

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Географічний факультет

Кафедра географії України та регіоналістики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан географічного факультету

**Мирослав ЗАЯЧУК**

“ 29 ” серпня 2025 року

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
СУЧАСНІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ У ГІДРОЛОГІЧНИХ
РОЗРАХУНКАХ І ПРОГНОЗАХ

обов'язкова

Освітньо-професійна програма Гідрологія

Спеціальність Е4 Науки про Землю

Галузь знань Е Природничі науки,

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Факультет географічний

Мова навчання українська

Чернівці 2025 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Сучасні математичні моделі у гідрологічних розрахунках і прогнозах» **складена відповідно до** освітньо-професійної програми Гідрологія, спеціальність Е4 Науки про Землю.

Розробник:

Паланичко Ольга Вікторівна - доцент кафедри географії України та регіоналістики, кандидат географічних наук, доцент.

Викладач, що забезпечує читання даної навчальної дисципліни:

Паланичко Ольга Вікторівна - доцент кафедри географії України та регіоналістики, кандидат географічних наук, доцент.

Погоджено з гарантом ОП



Юрій ЮЩЕНКО

Затверджено на засіданні кафедри географії України та регіоналістики
Протокол № 12/1 від «28» серпня 2025 року

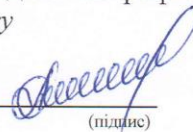
Завідувач кафедри


(підпис)

Іван КОСТАЩУК

Схвалено навчально-методичною радою географічного факультету
Протокол № 1 від «28» серпня 2025 року

Голова навчально-методичної ради


(підпис)

Наталя АНДРУСЯК

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою дисципліни «Сучасні математичні моделі у гідрологічних розрахунках і прогнозах» є ознайомлення студентів з новими тенденціями досліджень з прикладної гідрології, які мають велике значення у вирішенні сучасних наукових та практичних завдань і пов'язані з математичними моделями процесів формування стоку, з детермінованим та стохастичним моделюванням. Необхідність вивчення даної дисципліни пов'язана зі зростаючою потребою застосування моделювання при прогнозуванні річкового стоку і небезпечних гідрологічних явищ, таких як повені, паводки, селеві потоки, катастрофічні зсуви та лавини у горах, забруднення територій і річкового стоку.

Завдання дисципліни. Дисципліна має забезпечити формування в студентів здатності коректно ставити задачі моделювання гідрологічних і гідроекологічних процесів на рівні водозбору та руслових ділянок, обирати адекватний тип моделі (детермінована, стохастична, детерміновано-стохастична) відповідно до мети дослідження та наявних даних, виконувати підготовку вхідної інформації й параметризацію за допомогою ГІС/ДЗЗ (DEM-похідні, гідрографічна мережа, морфометрія водозборів, зонування на однорідні ділянки/teach), застосовувати прийоми калібрування, валідації та контролю якості результатів з використанням узгоджених критеріїв і масо-балансових перевірок, оцінювати невизначеність та чутливість модельних висновків і коректно інтерпретувати ансамблеві/ймовірнісні результати, інтегрувати виходи моделей у просторовий аналіз для виявлення «гарячих точок» формування стоку, ерозії та винесення домішок, а також обґрунтовувати управлінські висновки у басейновому підході з урахуванням антропогенних морфологічних тисків і руслових змін, типових для малих карпатських і передгірних водозборів та транскордонних річкових систем. Окремим завданням є набуття навичок документування робочих процедур (GIS-ланцюжків, джерел даних, параметрів і припущень) для забезпечення відтворюваності та наукової доброчесності модельних результатів у прикладних гідрологічних розрахунках і прогнозах.

Результати навчання. У процесі вивчення курсу студент повинен:

- Аналізувати особливості природних та антропогенних систем і об'єктів геосфер Землі. - ПР01.
- Знати сучасні методи дослідження Землі та її геосфер і вміти їх застосовувати у виробничій та науково-дослідницькій діяльності - ПРН 7.
- Уміння вирішувати практичні задачі наук про Землю (за спеціалізацією) з використанням теорій, принципів та методів різних спеціальностей з галузі природничих наук - ПРН 10.
- Використовувати сучасні методи моделювання та обробки геоінформації при проведенні інноваційної діяльності - ПРН 11.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких компетентностей:

- К09. Знання сучасних засад природокористування, взаємодії природи і суспільства із застосуванням раціонального використання природних ресурсів, екологічних аспектів та основ природоохоронного законодавства.
- К11. Володіння сучасними методами досліджень, які використовуються у виробничих та науково-дослідницьких організаціях при вивченні Землі, її геосфер та їхніх компонентів.
- К14. Знання основних сучасних положень гідрологічної науки, фундаментальних наук стосовно розвитку землі, земних вод, земної еволюції і застосовувати їх для формування світоглядної позиції і позиції в управлінні водними ресурсами.
- К15. Уміння виявляти та аналізувати основні антропогенні впливи на водні об'єкти, відповідні ландшафти, басейни річок, оцінювати гідроекологічний стан об'єктів, вирішувати питання гідроекобезпеки..

