

УДК 528.92

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕАНДРУВАННЯ РІКИ ДНІСТЕР З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Х. Бурштинська, С. Третяк, В. Шевчук**

Національний університет “Львівська політехніка”

**Ключові слова:** моніторинг, меандрування, руслові процеси, космічні зображення, топографічні карти, зміщення рік.

### Постановка проблеми

Русла рік є найдинамічнішими географічними об'єктами на земній поверхні, на них відбуваються постійні зміщення. Вони чутливо реагують на зміни метеорологічних умов, динаміку кліматичних показників та температурного режиму, а також на антропогенні навантаження. Збільшення опадів за сезон, повторюваність аномальних сезонів зумовлюють не тільки зростання води в руслі, але і збільшення рукавів ріки, обводнення стариць та заплави, сприяють зміні основного русла, зростанню підмивів та акумуляції наносів. Зміни русла істотно впливають на природні й культурні ландшафти та на господарську діяльність людини. З іншого боку, антропогенна діяльність, зокрема, гірничодобувні та великомасштабні гідротехнічні роботи у долинах рік, теж призводить до змін їхніх русел [16].

Зважаючи на частоту виникнення паводків в Україні, можна твердити, що безперервні спостереження за водними об'єктами просто необхідні.

Такі спостереження основані на використанні методів дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій, що уможлиблює регулярне відстеження стану територій, забезпечує широку оглядовість, повторюваність, високу оперативність одержання та опрацювання інформації. За допомогою ДЗЗ- і ГІС-технологій можна контролювати масштаби повеней, одержувати оперативний прогноз зон затоплення, моделювати географічні об'єкти, відображати результати з їхньою візуалізацією, вирішувати завдання вибору місця розташування захисних споруд, а також контролювати зони прибережних територій [7, 8].

Сьогодні постає необхідність детального розроблення методів організації моніторингу зміщення русел рік, дослідження процесів їх меандрування, що призводить до зміни водоохоронних зон [19]. Зіставлення наявної картографічної інформації, даних спостережень із супутниковою інформацією дає змогу прогнозувати повеневі явища. Сучасні геоінформаційні системи допомагають у моделюванні та прогнозуванні зон затоплення, складанні тематичних карт [3, 4].

### Невирішені частини загальної проблеми та аналіз літературних джерел

Основним дієвим методом прогнозування руслових змін є гідролого-морфологічний аналіз на підставі

різної інформації, який передбачає поєднання та аналіз сучасної і минулих конфігурацій русла річки [11].

Основними руслоформувальними чинниками є:

- повені та паводки;
- літологічна будова та гідрогеологія;
- неотектонічні рухи, землетруси, обвали;
- флора та фауна на території басейну;
- акумуляція і ерозія наносів на заплаві;
- вирубування лісу та сплав деревини.

Однак деякі автори [5] причинами меандрування вважають прискорення Коріоліса, наявність випадкових перешкод, концентрацію ентропії, структурну турбулентність, поперечну циркуляцію, блукання динамічної осі потоку.

Відзначено, що жодна із гіпотез повністю не підтвердилась і в спеціальній літературі підкреслюється думка про вплив певних чинників для кожної річки. Винятком не є ріка Дністер, яка має свої особливості формування та зміни русла [17].

Вивченням руслових процесів та пов'язаних з ними повеневих явищ займалися Р. Чалов, М. Маккавеев, В. Лохтін, О. Ободовський, І. Ковальчук, А. Михнович, В. Онищук, М. Максимович, J. Hooke, M. Grenfell, A. Schoklitsch, G. Engels, N. Kramer, Stephen A. Nelson, G. Zolezzi, R. Luchi, M. Tubino, A. Robert та інші [9].

Новоорлеанський професор Stephen A. Nelson пояснює утворення меандрів так: прямі ділянки через швидкість зміни структури потоку, особливо в річках з легкорозмивними ґрунтами, врешті стають звивистими. На зовнішній частині меандрів, на вигинах, де швидкість потоку найвища, характерним є розвиток ерозії ґрунтів. Вздовж внутрішньої частини, де швидкість низька, відбувається замулення [13].

