площ річкових островів, що зменшує сільськогосподарське виробництво. Підкреслено важливість ведення постійного моніторингу за русловими процесами, оскільки вони спричиняють небезпеку для довкілля.

У публікації [Baishya та Sahariah, 2015] вказано, що річки змінюють свій напрям у просторі й часі, тому зміни річкового русла та його безпосереднього оточення потребують історичного аналізу та ретельного спостереження за річковою системою. Для дослідження вибрано річку Баралія Ассам як приклад прогнозування руслових змін, а поставлене завдання виконано на підставі польових спостережень, картографування та ГІС.

У виданні [Bizzi та ін., 2015] розглянуто безпрецедентні можливості дистанційного зондування для дослідження річкових систем із використанням даних LiDAR, RADAR, мультиспектральних та гіперспектральних систем. Точність, досягнута за цими технологіями, забезпечує просторову та спектральну розрізняльну здатність, необхідну для належного аналізу гідроморфологічного характеру річкових систем у багатьох масштабах.

У науковому дослідженні [Hamid та ін., 2017] описано широке застосування систем дистанційного зондування та геоінформаційних систем для виявлення

змін у річках, спричинених ерозією та зростанням антропогенних впливів. Цифрові методи опрацювання зображень та можливості ГІС-аналізу використовують для виявлення тимчасових змін ерозійних та рекреаційних характеристик за 1999–2011 рр. у 40-кілометровій ділянці річки Ченаб. Для аналізу деформації річкового русла, зміни ширини річки та швидкості ерозії та зростання замулення опрацьовано знімки Landsat за 1999 р., 2007 р. та 2011 р. Аналіз показав, що правий берег зазнавав ерозії протягом обох часових проміжків, висока швидкість осідання спостерігалася в середній течії. Отримані результати зміщення русла підтверджено порівнянням із даними SRTM для оцінювання точності класифікації зображень. Інтеграція даних дистанційного зондування із ГІС є ефективною та економічною методикою для оцінювання втрат землі та змін русел у великих річках.

У статті [Hooke, 2006] описано чинники, які впливають на зміну русла рік. Такими, насамперед, є: зміна клімату, землекористування, законодавчі засади країни, антропогенна діяльність. Основним джерелом осаду в русловій системі є ерозія берегів самих заплав. Подано методику дослідження руслових процесів за допомогою поєднання даних ДЗЗ та ГІС-технологій на прикладі рік Великої Британії. Описано тенденції та закономірності виникнення паводків та розвитку меандрів. Дослідження виконували за допомогою картографічних матеріалів протягом двадцяти років. Через проведення різноманітних гідротехнічних робіт русло річки змінило напрям, що стало небезпечним для мешканців міст. Через невіддале законодавче регулювання будинки були споруджені на прибережних зонах і унаслідок паводків, притаманних весняній порі року, річка почала підтоплювати підвір'я та підмивати будинки.

У публікації [Muhammad та Uzair, 2017] описано зміну динаміки берегів річок у Пакистані протягом двох років. Річка, яку досліджують автори, утворена алювіальними відкладами, що часто стикаються із динамікою берегів та річкових русел через повені.

Також відзначено, що велику роль у річкових процесах відіграє людська діяльність, оскільки через вивезення гравію та недосконале проєктування гідротехнічних споруд русло річки змінюється і завдає великої шкоди довкіллю.

У статті [Mohamed та ін., 2018] подано просторово-часовий (2005–2012 рр.) аналіз річки Кілім за допомогою зображень із супутника високої розрізняльної здатності. Зображення важливі для оцінювання морфологічних змін річок та виявлення ерозії берегів. За результатами досліджень ерозія берегів річок перевищила норми у 4,5 разу.

У праці [Orkan та ін., 2011] йдеться про важливість управління прибережними та річковими басейнами.

Підкреслено, що деякі причини руйнування русел зумовлені діяльністю людини, наприклад: будівництво дамби, водовідведення, лісозаготівельні роботи, видобування гравію із русел річок тощо.