2. Опис навчальної дисципліни

2.1. Загальна інформація

Назва навчальної дисципліни «Сучасні математичні моделі у гідрологічних розрахунках і прогнозах»													
Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумкового контролю	
			кредитів	годин	змістових модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання		
Денна	6	90	3	90	2	16	14				60		залік

2.2. Структура змісту навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р	
1	2	3	4	5	6	7
Модуль 1						
Змістовий модуль 1 Загальні положення про математичне моделювання у гідрологічних прогнозах						
Тема 1. Детерміноване моделювання в гідрології: постановка задачі, структура моделі, параметризація, відтворюваність.	11	2	2			7
Тема 2. Детерміноване моделювання формування стоку: DEM-схематизація, руслова трансляція, критерії якості моделі.	11	2	2			7
Тема 3. Інтегроване моделювання «стік–ерозія–забруднення»: просторові предиктори, джерела навантаження, калібрування комплексних моделей.	11	2	2			7
Тема 4. Екологічна орієнтація моделювання процесів стоку, ерозії і забруднення (басейновий підхід; інтеграція з ГІС/ДЗЗ та польовими спостереженнями на гірських і передгірних водозборах Карпат)	12	2	2			8
Разом за змістовим модулем 1	45	8	8			29
Змістовий модуль 2. Методологічні основи моделювання та прогнозування						
Тема 5. Моделювання схилової ерозії і забруднення	11	2	2			7
Тема 6. Детерміновані моделі небезпечних гідрологічних явищ.	12	2	2			8
Тема 7. Стохастичне моделювання.	11	2	2			7
Тема 8. Детерміновано-стохастичне моделювання.	11	2				9
Разом за змістовим модулем 2	45	8	6			31
Усього годин	90	16	14	-		60

2.3. Теми лекційних занять з переліком питань

№	Назва теми	Годин
	Змістовий модуль 1 Загальні положення про математичне моделювання у гідрологічних прогнозах	

1	<p>Лекція 1. Детерміноване моделювання в гідрології: постановка задачі, структура моделі, параметризація, відтворюваність.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Формулювання детермінованої задачі моделювання для малого карпатського водозбору (ціль, масштаб, часовий крок, вихідні змінні: $Q(t)$, $H(t)$, обсяг стоку, піки паводків). 2. Вибір типу моделі (зосереджена/напіврозподілена/розподілена) та обґрунтування для басейнів Черемошу/Сірету з урахуванням наявних спостережень і DEM-похідних. 3. Набір вхідних даних і параметрів: метеорологічні ряди, DEM, мережа водотоків, землекористування; класи параметрів і їх ідентифікованість. 4. Калібрування та валідація: розділення періодів/подій, критерії якості, інтерпретація відхилень гідрографа для паводків. 5. Вимоги до відтворюваності моделювання: опис GIS-ланцюжка (QGIS/SAGA), версії ПЗ, джерела даних, метадані, контроль якості просторових шарів. 	2
2	<p>Лекція 2. Детерміноване моделювання формування стоку: DEM-схематизація, руслова трансляція, критерії якості моделі.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Побудова гідрографічної основи з DEM: Fill sinks, Flow Direction, Flow Accumulation, виділення мережі та підбасейнів; вибір порогів для гірських басейнів. 2. Морфометрична параметризація водозбору: площа, довжини потоків, похили, порядковість, акумуляційні ділянки; використання у структурі моделі. 3. Процесні блоки формування стоку для Карпат: ефективні опади, інфільтрація/насичення, швидкий схилувий стік, базисний стік, руслова маршрутизація. 4. Оцінка якості детермінованої моделі: NSE та його обмеження; розклад похибки (зсув, дисперсія, фаза), аналіз систематичних помилок для паводків. 5. Процедури калібрування на обмежених даних: мінімальний набір параметрів, перевірка стабільності параметрів між подіями, валідація на незалежному періоді. 	2
3	<p>Лекція 3. Інтегроване моделювання «стік–ерозія–забруднення»: просторові предиктори, джерела навантаження, калібрування комплексних моделей.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Структура інтегрованої моделі на рівні водозбору: зв'язки між поверхневим стоком, твердим стоком і перенесенням речовини; вихідні показники (навантаження, концентрації, “гарячі точки”). 2. Просторова підготовка параметрів у GIS: похили, довжина схилу/LS, зв'язність схил–русло, землекористування, ґрунти; узгодження з вашими DEM-моделями та русловою мережею. 3. Сценарії антропогенного впливу для ваших територій: аграрне навантаження, берегоукріплення/дамби, розробка алювію, локальні зміни заплави; їх формалізація як факторів моделі. 4. Калібрування і валідація комплексної моделі: узгодження критеріїв для стоку і якості води, уникнення взаємокомпенсації параметрів, використання польових/моніторингових даних як незалежних перевірок 5. Інтерпретація результатів для управління водними ресурсами: порівняння альтернативних заходів, оцінка невизначеності, межі застосовності висновків у контексті руслових змін і гідроморфологічних 	4
4	<p>Лекція 4. Екологічна орієнтація моделювання процесів стоку, ерозії і забруднення (басейновий підхід; інтеграція з ГІС/ДЗЗ та польовими спостереженнями на гірських і передгірних водозборах Карпат).</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Екологічно орієнтовані постановки задач у системі «стік–ерозія–забруднення» та вимоги до вхідних даних і просторової схематизації водозбору; 2. Моделювання зв'язку «формування стоку → винесення завислих речовин → транспорт домішок» і перевірка масо-балансової узгодженості; 3. Калібрування/валідація моделей якості води за гідрохімічними рядами та польовими вимірюваннями (контроль якості проб і невизначеності параметрів); 4. Сценарне моделювання антропогенних навантажень і природоорієнтованих рішень у басейні (зміни землекористування, протиерозійні заходи, відновлення заплавної буферної смуги); 5. Прив'язка результатів моделювання до екологічних нормативів/класів якості води та інтерпретація для управлінських рішень у межах басейнового управління. 	2
	<p>Змістовий модуль 2. Методологічні основи моделювання та прогнозування</p>	
5	<p>Лекція 5. Моделювання силової ерозії і забруднення (нерозчинні/розчинні домішки; зв'язок із гідрографом стоку; просторове моделювання на схилах і в русловій мережі, з орієнтацією на карпатські водозбори та агроландшафти передгір'їв).</p>	2