Меандрування супроводжується руйнуванням русел, берегів і дна річки. В деяких випадках меандри можуть зблизитися один з одним настільки, що земляна перемичка між ними проривається й утворюється нове, коротше русло, в якому значно більший ухил та швидкість течії. Внаслідок цього на кінцях залишеного потоком меандра почнуть відкладатись наноси й утвориться стариця [14, 15, 16, 18].

У [3] виділено сім видів руслових процесів:

- стрічково-грядовий тип, за якого стрічкові гряди, які є скупченням річкових наносів, переміщуються по руслу річок;
- побічний тип характеризується сповзанням у повінь чи паводок єдиного ланцюга перекошених відносно осьової лінії русла гребенів гряд;
- обмежене меандрування розвивається в умовах стиснення русла схилами долини річки через підвищену стійкість берегів;

– вільне меандрування – це процес підмивання одного берега і зміщення русла річки в підмивний бік, але русло зберігає свої розміри і планові контури;

– незавершене меандрування характеризується появою другого випрямного русла, тобто русло річки за інерцією підмиває береги по прямій;

– заплавна багаторукавність характеризується наявністю широкої заплави, в якій річка протікає багатьма рукавами.

– руслова багаторукавність – це процес руслових деформацій, внаслідок яких на річці з'являється одне широке русло в період повені [3, 4].

Дослідження річки Дністер та його притоки Стрий, зокрема явищ меандрування, ми провели в 2005–2016 рр., що дало підстави говорити про значне планове зміщення ріки, особливо після повеневих явищ [1, 2, 9, 10].

### Постановка завдання

Об'єктом цього дослідження слугує частина ріки Дністер, вона протікає у Миколаївському районі Львівської області по рівнинній території, яка характеризується заболоченістю, підтопленістю земель за значних паводків. На цій ділянці у 70–80-ті роки ХХ ст. для осушення земель проведено меліорацію та гідротехнічні роботи.

Метою роботи є дослідження планових зміщень цієї ділянки ріки Дністер з використанням комплексного підходу на підставі топографічних карт та космічних зображень. Це дає змогу здійснити моніторинг ріки за 125-літній період з аналізом причин зміщення русла на підставі спеціальних карт.

Для моделювання затоплень побудовано ЦМР та визначено площі затоплень.

### Виклад основного матеріалу

Для проведення моніторингу меандрування русла ріки Дністер поблизу міста Миколаїв на ділянці близько 40 км використано топографічні карти, космічні зображення, отримані із супутників Landsat 7 [20] і Landsat 8 [21], а також спеціальні карти, зокрема:

1. Топографічні карти масштабів 1:100000 (1886, 1928, 1989 рр.).
2. Космічні знімки, одержані із супутників Landsat 7 (2000 р.) та Landsat 8 (2014 р.)
3. Геоморфологічна карта, карта четвертинних відкладів, ґрунтова карта масштабів 1:200000.

Загальну технологічну схему опрацювання матеріалів подано на рис. 1.

На топографічних картах (австрійська – 1886 р., польська – 1928 р. та на карті радянського періоду 1989 р.), виконавши прив'язку карт та цифрування русел, можна дослідити характер зміщення русла ріки за 100-літній період. Дослідження виконано з використанням програмного середовища ArcGIS 9.3.

На рис. 2 показано фрагменти карт австрійського (рис. 2, а – 1886 р.) та польського (рис. 2, б – 1928 р.) періодів з руслом ріки Дністер. Як бачимо з рис. 2, а,

русло помітно меандрує і характеризується істотними відхиленнями від середнього положення, що свідчить про значну звивистість русла [6, 10].