У дослідженні [Rogan, та Miller, 2007] обґрунтовано важливість моніторингу руслових процесів для захисту природного оточення та збереження біорізноманіття. Дистанційне зондування застосовується для встановлення екологічних показників у різних просторових та часових масштабах і є ефективним кількісним методом для екологічного моніторингу. Просторова розрізняльна здатність датчиків Landsat 30 м дає змогу фіксувати просторові деталі в масштабі, що відповідає вимогам моніторингу структури та складу рослинності.

У статті [Sarkar та ін., 2012] розглянуто річку зі значним транспортуванням алювію (Брахмапутра). Вона характеризується частою ерозією берегів, що призводить до зміни структури русла та зміщення берегової лінії. Це дослідження спрямоване на кількісну оцінку фактичної ерозії берегів вздовж річки протягом вісімнадцяти років (1990–2008 рр.) Весь потік річки (620 км) вивчено із застосуванням інтегрованого підходу до системи дистанційного зондування та ГІС. Конфігурацію річки нанесено на карту із використанням супутникових зображень. У результаті аналізу супутникових даних річкової системи виявлено кілька важливих чинників, які стосуються змін морфології, стабільних та нестабільних берегів та зміни головного русла. Результати дослідження дають достовірну інформацію про динамічну геоморфологію ріки Брахмапутра, реалізацію програм розвитку дренажу та схем боротьби з ерозією у північно-східному регіоні країни.

У публікації [Burshtynska та ін., 2017] проаналізовано причини зсувів русел річок та їх меандрування на прикладі р. Дністер. Серед них переважно географічні, кліматичні та антропогенні чинники, такі як вирубування лісів, часті повені, вивезення гравію та піску з русла річки. Дослідження проведено на низовині Дністра вздовж 100 км і охоплює тривалий період (100 років). Використано супутникові знімки із “Landsat-5”, “Landsat-7”, “Sentinel”, топографічні карти та спеціальні ґрунтові карти. Дослідження меандрів річки Дністер показують кореляцію горизонтальних зміщень русла (1910–1986 рр., 1984–2017 рр.) Крім того, виявлено, що процеси осадження спричинили значне збільшення площі річкових островів. Аналіз ґрунтових карт вказує на переважання вибілених ґрунтів та суглинків на алювіальних відкладеннях у районах із найвищим коефіцієнтом звивистості. Основну увагу в статті сконцентровано на геологічних породах, по яких протікає річка.

У статті [Шевчук та Бурштинська, 2011] розглянуто важливі економічну та екологічну складові, від

яких залежить стан русла річки Стрий. Особливу небезпеку для зміни русла становить безконтрольне забирання гравійно-піщаних матеріалів із русла річки та прируслової території. Дистанційне зондування забезпечує набір методів, що швидко збільшується, за допомогою яких моніторинг річкових процесів можна виконувати ефективно в різних масштабах і в складних екологічних умовах. Для дослідження використано топографічні карти масштабу 1:2000, космічні зображення, отримані із супутника “GeoEye”, та карти четвертинних відкладів. Останні свідчать про специфічні легкорозмивні літологічні відклади.

Методи дистанційного зондування дають змогу сформувати нові уявлення про складні зони, взаємодію потоків та еволюцію морфології русел річок.

Мета

Мета дослідження полягає в аналізі зміщень русла річки Свіча, які відбуваються за рахунок як природних, так і антропогенних чинників у місцях, де об’єкти інфраструктури: газопроводи, трубопроводи, лінії електропередачі – перетинають річку.

Характеристика об’єкта досліджень

Річка Свіча – права притока Дністра, завдовжки 107 км, яка протікає у Долинському районі Івано-Франківської області та Стрийському районі Львівської області [Burshtynska та ін., 2019].

Спершу вона тече серед гір масиву *Горгани*, де є гірською, далі – на *Передкарпатті*. Її початок на північних схилах центрального вододілу *Східних Карпат* і протікає вона через центральну та зовнішню зони Українських Карпат, а також внутрішню і зовнішню зони *Передкарпатського прогину*. За характером течії, формою річкової долини і складом *алювію* Свічу поділено на дві частини – гірську і рівнинну:

- гірська Свіча має вузьке русло (5–10 м), швидку течію, порожисті уступи та кам’янисті перекати. Глибина русла непостійна – від 0,5 до 2 м;
- рівнинна Свіча починається північніше від села Княжолука; її течія стримана, швидкість не перевищує 30–50 м/хв, з незначними перекатами на окремих ділянках. Ширина річки 10–30 м, глибина 0,5–2,5 м. Правий берег річки крутий, обривистий; лівий – пологий, низький.