	<ol style="list-style-type: none"> 1. Постановка задачі силової ерозії: фактори схилового змиву, формування твердого стоку та параметризація ерозійної небезпеки в басейні; 2. Моделювання нерозчинного забруднювача як домішки, пов'язаної із завислими наносами (джерела, акумуляція, ремобілізація, винесення); 3 3. Моделювання розчинного забруднювача (вимивання, підземна/поверхнева складові, часові лаги, розбавлення під час паводків); 4. Просторове оцінювання ерозії та винесення речовин у ГІС (схилі елементи, гідрмережа, вихід у замикаючому створі) і узгодження з польовими/лабораторними даними; 5. Приклад сценарного моделювання динаміки забруднення за зміни землекористування та впровадження протиерозійних заходів (контурно-меліоративна організація, лісосмути, буферні смуги, гідротехнічні елементи). 	
6	<p align="center">Лекція 6. Детерміновані моделі небезпечних гідрологічних явищ (повені/паводки; селеві потоки та споріднені явища; прориви озер; розрахунково-прогностичні схеми для гірських річок).</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Детермінована схема «опаді/сніготанення → формування паводкової хвилі → руслова трансформація» та типові джерела похибок у гірських басейнах; 2. Гідравлічне моделювання затоплень і побудова карт небезпеки/ризиків (поперечники, шорсткість, калібрування за високими водами, чутливість до ЦМР); 3. Принципи створення моделей селевих потоків і споріднених процесів (рух суміші води й уламкового матеріалу, тригери, критичні стани на схилах і в руслі); 4. Моделювання проривів природних озер/загат і каскадних ефектів униз за течією; 5. Зв'язок моделювання з системами попередження та управління паводковим ризиком (порогові рівні, сценарії, регламенти реагування; застосування для басейнів Українських Карпат і транскордонних ділянок). 	4
7	<p align="center">Тема 7. Стохастичне моделювання в гідрометеорології</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Випадковість у рядах опадів, температури та витрат води: стаціонарність, сезонність, тренди, викиди. 2. Ймовірнісні моделі опадів: моделювання факту випадання/невипадання, розподіли інтенсивностей, відтворення екстремумів для паводкових подій. 3. Авторегресійні та кореляційні зв'язки метеорологічних змінних (опаді–температура–вологість) і параметризація для орографічно складних районів (Карпати). 4. Просторова узгодженість стохастичних полів (кореляція, крос-кореляція) та перенесення на підбасейни/висотні зони. 5. Валідація стохастичних моделей: відтворення статистик середніх, дисперсій, сезонних циклів і хвостів розподілу; придатність для подальшого моделювання стоку/ерозії. 	2
8	<p align="center">Лекція 8. Детерміновано-стохастичне моделювання (композиційні ланцюги “погода → стік/паводок → ерозія/якість води”, ансамблі та невизначеність).</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Принципи детерміновано-стохастичної постановки: стохастичні входи (метеосерії) у детермінованих моделях стоку й руслової трансляції для басейнів Карпат. 2. Архітектура композиції моделей: узгодження часових кроків, просторових одиниць (створ/підбасейн/reach/грид) та GIS-підготовка параметрів водозбору. 3. Ансамблеве прогнозування паводків: множина реалізацій метеосценаріїв → множина гідрографів; оцінка ймовірностей перевищення порогів і ризикових показників. 4. Невизначеність і еквіфінальність: джерела (дані, параметри, структура), підходи калібрування та інтерпретація діапазонів результатів. 5. Верифікація результатів для управлінських задач: критерії для піків/об'ємів/часу добігання паводкової хвилі та застосовність у басейнових прогностичних системах. 	