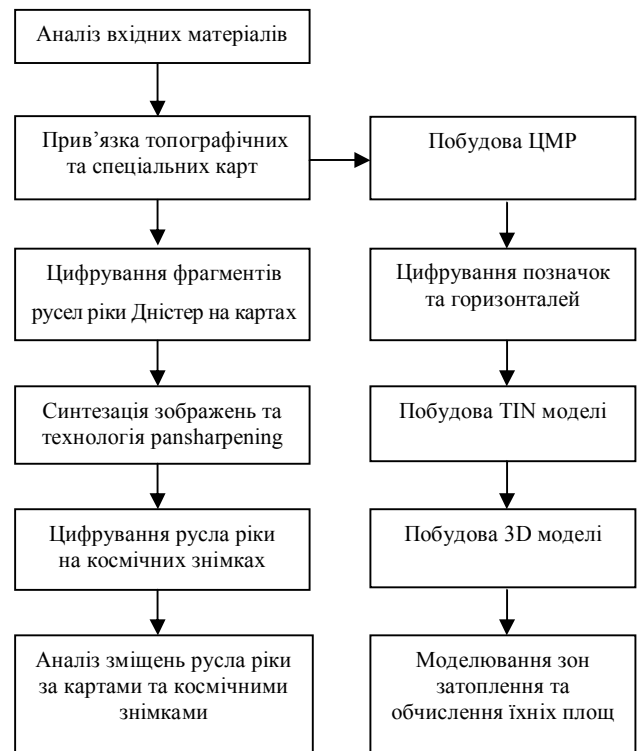


Рис. 1. Технологічна схема дослідження зміщень ріки Дністер та моделювання затоплень в ArcGIS

На карті (рис. 2, б) зауважено систему каналів, що свідчить про проведення деяких гідромеліоративних робіт. Характер русла значно спокійніший і має меншу звивистість.

Русло ріки на австрійській карті було природним і характеризується значною звивистістю, особливо в районі с. Розвадів. Зміщення русла за 1886–1928 рр. від середнього значення перевищують 600 м (табл. 1). Вже на карті 1928 р. спостерігаємо як результат виконаних меліоративних та гідротехнічних робіт наявність каналів та випрямлення русла ріки на деяких ділянках. Відхилення зміщень русла від середнього положення за 1928–1989 рр. порівняно менші й сягають понад 400 м (табл. 1).

Для цифрування рік на картах та виявлення їх зміщень здійснено прив'язку карт за вісьмома опорними точками, які можна ідентифікувати на картах, зокрема це мости та перехрестя доріг. Для прив'язки використано поліном першого степеня, похибка прив'язки не перевищувала 15 м за внутрішньою збіжністю. Перетворення виконано для приведення всіх матеріалів до системи координат WGS-84, в якій подано космічні зображення. Після прив'язки здійснено цифрування русел рік на трьох картах (1886, 1928 та 1989 рр.).

На рис. 3 подано оцифровані досліджувані фрагменти русла ріки Дністер, нанесені на топографічну карту 1989 р.

У результаті меліоративних та берегоукріплювальних робіт русло на карті 1989 р. виглядає ще стійкішим, загальне відхилення від усередненого положення зміщень русла за 1989–2014 рр. досягає близько 90 м (табл. 1).

До завдань досліджень входило визначення зміщень русел рік та кореляційних зв'язків між ними в різні часові періоди. Для кращої візуалізації фрагмент русла ріки поділено на три частини (рис. 4, а–в). Для цього в точках максимальних зміщень русла вибрано точки для вимірювання (рис. 4), русло на карті 1886 р. зображено зеленим кольором, 1928 р. – синім, 1989 р. – червоним. Крім цього, на цих фрагментах нанесено також результати цифрування русла ріки за космічним знімком із супутника Landsat 8, 2014 р. – фіолетовий колір. Враховуючи фрагмент русла ріки, її зображення на рис. 4 подано у дрібному масштабі, який не дає змогу окремо розрізнити результати цифрування за картою 1989 р. та знімком 2014 р., оскільки зміщення незначні, а їх зображення майже накладаються. Тому на цьому ж рисунку подано деякі збільшені фрагменти.