Свіча впадає у Дністер на південний схід від смт. *Журавно*.

Притоки (ліві): Мізунка, Лужанка, Сукіль.

Живлення: здебільшого мішане, переважає снігове та дощове. Характерна особливість Свічі – паводковий режим. Щороку на річці спостерігається до чотирьох паводків. Рівень води при цьому може зростати на 3–4 м, а іноді й більше.

Біля с. Зарічного споруджено гідрологічний пост – місце, обладнане спеціальним устаткуванням для гідрологічних спостережень

Основними руслоформувальними чинниками вважають:

- повені та паводки;
- гідрогеологію та літологічну будову;
- обвали, землетруси та неотектонічні рухи;
- флору та фауну території басейну;
- ерозію та акумуляцію наносів на заплаві;
- вирубування лісу.

Внаслідок руслових процесів утворюються специфічні форми рельєфу [Великанов, 1958]: *перекати, плеса, меандри*.

Однією із найважливіших форм руслових процесів є меандри, особливо помітні на річках із глинистими і суглинистими берегами.

Однією із найважливіших гідрологічних характеристик русла річки є її *стійкість* – ступінь її протидії розмиву. Запропоновано формули, за допомогою яких можна визначити стійкість русла.

Це поняття із статті Н. І. Маккавеева та Р. С. Чалова [Чалов та Маккавеев, 1986] може застосовуватись для порівняння річок за швидкістю розвитку руслових змін. Оцінюють її за кількісними та якісними характеристиками зміщень русел, які спирались би на залежність форми русел від ступеня їх рухливості. Річки з нестійкими руслами характеризуються поділом на рукави. Виміри, які характеризують стійкість русел річок, можна виконувати за допомогою двох підходів. Згідно із першим, коефіцієнт стійкості русла розраховують на ділянках незначної довжини, де у річки однакові характеристики [Simon та Klimetz, 2008, Sarker та ін. 2014]. Другий ґрунтується на визначенні показників стійкості згідно з даними морфометричних характеристик із використанням математичних виразів [Лохтин, 1895]. За цією методикою обчислено коефіцієнти стійкості для різних ділянок річки Дністер [Burshtynska та ін., 2019]. Вказано, що різні вирази можуть давати різні результати. Критерієм стійкості можуть слугувати горизонтальні зміщення русел річок, визначення яких перестало бути проблемою із розвитком методів ДЗЗ та геоінформаційних технологій. Власне такий підхід застосовано для визначення горизонтальних зміщень русла Свічі для різних її ділянок.

Методика

Моніторинг зміщень русла річки виконано за майже 150-річний період. Основними матеріалами для досліджень слугували:

- топографічні карти австрійського періоду масштабу 1:75000 станом на 1874 р.;

- топографічні карти польського періоду масштабу 1:100000 станом на 1933 р.;

- топографічні карти радянського періоду масштабу 1:50000 станом на 1989 р.;

- космічне зображення високого розрізнення (проекція пікселя на місцевість 2,5 м) станом на 2016 р.

Для виконання моніторингу необхідно всі набори даних привести до однієї системи координат. Оскільки топографічні карти є сканованими, то необхідно здійснити їхню прив'язку до місцевості за координатною сіткою (для радянської карти) або опорними точками (для австрійської та польської карт).

Вибір програмного забезпечення для досліджень залежить від поставлених завдань, обсягів даних, передбачуваних для опрацювання, і кваліфікації виконавців. В роботі опрацювання топографічних карт і знімків виконано із використанням ГІС ArcGIS.