2.4. Теми практичних занять

№	Назви тем	Кількість годин	Кількість балів
1	<p>Практична робота 1. Цифрова гідрографія й морфометрія водозбору як основа ландшафтно-морфологічного аналізу (SAGA/QGIS).</p> <p>Завдання: побудувати DEM-похідні та гідрографічну основу (Fill sinks → Flow Direction/Accumulation → Channel Network →</p>	3	6

	Basins) для вибраного басейну ваших досліджень; сформувати набір морфометричних характеристик водозбору та мережі (площа, довжини, похили, порядковість, профіль русла, індекси зволоження/акумуляції за потреби) і підготувати їх у вигляді таблиці атрибутів; виконати первинну сегментацію річки на однорідні ділянки (reach/ОДРЗ) за морфометричними ознаками (зміни похилу, конфайнмент долини, вузли приток, штучні перетини).		
2	Практична робота 2. Багаточасовий аналіз планових руслових змін і виділення багаторічної смуги руслоформування/поясу русла (QGIS + ДЗЗ). Завдання: підготувати серію контурів русла/водної поверхні для кількох часових зрізів (за Landsat/Sentinel або картматеріалами, як у ваших кейсах по Сірету) та виконати їх нормалізацію за масштабом/проекцією; розрахувати планові метрики змін (площа русла, ширина/площа активної смуги, зміщення осі/контурів, коефіцієнт звивистості, частота перерізів меандрів — за наявності); автоматизовано/напівавтоматизовано виділити пояс русла (channel belt) як об'єднання багаторічних контурів і підготувати підсумкову карту зон активності та стабільності.	4	6
3	Практична робота 3. Порогова інтерпретація морфологічних тисків та класифікація стану ОДРЗ у ландшафтно-гідрологічній рамці (QGIS/SAGA). Завдання: для виділених reach/ОДРЗ обчислити показники, що ви використовуєте у своїй морфодинамічній інтерпретації (площа/частка збереженої багаторічної смуги руслоформування, зміна меж/рубежів ОДРЗ у часі; індикатори врізання/трансформації за наявними профілями або DEM-похідними проксі); виконати порогову класифікацію ділянок за ступенем трансформації (категорії стану) з прив'язкою до причин (берегоукріплення, дамби, кар'єри алювію, мости/переходи, спрямлення); підготувати карту “тиск → відповідь русла” з атрибутивною таблицею, придатною для подальшого порівняння з іншими методиками.	3	6
4	Практична робота 4. Зіставлення методик оцінки морфологічної складової (River-MmAS, SYRAH-CE, MQI/RHS) на одній річці: інтеграція в ГІС-матрицю рішень. Завдання: сформувати для reach/ОДРЗ єдину ГІС-таблицю тисків/індикаторів та заповнити її за правилами трьох підходів (ризик-аудит/ранжування, порогово-ємнісний контроль втручань, індексна оцінка якості/референтності) на основі ваших карт і польових спостережень; побудувати порівняльні карти класів/пріоритетів і виділити ділянки, де методики дають узгоджений vs розбіжний результат; сформулювати короткі управлінські висновки по кожній категорії ділянок (де потрібне відновлення/обмеження втручань/деталізація польового обстеження).	4	6
	Всього:	14	24

2.5. Зміст завдань для самостійної роботи

№ з/п	Назви робіт	Годин	Бали
-------	-------------	-------	------

1.	Регресія на змішаних факторних множинах	7	1
2.	Адаптація регресійної моделі до неоднорідної сукупності	7	1
3.	Регресія на групуваннях	7	0,5
4.	Модель стандартизованих групувань	8	0,5
5.	Особливості моделювання взаємозв'язаних динамічних рядів	7	1
6.	Динамічна модель для сукупності об'єктів	8	1
7.	Нелінійна регресія	8	1
8.	Структура взаємозв'язків і структурна форма моделі	8	1
	Всього	60	7

2.6. Тематика індивідуальних завдань*

Змістовий модуль 1. Основи моделювання в гідрології.