Однією з визначальних характеристик рік є звивистість їхніх русел, її обчислюють за допомогою

коефіцієнта звивистості:  $K_i = \frac{L_i'}{L_i}$ , де  $L_i'$  – довжина

русла на ділянці,  $L_i$  – довжина русла між крайніми точками, виміряна по прямій. Обчислені коефіцієнти звивистості для чотирьох русел за різні роки мають значення:

$$K_1 (1886 \text{ р.}) = \frac{88868,7}{38836,8} = 2,2;$$

$$K_2 (1928 \text{ р.}) = \frac{47356,7}{38950,2} = 1,2;$$

$$K_3 (1989 \text{ р.}) = \frac{48752,6}{38603,1} = 1,3;$$

$$K_4 (2014 \text{ р.}) = \frac{50863,8}{39038,7} = 1,3$$

Русло 1 (карта 1886 р.) сильнозвивисте, три інші (1928, 1989, 2014 рр.) – слабкозвивисті.

Результати вимірювання зміщень русел ріки подано в табл. 1. Точки для розрахунку розміщувались на вигинах першого русла, вимірювання до другого і третього русел здійснено по перпендикулярних лініях, у разі відхилення русла в південному напрямку зміщення мають знак “+”, за відхилення русла в північному напрямку знак “-”. Середнє значення зміщень за 1886–1928 рр. становить 380 м, за 1928–1989 рр. – –177 м, за 1989–2014 рр. – 6 м, тобто за останній період зміщення практично відсутні. Отже, ріка Дністер в останні десятиліття зміщувалась у бік природного русла.

Таблиця 1

Вимірювання зміщень русел за різночасовими картами

№ точок	Зміщення русел, м			№ точок	Зміщення русел, м			№ точок	Зміщення русел, м		
	1886–1928	1928–1989	1989–2014		1886–1928	1928–1989	1989–2014		1886–1928	1928–1989	1989–2014
1	176	-112	49	12	358	-556	-37	23	71	-348	-55
2	-116	-189	38	13	272	-64	-	24	433	-345	-24
3	676	-299	9	14	524	-111	-	25	135	-439	14
4	306	-103	99	15	897	-233	-19	26	619	-147	-30
5	-236	-31	70	16	488	-163	-22	27	266	-13	-16
6	467	-241	22	17	515	89	-23	28	806	-286	24
7	710	-400	65	18	-91	253	-	29	275	-135	-23
8	323	-60	54	19	349	71	-23	30	173	-63	-19
9	293	-224	43	20	184	-95	-8	31	1050	-312	-13
10	-168	-260	10	21	709	-264	-				
11	523	-142	-	22	822	-270	-19				

Крім топографічних карт, планові зміщення русел рік визначались за космічними знімками, отриманими із супутників Landsat 7 (2000 р.) та Landsat 8 (2014 р.).

Оскільки ефективна інтерпретація багатоспектральних даних дистанційного зондування ріки Дністер залежить від спектральних характеристик об'єктів поверхні Землі, вибрано спектральні канали для створення синтезованих зображень за космічним знімком Landsat 7 та Landsat 8 – 1, 5, 7, методика pansharpening дала змогу отримати просторове розрізнення зображень 15 м замість 30 м, заданих для спектральних каналів.

Фрагмент космічного знімка з оцифрованими руслами подано на рис. 5, русло за знімком Landsat 7

показано жовтим кольором, Landsat 8 – фіолетовим. Зауважено, що зміщення русел незначні й не перевищують 1,5–2 пікселів, тобто 20–30 м, що в межах точності вимірювань. На основі джерел із спеціалізованої літератури [5, 6], у яких вказано на значний вплив геоморфологічних та ґрунтових чинників на стан русел річок, проаналізовано карти четвертинних відкладів (рис. 6) та ґрунтового покриву (рис. 7).