На ділянці річки Свіча від виходу з гірської ділянки на рівнинно-горбисту і до впадіння у річку Дністер розміщено декілька переходів газопроводів на опорах, зокрема і міжнародного Уренгой – Помари – Ужгород. Наявність такої розгалуженої системи пояснюється розміщенням неподалік села Новоселиця компресорної станції “Долина”, яка з’єднує сім магістральних та декілька регіональних газопроводів.

Оскільки початок річки Свіча в горах, то періодичні паводки та весняні повені тут не рідкість. Такі явища, зокрема, є вагомим чинником для зміни горизонтального положення русла. Тому на річці є велика кількість ділянок із укріпленими берегами. Зокрема, такі роботи виконано у згаданому с. Новоселиця, де після повені 2008 р. річка змістилась у бік села, забравши велику частину сільськогосподарських угідь. Така поведінка річки пов’язана не тільки із паводками, а і з людською діяльністю. Зокрема саме в цьому місці у 80-ті роки активно забирали гравійні матеріали для будівництва. Тому за досліджуваній період русло тут змістилось на 270 м, що є доволі великим значенням для порівняно малої річки.

Результати

Зміщення вимірювали в місцях переходу об’єктів енергетичної інфраструктури (на досліджуваній ділянці річки чотири ділянки). На рис. 1 позначено місця таких переходів на досліджуваній ділянці.

Перша ділянка розташована в гірській частині й тут проходить експортний газопровід Уренгой – Помари – Ужгород. На цій ділянці не спостерігається істотних зміщень русла. Це пояснюється вузькою долиною (до 200 м) із крутими й обривистими берегами. Тому перехід газопроводу короткий – надземна ділянка близько 300 м. Така конфігурація долини дає змогу перейти

річку високо над поверхнею, убезпечившись від раптових паводків. Горизонтальні зміщення за досліджуваний період в межах 120 м. Цей перехід вибрано вдало, оскільки вище і нижче по течії зміщення русла значно більші – до 330 м.

Друга ділянка біля с. Шевченкове (рис. 2). У цьому місці проходять чотири газопроводи, які входять у структуру ГТС та пов'язані з компресорною станцією “Долина”. Також тут проходить ЛЕП високої напруги.

У цьому місці річка значно менш стійка. Максимальні зміщення становлять 200 м. Цікаво те, що в місці виходу газопроводу з-під землі в 1884 р. було русло річки. Тобто без укріплення берегів річка потенційно може зміститись до початкового положення, що може призвести до аварії. Загалом, під час виконання відповідних робіт необхідно враховувати результати моніторингу зміщень для оптимального вибору місць переходу. Невдалий вибір місця переходу підтверджується тим, що в червні 2020 р. саме на цій ділянці під час паводку відбувся розрив газопроводу.

Третя досліджувана ділянка біля КС “Долина” (рис. 3). Оскільки сама станція розташована неподалік річки, то дві гілки газопроводів перетинають річку поблизу. З рис. 3 видно, що на картах австрійського періоду позначено рукав річки, який протікав у місцях, де газопроводи входять під землю. На карті польського періоду в цьому місці позначено тільки вузький струмок. На інших матеріалах цього рукава вже не позначено, а на космічному знімку тут проходить польова дорога. Зміщення русла за досліджуваний період становлять до 200 м. Загалом, якщо подивитись на результати цифрування русел річки за різні періоди, то добре видно зменшення ширини русла, що пов'язано із загальним зменшенням водності річок. Тому цю ділянку можна вважати порівняно вдалою для переходу, оскільки вище за течією зміщення русла становлять до 400 м, а нижче по течії – у тих самих межах (до 200 м).

Остання досліджувана ділянка розташована біля с. Підбереж (рис. 4). У цьому місці проходять декілька регіональних підземних газопроводів та надземна ділянка підземної ЛЕП. Особливістю цієї ділянки є те, що річка практично протікає по рівнинній території. Тому зміщення русла за досліджуваний період становлять до 450 м. Виходи самих газопроводів розміщені близько до берегової лінії русла. Таке розташування потребує додаткових заходів із укріплення. На цій ділянці таке розміщення, на перший погляд, виглядає не критичним, оскільки під час паводків швидкість течії на рівнинній ділянці значно нижча, ніж у гірській. Однак у квітні 2020 р. на цій ділянці відбулась аварія газопроводу.