1. Логіка прикладного статистичного моделювання
2. Сутність і види статистичних прогнозів
3. Метод експертних оцінок
4. Комп'ютерні технології статистичного моделювання
5. Формування інформаційної бази моделі
6. Розвідувальний аналіз даних
7. Багатовимірне ранжування
8. Однорідність і типологія
9. Кластерні процедури класифікації
10. Класифікація на основі дискримінантної функції

Змістовий модуль 2. Екологічна орієнтація моделювання процесів стоку, ерозії і забруднення.

1. Основні засади моделювання динаміки
2. Типи трендових моделей
3. Короткострокове прогнозування на основі ковзних середніх
4. Оцінювання сезонної компоненти.
5. Модель ARIMA
6. Моделювання повних циклів
7. Типи моделей взаємозв'язку
8. Багатофакторні індексні моделі
9. Класична регресія
10. Забезпечення адекватності регресійної моделі

* **ІНДЗ – в цілому для навчальної дисципліни (10 б).**

4.ФОРМИ Й МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ТА ОЦІНЮВАННЯ

Методи контролю.

У процесі вивчення дисципліни «Сучасні математичні методи у гідрологічних розрахунках і прогнозах» перевірка якості знань студентів здійснюється у формі поточного та підсумкового контролю.

Поточний контроль здійснюється під час проведення лекційних, практичних занять, самостійної роботи. При цьому використовуються такі засоби діагностики, як тестування, письмове та усне опитування. Метою поточного контролю є перевірка рівня засвоєних знань та підготовки студентів до виконання конкретної роботи.

Підсумковий контроль здійснюється наприкінці семестру з метою оцінки результатів навчання на завершальному етапі.

Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка: національна та ECTS	Критерії оцінювання
90-100	Зараховано А	Студент дає абсолютно правильні відповіді на теоретичні питання з викладенням оригінальних висновків, отриманих на основі програмного, додаткового матеріалу та нормативних документів. При виконанні практичного завдання студент застосовує системні знання навчального матеріалу, передбачені навчальною програмою.
80-89	Зараховано В	Студент повністю розкрив теоретичні питання на основі програмного та додаткового матеріалу. При виконанні практичних завдань студент застосовує узагальнені знання навчального матеріалу, передбачені навчальною програмою.
70-79	Зараховано С	Студенту розкрив теоретичні питання, програмний матеріал викладено у відповідності до вимог. Практичні завдання виконані в цілому правильно, але мають місце окремі неточності.
60-69	Зараховано D	Студент розкрив теоретичні питання, проте при викладенні програмного матеріалу допущені окремі помилки. При виконанні практичних завдань студент припускається помилок, за рахунок недостатнього розуміння матеріалу.
50-59	Зараховано E	Студент неповністю розкрив теоретичні питання, відповідь містить суттєві помилки. При виконанні практичних завдань студент припускається значних помилок, а виконання завдань викликає значні труднощі.
35-49	Незараховано FX (з можливістю повторного складання)	Студенту не розкрив теоретичні питання і не може виконати практичні завдання. Як правило такий студент виявляє здатність до викладення думки лише на елементарному рівні.
0-34	Незараховано F (з обов'язковим повторним курсом)	Студенту, який не виконав навчальну програму або якийсь елемент її складової, має фрагментарні знання, які не дозволяють розкрити теоретичні питання і виконати практичні завдання. Такий студент не може викласти свою думку навіть на елементарному рівні.