Біля русла ріки та її заплави переважають алювіальні відклади, вони складаються із супісків, суглинків, гравію і галечників, в які вклинюються відклади деснянського ступеня першої надзаплавної тераси (піски, суглинки, галечники) та біогенні відклади (торф, заторфовані ґрунти).





а



б

Рис. 2. Фрагменти топографічних карт: а – австрійського періоду; б – польського періоду



Рис. 3. Топографічна карта 1989 р. з нанесеними руслами ріки Дністер



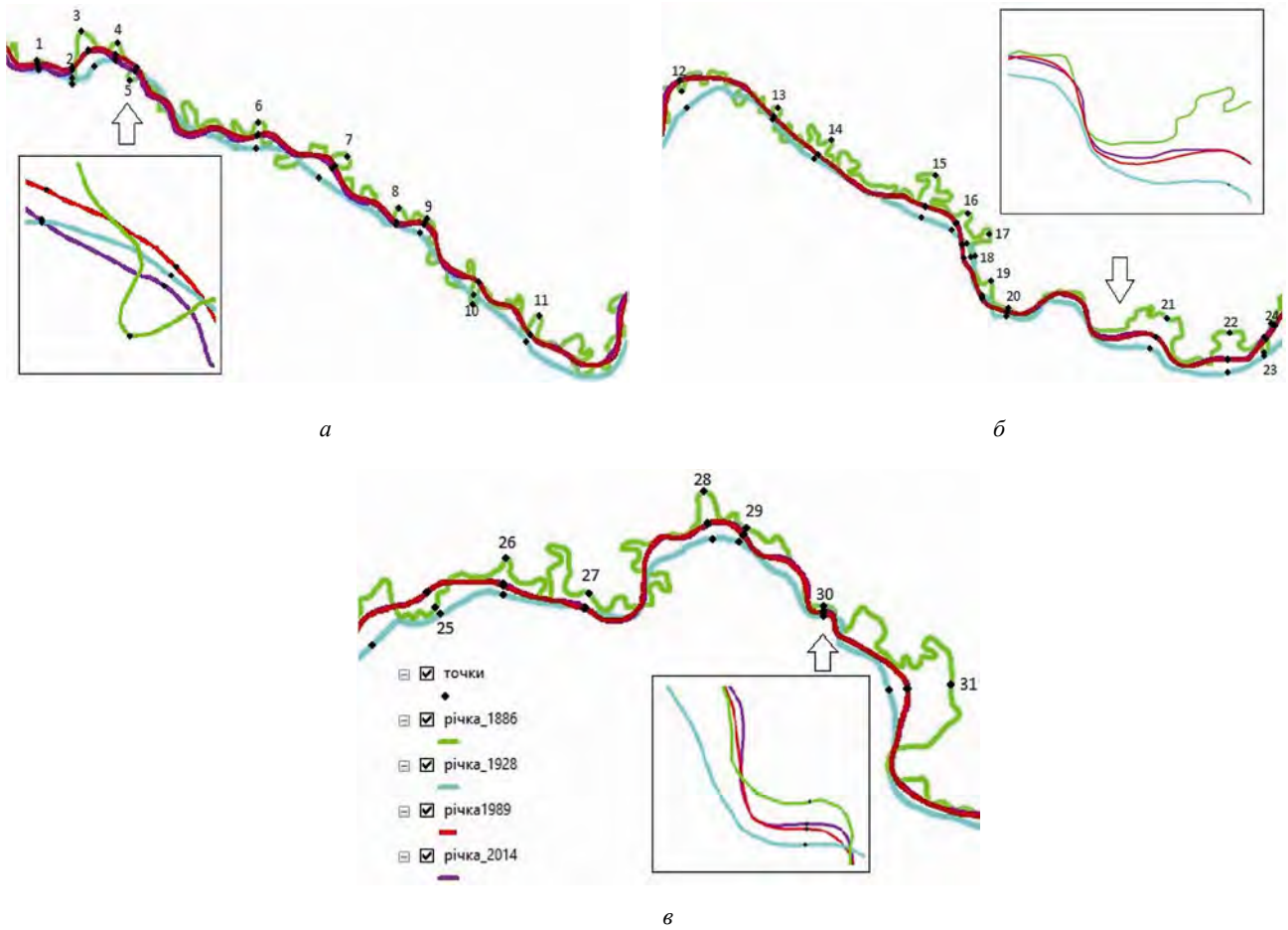


Рис. 4. Загальний вигляд оцифрованих русел ріки Дністер за топографічними картами та космічним знімком



Рис. 5. Синтезоване зображення, отримане із супутника Landsat 8 з нанесеними руслами

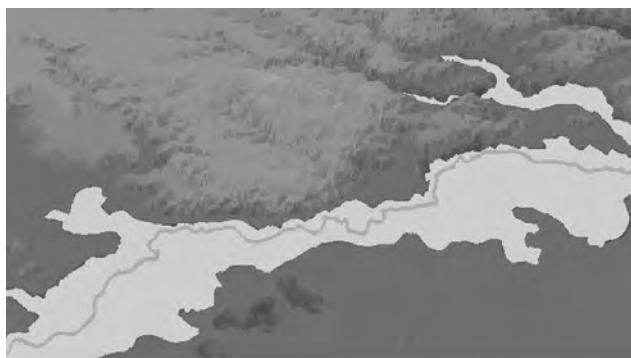




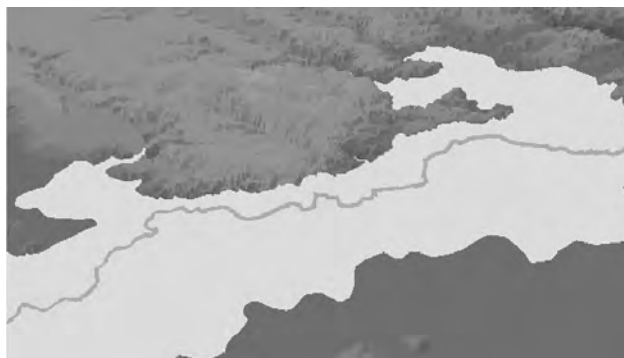
Що стосується ґрунтів, то вони корелюють з четвертинними відкладами і на заплавної території русла переважають лучні опідзолені та оглеєні ґрунти, а також лучно-болотні та торфовища низинні, з низькою водопроникністю.

Одним із важливих завдань, пов'язаних з дослідженням гідрографічних об'єктів, є моделювання зон затоплень. Ми здійснили моделювання зон затоплень для ділянки ріки Стрий біля впадіння притоки в річку Дністер за вихідною інформацією,