Місця виміру зміщень

ЛЕП

Газопровід

Русло на 2016 р

Рис. 1. Місця вимірювань зміщень русла річки Свіча

Fig. 1. The places of Sicha riverbed displacements

Рис. 2. Перехід через річку ЛЕП високої напруги (червоний колір) та газопроводів високого тиску (синій колір) біля с. Шевченкове

Fig. 2. Crossing the river of high voltage power lines (red) and high pressure gas pipelines (blue) near the village of Shevchenko

Рис. 3. Досліджувана ділянка біля КС "Долина"

Fig. 3. The study area near the Dolyna compressor station

Рис. 4. Четверта досліджувана ділянка із накладеними руслами та переходами газопроводів і ЛЕП

Fig. 4. The study area with digitized channels and transitions of gas pipelines and power lines

Висновки

Аналіз спеціалізованої літератури показав, що методи дистанційного зондування та ГІС-технологій дають змогу отримати нові результати досліджень взаємодії руслових потоків та еволюції морфології русел річок, виявляти складні ділянки їх дії, щоб урахувати під час розв'язання завдань, пов'язаних із гідрологічними процесами.

У результаті досліджень за опрацьованою методикою за 150-річний період проаналізовано стійкість русла річки Свіча в місцях переходу газопроводів та ліній електропередачі через річку.

Встановлено, що на двох ділянках, де зміщення русла досягають 300 м, вони можуть спричинити аварійні ситуації, оскільки русло нестійке.

На досліджуваній ділянці, розташованій біля с. Підбереж, проходять декілька регіональних підземних газопроводів та надземна ділянка підземної ЛЕП. Особливістю цієї ділянки є те, що зміщення русла за досліджуваний період становлять до 450 м. Виходи самих газопроводів розташовані близько до берегової лінії русла, тому воно потребує додаткових заходів з укріплення. У квітні 2020 р. на цій ділянці відбулась аварія газопроводу.

Список використаних джерел

- Ayama A., Fawzi A. (2011). Meandering and bank erosion of the River Nile and its environmental impact on the area between Sohag and El-Minia. *Egypt, Arabian Journal of Geoscience*, 4, 1–11.
- Sarkar A., Garg R. D. and Sharma N. (2012). RS-GIS Based Assessment of River Dynamics of Brahmaputra