Розподіл балів, які отримують студенти

Вид контролю	Модуль	Тема	Тестові завдання до лекційних занять	Самостійна робота	Практичні роботи	Модуль-контроль	Всього балів	
Поточний контроль		1.	1	1	3		2	
		2.	1	1	4		10	
		3.	0,5	0,5	4		9	
		4.	0,5	0,5	4			
	Всього за модуль 1			3	3	15	9	30
		1.	1	1	3		6	
		2.	1	1	4		2	
		3.	1	1	4		7	
		4.	1	1	4		7	
	Всього за модуль 2			4	4	15	7	30
	Всього за поточний контроль*			7	7	30	16	60
	Підсумковий контроль - залік							40
Разом							100	

Рекомендована література

Основна:

1. Волощук, М. Д., Петренко, Н. І., & Яценко, С. В. (2014). *Ерозія ґрунтів України: еволюція теорії та практики* (В. А. Вергунов, заг. ред.). ТОВ «Нілан-ЛТД».
2. Волощук, М. Д., Петренко, Н. І., & Яценко, С. В. (2014). *Ерозія ґрунтів України: Еволюція теорії та практики*. ТОВ «Нілан-ЛТД».
3. Гопченко, Є. Д., Лобода, Н. С., & Овчарук, В. А. (2014). *Гідрологічні розрахунки: Навчальний посібник*. ТЕС.
4. Лобода, Н. С., & Гопченко, Є. Д. (2006). *Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках: Навчальний посібник*. Екологія.
5. Лобода, Н. С., & Катинська, І. С. (2023). *Прикладні аспекти застосування методів математичної статистики в гідроекології: Навчальний посібник*. Одеський державний екологічний університет.
6. Лук'янець, О. І. (2005). *Математичне моделювання в гідрометеорології як фактор наукового пізнання*. Ніка-Центр.
7. Обласов, В. І., & Балик, Н. Г. (2009). *Протиерозійна організація території*. Аграрна освіта.
8. Приходько, М. М. (2011). *Паводки та управління ними в регіоні Українських Карпат і прилеглих територій*. Український географічний журнал, (4), 55–58.
9. Хільчевський, В. К., & Ободовський, О. Г. (Ред.). (2008). *Загальна гідрологія*. ВПЦ «Київський університет».
10. Хільчевський, В. К., Забокрицька, М. Р., Кравчинський, Р. Л., & Чунар'юв, О. В. (2015). *Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона* (В. К. Хільчевський, ред.). ВПЦ «Київський університет».
11. Хільчевський, В. К., Ободовський, О. Г., & Гребінь, В. В. (2008). *Загальна гідрологія*. ВПЦ «Київський університет».
12. World Meteorological Organization. (2008). *Guide to hydrological practices: Volume I—Hydrology: From measurement to hydrological information* (WMO-No. 168, 6th ed.). World Meteorological Organization.
13. Wilks, D. S. (2020). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (4th ed.). Elsevier.
14. Wagener, T., & Gupta, H. V. (2005). *Model identification for hydrological forecasting under uncertainty*. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(6), 378–387. doi:10.1007/s00477-005-0006-5
15. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (2023). *HEC-RAS User's Manual (Version 6.4.1)*. U.S. Army Corps of Engineers.
16. Tarboton, D. G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 33(2), 309–319. DOI: 10.1029/96WR03137.
17. Richardson, C. W. (1981). *Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation*. *Water Resources Research*, 17(1), 182–190. <https://doi.org/10.1029/WR017i001p00182>
18. Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* (Agriculture Handbook No. 703). U.S. Department of Agriculture.
19. Refsgaard, J. C., & Henriksen, H. J. (2004). *Modelling guidelines—terminology and guiding principles*. *Advances in Water Resources*, 27(1), 71–82. DOI: 10.1016/j.advwatres.2003.08.006 ;
20. Refsgaard, J. C., & Henriksen, H. J. (2004). *Modelling guidelines—Terminology and guiding principles*. *Advances in Water Resources*, 27(1), 71–82. doi:10.1016/j.advwatres.2003.08.006.
21. Pianosi, F., Beven, K., Freer, J., Hall, J. W., Rougier, J., Stephenson, D. B., & Wagener, T. (2016). *Sensitivity analysis of environmental models: A systematic review with practical workflow*. *Environmental Modelling & Software*, 79, 214–232. DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.02.008 ;
22. Pelletier, G. J., Chapra, S. C., & Tao, H. (2006). *QUAL2Kw—a framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration*. *Environmental Modelling &*