отриманою з топографічної карти масштабу 1:100000 1989 р. Для моделювання використано модуль ArcScene геоінформаційної системи ArcGIS. На основі цифрування горизонталей та характерних точок рельєфу створюємо TIN модель, за якою можна отримати 3D-модель рельєфу та візуалізувати зони затоплень з вимірюванням їхніх площ. На рис. 8 подано зони затоплення у разі моделювання підняття рівня води на 5 м (рис. 8, а) та 10 м (рис. 8, б).



а



б

Рис. 8. Моделювання зон затоплень: а – у разі підняття рівня води на 5 м; б – у разі підвищення рівня води на 10 м

Площі затоплень подано в табл. 2.

Таблиця 2

**Площі затоплення на досліджуваній ділянці**

№ зони	Висота підняття рівня води, м	Площа затоплення, га
1	5	27488
2	10	64822

Провівши дослідження, які стосуються використання ГІС-технологій з метою визначення планових зміщень русла ріки Дністер за 125-літній період і аналізу чинників, які впливають на ці зміщення, та моделювання зон затоплень, можна зробити такі висновки:

**Висновки**

1. Комплексний підхід до дослідження гідрографічних об'єктів ґрунтується на використанні космічних зображень, топографічних карт, а також геоморфологічних, зокрема карт четвертинних відкладів, та карт ґрунтового покриву з подальшим опрацюванням інформації у програмному середовищі ArcGIS.