- River in India. *Journal of Water Resource and Protection*, Is. 2, 63.
- Burshtynska K., Halochkin M., Tretyak S., Zayats I. (2017). Monitoring of the riverbed of river Dniester using GIS technologies. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 29, 25–36.
- Burshtynska, K.V., Babushka, A.V., Bubniak, I. M., Babiy, L. V., & Tretyak, S. K. (2019). Influence of geological structures on the nature of riverbed displacements for the rivers of the Dnister basin upper part. *Geodynamics: scientific journal*, (2 (27)), 24–38.
- Hooke J. M. (2006). Hydromorphological adjustment in meandering river systems and the role of flood events. *Sediment Dynamics and the Hydromorphology of Fluvial Systems* (Proceedings of a symposium held in Dundee, UK, July 2006). IAHS Publ. 306.
- Alam J. B., Uddin M., Ahmed J. U., Cacovean H., Rahman H. M., Banik B. K. and Yesmin N. (2007). Study of Morphological Change of River Old Brahmaputra and Its Social Impacts by Remote Sensing. *Geographia Technica*, 1–11.
- Rogan J., Miller J. A. (2007). Using GIS and remote sensing for ecological mapping and monitoring. In *Integration of GIS and Remote Sensing*, edited by Masev, V. Chichester: John Wiley and Sons. *Geological Society of America*, 1755–1770.
- Hamid M. C., Ashraf M., Hamid Q., Sarwar S. M. and Saqib Z. A. (2017). Geospatial Technique for Assessment of Bank Erosion and Accretion in the Marala Alexandria Reach of the River Chenab, Pakistan, 2017, *Sains Malaysiana*, Issue 3, 413–420.
- Muhammad Luqman, Uzair Ul Hassan Shah (2017). River channel dynamics detection using Remote Sensing and GIS technologies, Australia, November 2017.
- Mohamed N., Musliman A., Ahmad A., Zabidi M. (2018). Spatio-temporal analysis of river morphological changes and erosion detection using very high resolution satellite image, January 2018, *Earth and Environmental Science*, publ.169.
- Orkan Ozcan, Nebiye Musaoglu, Dursun Zafer Seker (2011). Environmental impact analysis of quarrying activities established on and near a river bed by using remotely sensed data. XVI. International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region.
- Bizzi S., Demarchi L., Grabowski R. C., Weissteiner C. J. (2015). The use of remote sensing to characterize hydromorphological properties of European river, September 2015, *Aquatic Sciences. Publ.*, 57–70.
- Baishya S. J. and Sahariah D. (2015). A Study of Bank Erosion and Bankline Migration of the Baralia River, Assam, Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Current Research*, 273–280.
- Aher S. P., Bairagi S. I., Deshmukh P. P. and Gaikwa R. D. (2012). River Change Detection and Bank Erosion Identification Using Topographical and Remote Sensing Data. *International Journal of Applied Information System*, 1–7.
- Sarker M., Colin R., Nazneen Aktar M., Ferdous R. (2014). Morpho-dynamics of the Brahmaputra –Jamuna River, Bangladesh. *Geomorphology*, Vol. 215, pp. 45–59.
- Simon A., L. Klimetz. (2008). Magnitude, frequency, and duration relations for suspended sediment in stable (“reference”) southeastern streams. *American Water Resour. Assoc.* 44(5), pp. 1270-1283.
- Великанов М. А. (1958). Русловой процесс. М.: Госфизматиздат, С. 104.
- Лохтин В. М. О механизме речного русла, Казань, 1895, С. 76.
- Чалов Р. С. (1986). Русловые процессы. М.: МГУ, С. 264.
- Шевчук В. М., Бурштинська Х. В. (2011). Методика моніторингу рік на урбанізованих територіях. *Геодезія, картографія і аерознімання: міжвід. наук.-техн. зб.*, № 75, С. 73–82.

K. BURSHTYNSKA, A. BABUSHKA, M. DZIUBA

Department of photogrammetry and geoinformatics, Lviv Polytechnic National University, 6/622, Karpinskogo Str., Lviv, 79013, Ukraine, Phone: +0964768773, E-mail: andrii.v.babushka@lpnu.ua; orcid 0000-0002-2025-8733

ANALYSIS OF THE STABILITY OF THE RIVER SVICHA IN THE TRANSITION PLACES OF FUEL AND ENERGY INFRASTRUCTURE OBJECTS

The **aim** of the work is to study the horizontal displacements of the Svicha riverbed, as well as to analyze the locations of the transitions of the fuel and energy complex across the river. The research **methodology** involves the use of archival topographic maps, in particular the Austrian period (1874), the Polish period (1933) and the Soviet period (1989), as well as satellite images. To determine the horizontal displacements of the Svicha riverbed, the archival maps are tied to reference points and brought to a single coordinate system with images. The root mean square error of determining the planned coordinates for archival maps is up to 20 m, for a topographic map of the Soviet period - up to 10 m. Digitalization of the riverbed was performed for each data set. **Results.** As a result of measurements, the maximum displacements in the studied

areas were determined. Horizontal displacements in four sections of the Svicha river at the transition points of fuel and energy infrastructure were analyzed. It has been established that in two sections the river is unstable and changes its horizontal position, which leads to periodic accidents at facilities. In particular, significant horizontal displacements of the riverbed, up to 450 m, were established in the sections of the crossing near the villages of Shevchenkove and Pidberezh. **Scientific novelty and practical significance.** The method of geoinformation monitoring of horizontal displacements for the Svicha riverbed was applied in order to determine the suitability of the existing transition points of the fuel and energy complex.

Key words: gas pipeline; geoinformation technologies; channel displacements; channel processes.