- Software*, 21(3), 419–425. DOI: 10.1016/j.envsoft.2005.07.002 ;
23. Park, R. A., Clough, J. S., & Wellman, M. C. (2008). AQUATOX: Modeling environmental fate and ecological effects in aquatic ecosystems. *Ecological Modelling*, 213(1), 1–15. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2008.01.015.
 24. Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290. doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6.
 25. Moriasi, D. N., Zeckoski, R. W., Arnold, J. G., Baffaut, C., Malone, R. W., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and water quality models: Key calibration and validation topics. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1609–1618. doi:10.13031/trans.58.11075.
 26. Koutsoyiannis, D., Efstratiadis, A., & Georgakakos, K. (2007). Uncertainty assessment of future hydroclimatic predictions: A comparison of probabilistic and scenario-based approaches. *Journal of Hydrometeorology*, 8(3), 261–281. DOI: 10.1175/JHM576.1.
 27. Katz, R. W., Parlange, M. B., & Naveau, P. (2002). Statistics of extremes in hydrology. *Advances in Water Resources*, 25(8–12), 1287–1304. DOI: 10.1016/S0309-1708(02)00056-8 ;
 28. Hutton, C., Wagener, T., Freer, J., Han, D., Duffy, C., & Arheimer, B. (2016). Most computational hydrology is not reproducible, so is it really science? *Water Resources Research*, 52(10), 7548–7555. DOI: 10.1002/2016WR019285.
 29. Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 377(1–2), 80–91. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.08.003 ;
 30. Freeze, R. A., & Harlan, R. L. (1969). Blueprint for a physically-based, digitally-simulated hydrologic response model. *Journal of Hydrology*, 9(3), 237–258. DOI: 10.1016/0022-1694(69)90020-1 ;
 31. Flanagan, D. C., & Nearing, M. A. (Eds.). (1995). *USDA-Water erosion prediction project (WEPP): Hillslope profile and watershed model documentation (NSERL Report No. 10)*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Soil Erosion Research Laboratory.
 32. Chapra, S. C. (2008). *Surface water-quality modeling*. Waveland Press ;
 33. Beven, K., & Young, P. (2013). A guide to good practice in modeling semantics for authors and referees. *Water Resources Research*, 49(8), 5092–5098. DOI: 10.1002/wrcr.20393 ;
 34. Beven, K., & Young, P. (2013). *A guide to good practice in modeling semantics for authors and referees*. *Water Resources Research*, 49(8), 5092–5098. doi:10.1002/wrcr.20393.
 35. Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73–89. doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x.

Допоміжна:

1. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006. 240 с.
2. Довідник здобувача наукового ступеня [Текст]: Збірник нормативних документів та інформаційних матеріалів з питань атестації наукових кадрів вищої кваліфікації / Упорядник Ю. І. Цеков; передне слово Р. В. Бойка. Київ : Редакція «Бюлетеня Вищої атестаційної комісії України», 2000. 64 с.
3. Соседко М., Димитров Д., Кочелаба Е., Янков В. Применение математических моделей в задачах расчета и прогноза дождевого стока (методическое руководство). София-Київ, 1990.
4. Сусідко М.М. Математичне моделювання процесів формування стоку як основа прогностичних систем. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Київ, 2000. Т. 1. С. 32-40.

Перелік запитань Модуль контроль 1

Лекція 1. Детерміноване моделювання. Попередній огляд.

- 1) Які три ключові елементи містить постановка детермінованої моделі (мета, вхідні дані, вихідні змінні) і як їх сформулювати для малого карпатського водозбору?
- 2) Чим відрізняються зосереджені, напіврозподілені та розподілені моделі, і за якими ознаками ви оберете тип моделі для конкретного басейну?
- 3) Які групи параметрів у детермінованій моделі зазвичай калібруються, а які задаються зі сторонніх даних (DEM, землекористування, ґрунти) і чому?
- 4) У чому різниця між калібруванням і валідацією моделі, і які мінімальні вимоги до розділення періодів/подій, щоб перевірка була незалежною?
- 5) Які складові забезпечують відтворюваність моделювання (GIS-ланцюжок, джерела даних, версії ПЗ, метадані) і що саме треба зафіксувати у звіті, щоб інша людина повторила результат?

Лекція 2. Детерміноване моделювання системи процесів формування стоку.

- 1) Які основні етапи DEM-гідрографічної обробки потрібні, щоб отримати межі водозбору й руслову мережу (на рівні назв операцій і результатів кожної)?
- 2) Які морфометричні характеристики водозбору/мережі є базовими для параметризації моделі стоку (не менше 5), і як вони фізично пов'язані з формуванням гідрографа?
- 3) Назвіть ключові процесні блоки формування стоку для гірських басейнів і поясніть, який блок найбільше впливає на пік паводку та час добігання хвилі.
- 4) Що показує критерій NSE і чому «високий NSE» не завжди означає адекватну модель; які дві-три додаткові перевірки варто зробити?
- 5) Які типові джерела похибок виникають при моделюванні паводків у Карпатах (дані/крок часу/структура мережі/параметри) і як їх розпізнати за формою гідрографа?

Лекція 3. Детермінована модель «Стік–ерозія–забруднення».