2. Проведений моніторинг за 125-річний період на ділянці ріки Дністер, яка є рівнинною і характеризується підтопленням та заболоченістю ґрунтів, свідчить про значні планові зміщення русла ріки, які досягають між 1886 р. та 1928 р. 1000 м, між 1928 р. та 1989 р. – 550 м, між 1989 р. та 2014 р. – до 100 м.

3. Ділянка досліджень характеризується великою кількістю меандрів та стариць.

4. Гідротехнічні роботи на цій ділянці, виконані в 70–80-ті роки ХХ ст., порівняно з природним характером русла, визначеного за картою 1886 р.,

значно зменшили звивистість та меандрування, однак замулення водовідвідних каналів та осипання насипів з берегоукріплення призводить до збільшення підтоплення земель.

5. Аналіз геоморфологічних та ґрунтових карт свідчить, що поблизу русла ріки та на території її заплави переважають такі четвертинні відклади, як алювіальні, які складаються із супісків, суглинків, гравію і галечників, та біогенні відклади з переважанням торфовищ; з четвертинними відкладами корелюють лучно-опідзолені та оглеєні ґрунти, а також лучно-болотні та торф'яні ґрунти.

6. ГІС-технології дають змогу моделювати затоплення, а також підтоплені та заболочені території.

**Література**

1. Бурштинська Х. Методика дослідження ріки Дністер / Х. Бурштинська, В. Шевчук // Геодезія, картографія і аерознімання: міжвід. наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 76. – С. 102–109.
2. Бурштинська Х. Моніторинг руслових процесів та повеневих явищ ріки Дністер за космічними зображеннями / Х. Бурштинська, Л. Мовчко, В. Шевчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць Західного геодезичного товариства УТГК. – 2015. – Вип. I (29) – С. 124–128.
3. Кирилюк О. Проблеми екологічного руслознавства: конспект лекцій. Ч. 1 / О. Кирилюк, Л. Костенюк, В. Опеченик. – Чернівці: Рута, 2009. – 83 с.
4. Кирилюк О. Проблеми екологічного руслознавства: конспект лекцій. Ч. 2 / О. Кирилюк, Л. Костенюк, В. Опеченик. – Чернівці: Рута, 2009. – 18 с.