References

- Ayma A., Fawzi A. (2011). Meandering and bank erosion of the River Nile and its environmental impact on the area between Sohag and El-Minia, Egypt. *Arabian Journal of Geoscience* 4, 1–11.
- Sarkar A., Garg R. D. and Sharma N. (2012). RS-GIS Based Assessment of River Dynamics of Brahmaputra River in India. *Journal of Water Resource and Protection*, Issue 2, 63.
- Burshtynska K., Halochkin M., Tretyak S., Zayats I. (2017). Monitoring of the riverbed of river Dniester using GIS technologies. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 29, 25–36.
- Burshtynska K. V., Babushka A. V., Bubniak I. M., Babiy L. V., & Tretyak S. K. (2019). Influence of geological structures on the nature of riverbed displacements for the rivers of the Dnister basin upper part. *Geodynamics: scientific journal*, (2 (27)), 24–38.
- Hooke J. M. (2006). Hydromorphological adjustment in meandering river systems and the role of flood events. *Sediment Dynamics and the Hydromorphology of Fluvial Systems* (Proceedings of a symposium held in Dundee, UK, July 2006). IAHS Publ., 306.
- Alam J. B., Uddin M., Ahmed J. U., Cacovean H., Rahman H. M. Banik B. K. and Yesmin N. (2007). Study of Morphological Change of River Old Brahmaputra and Its Social Impacts by Remote Sensing. *Geographia Technica*, 1–11.
- Rogan J., Miller J. A. (2007). Using GIS and remote sensing for ecological mapping and monitoring. In *Integration of GIS and Remote Sensing*, edited by Masev, V. Chichester: John Wiley and Sons, Geological Society of America, 1755–1770.
- Hamid M. C., Ashraf M., Hamid Q., Sarwar S. M. and Saqib Z. A. (2017). Geospatial Technique for Assessment of Bank Erosion and Accretion in the Marala Alexandria Reach of the River Chenab, Pakistan, *Sains Malaysiana*, Issue 3, 413–420.
- Muhammad Luqman, Uzair Ul Hassan Shah. (2017) River channel dynamics detection using Remote Sensing and GIS technologies, Australia, November 2017.
- Mohamed N., Musliman A., Ahmad A., Zabidi M. (2018). Spatio-temporal analysis of river morphological changes and erosion detection using very high resolution satellite image, January 2018, *Earth and Environmental Science*, publ. 169.
- Orkan Ozcan, Nebiye Musaoglu, Dursun Zafer Seker (2011). Environmental impact analysis of quarrying activities established on and near a river bed by using remotely sensed data. XVI. International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region.
- Bizzi S., Demarchi L., Grabowski R. C., Weissteiner C. J. (2015). The use of remote sensing to characterize hydromorphological properties of European river, September 2015. *Aquatic Sciences*. Publ. 57–70.
- Baishya S. J. and Sahariah D. (2015). A Study of Bank Erosion and Bankline Migration of the Baralia River, Assam, Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Current Research*, 273–280.
- Aher S. P., Bairagi S. I., Deshmukh P. P. and Gaikwa R. D. (2012). River Change Detection and Bank Erosion Identification Using Topographical and Remote Sensing Data. *International Journal of Applied Information System*, 1–7.
- Sarker M., Colin R., Nazneen Aktar M., Ferdous R. (2014). Morpho-dynamics of the Brahmaputra – amuna River, Bangladesh. *Geomorphology*, Vol. 215, 45–59.
- Simon A., Klimetz L. (2008). Magnitude, frequency, and duration relations for suspended sediment in stable (“reference”) southeastern streams. *American Water Resour. Assoc.* 44(5), 1270–1283.
- Velykanov M. A. (1958). *Ruslovoi protsess*, M.: Hosfyzmatyzdat, S. 104 [in Russian].
- Lokhtyn V. M. (1895). *O mekhanyzme rechnoho rusla*. Kazan, S. 76 [in Russian].
- Chalov R. S. (1986). *Ruslovyie protsessy*. M.: MHU, S. 264 [in Russian].
- Shevchuk V. M., Burshtynska Kh. V. (2011). Metodyka monitorynhu rik na urbanizovanykh terytoriiakh. *Heodeziia, kartohrafiia i aeroznimannia: mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*. No. 75, S. 73–82 [in Ukrainian].