5. Кондратьев Н. Основы гидроморфологической теории руслового процесса / Н. Е. Кондратьев, И. В. Попов, Б. Ф. Снисенко. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 272 с.
6. Ободовський О. Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України) / О. Г. Ободовський. – К.: Ніка-Центр, 2001. – 274 с.
7. Перехрест С. Шкідливі стихійні явища в Українських Карпатах та засоби боротьби з ними / С. М. Перехрест, С. Г. Кочубей, О. М. Печковська. – К.: Наукова думка, 1971. – 194 с.
8. Самойленко Л. Інформаційна технологія моніторингу повеней з використанням даних ДЗЗ / Л. І. Самойленко, Л. М. Колос, Л. В. Підгородецька, Т. В. Ільєнко, О. В. Власова // Космічна наука і технологія. – 2009. – Т. 15. № 3. – С. 50–55.
9. Шевчук В. М. Методика моніторингу руслових процесів за матеріалами аерокосмічного знімання : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.24.01 / В. М. Шевчук. – Львів, 2011. – 25 с.
10. Burshtynska K. Monitoring of the riverbeds of rivers Dniester and Tisza of the Carpathian region / K. Burshtynska, V. Shevchuk, S. Tretyak, V. Vekliuk // XXIII ISPRS Congress, Commission VII (Vol. XLI-B7) 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic, p. 177–182, doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B7-177-2016, 2016 (“Copernicus”).
11. Hooke J. Hydromorphological adjustment in meandering river systems and the role of flood events. Sediment Dynamics and the Hydromorphology of Fluvial Systems / Hooke J. M. // Proceedings of a symposium held in Dundee, UK, July 2006. IAHS Publ. – 2006 – 306 p.
12. Grenfell M. Meditative adjustment of river dynamics: The role of chute channels in tropical sand-bed meandering rivers / Grenfell M. C., Nicholas A. P., Aalto R. // United Kingdom, Sedimentary Geology. Vol. 301. – 2013. – P. 93–106.
13. Nelson S. River Systems & Causes of Flooding / Stephen A. Nelson // Tulane University, Dept. Earth & Environmental Sciences. – 2012. – P. 1–13.
14. Robert A. River processes: an introduction to fluvial dynamics / Andre Robert // London, United States by Oxford University Press. – 2003. – 214 p.
15. Zolezzi G. Modeling morphodynamic processes in meandering rivers with spatial width variations / Zolezzi G., Luchi R., Tubino M. // Italy, Rev. Geophys. Vol. 50, Issue 4. – 2012. – P. 1–24.
16. <http://studopedia.info/9-23063.html> – Морфометричні характеристики річкового басейну.
17. <http://starosambir.net.ua/4498/> – Повені на річці Дністер.
18. <http://lektsiopedia.org/ukr/lek-12918.html> – Схема утворення стариці.
19. <http://helpiks.org/2-111577> – Водоохоронні та прибережні зони.
20. <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/landsat-7> – SatelliteMissions: Landsat–7.
21. <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/1/landsat-8-ldcm> – SatelliteMissions: Landsat–8.

**Дослідження меандрування  
ріки Дністер з використанням  
геоінформаційних технологій**

Х. Бурштинська, С. Третяк, В. Шевчук

Розглянуто основні причини, які викликають зміщення русел рік та їх меандрування. Запропоновано технологічну схему визначення зміщень русла ріки Дністер поблизу м. Миколаїв Львівської області. Для аналізу зміщень русла ріки за 125-літній період використано топографічні карти 1886, 1928 та 1989 рр., космічні зображення із супутників Landsat 7 (2000 р.) та Landsat 8 (2014 р.) та геоморфологічні й ґрунтові карти. Встановлено, що зміщення русла за цей період на деяких ділянках сягають 1000 м. Опрацювання вихідних матеріалів здійснено з використанням геоінформаційної системи ArcGIS.

**Исследование меандрирования  
реки Днестр с использованием  
геоинформационных технологий**

К. Бурштынская, С. Третьяк, В. Шевчук

Рассмотрено основные причины, вызывающие смещения русел рек и их меандрирование. Предложено технологическую схему исследования смещений русла реки Днестр близ города Николаев Львовской области. Для анализа смещений русла реки за 125-летний период использовано топографические карты 1886, 1928 и 1989 гг., космические изображения из спутников Landsat 7 (2000 г.) и Landsat 8 (2014 г.), а также геоморфологические и почвенные карты. Установлено, что смещения русла за этот период на некоторых участках достигают 1000 м. Обработка исходных материалов осуществлялась с использованием геоинформационной системы ArcGIS.

**Research of meandering  
of river Dniester using  
geoinformation technologies**

Kh. Burshtynska, S. Tretyak, V. Shevchuk

It is considered the main reasons that cause the riverbeds displacements and meandering. We proposed the technological scheme of determining the displacement of the Dniester riverbed near the town Mykolaiv, Lviv region. Topographic maps (1886, 1928, 1989), space images from satellites Landsat 7 (2000) and Landsat 8 (2014), geomorphological and soil maps were used for the analysis of the riverbed displacements during 125-year period. Authors established that the riverbed displacements for this period in some areas reach up to 1,000 meters. Processing of raw materials was made using ArcGIS software.