- 1) Які основні компоненти включає інтегрована модель «стік–наноси–домішки» і які вихідні показники найчастіше використовують для оцінки ризику у створі?
- 2) Чим відрізняються точкові та дифузні джерела забруднення в басейновому моделюванні, і які приклади кожного типу характерні для ваших територій (Карпати/передгір'я/агроландшафти)?
- 3) Які просторові предиктори в ГІС найчастіше застосовують для оцінки ерозійної небезпеки (похил, LS, акумуляція стоку тощо) і як вони пов'язані з потенційним виносом завислих речовин?
- 4) Чому калібрування «одночасно на стік і якість води» складніше за калібрування лише стоку; що таке взаємокомпенсація параметрів і як її уникати?
- 5) Як на основі серії багаточасових контурів русла/поєсу русла можна обґрунтувати сценарії навантаження у моделі (берегоукріплення, видобуток алювію, спрямлення) та перевірити їх просторову правдоподібність?

Лекція 4. Екологічна орієнтація моделювання процесів стоку, ерозії та забруднення.

- 1) Які вихідні показники моделі (обсяг/піки стоку, винесення наносів, концентрації/навантаження домішок) безпосередньо інтерпретуються як екологічно значимі, і чому?
- 2) У чому відмінність між оцінюванням якості води за концентраціями та за навантаженнями (load), і яку помилку дає змішування цих підходів під час паводків?
- 3) Які дані потрібні для калібрування/валідації блоку якості води (відбір проб, частота, прив'язка до витрат), і які джерела невизначеності тут найбільш критичні?
- 4) Як у ГІС на базі ваших карт/польових спостережень виділити «гарячі точки» формування забруднення (джерело–транспорт–вихід) і зв'язати їх із reach/ОДРЗ?
- 5) Які типи природоорієнтованих рішень або обмежень втручань можна коректно тестувати сценарно (буферні смуги, протиерозійні заходи, відновлення заплави), і які модельні виходи використовують для порівняння сценаріїв?

Модуль контроль 2

Лекція 5. Моделювання ерозії та пов'язаного забруднення: схил–русло, завислі/розчинні компоненти, просторове оцінювання.

- 1) Які фактори визначають ерозійну небезпеку на схилі, і які з них ви можете отримати безпосередньо з DEM та шару землекористування у QGIS/SAGA?
- 2) Чим відрізняється моделювання забруднення, пов'язаного із завислими наносами, від моделювання розчинного компонента; які процеси домінують у кожному випадку під час паводку?
- 3) Як поняття «зв'язність схил–русло» впливає на винесення речовин, і які ГІС-ознаки (акумуляція, довжина потоку, конфайнмент долини) можуть бути проксі для цієї зв'язності?
- 4) Які результати просторового моделювання ерозії/виносу можна верифікувати без прямих вимірювань наносів (через космічні знімки, замулення/акумуляції, польові спостереження), і які обмеження такої верифікації?
- 5) Як коректно порівняти два сценарії землекористування/заходів (наприклад, буферні смуги проти суцільної розораності) і які метрики є придатними для висновків у басейновому управлінні?

Лекція 6. Детерміновані моделі небезпечних гідрологічних явищ: паводки, затоплення, селеві/руслові події.

- 1) Які етапи включає ланцюг моделювання «опад/танення → паводкова хвиля → трансформація в руслі», і на якому етапі найчастіше виникає найбільша похибка в гірських басейнах?
- 2) Які вихідні дані необхідні для гідравлічного моделювання затоплення (геометрія, шорсткість, витрати), і що саме з цього можна підготувати/перевірити у QGIS/SAGA?
- 3) Чому точність DEM критична для карт затоплення в гірських долинах, і які типові артефакти DEM дають помилкові зони затоплення?
- 4) Які ознаки в руслі та на схилах вказують на потенціал селевих/уламкових потоків, і як ці ознаки можна відобразити у просторових шарах для попередньої оцінки небезпеки?
- 5) Як пов'язати результати моделювання небезпеки з reach/ОДРЗ та картами руслових змін (пояс русла), щоб отримати пріоритети для моніторингу й управлінських заходів?

Лекція 7. Стохастичне моделювання в гідрометеорології (випадкові ряди, екстремуми, генератори “погоди” для гірських водозборів).

- 1) Які ознаки в часовому ряді (опад/температура/витрати) свідчать про сезонність і нестационарність, і чому це важливо перед побудовою стохастичної моделі?
- 2) Як відрізняється моделювання факту випадання опадів від моделювання їх інтенсивності, і які статистики треба перевірити, щоб генератор “погоди” відтворював паводкові зливи?
- 3) Що таке автокореляція і крос-кореляція метеозмінних (опад–температура–вологість) і як їх врахування впливає на синтетичні сценарії для Карпат?
- 4) Які параметри стохастичної моделі найчутливіші до якості вихідних даних (пропуски, зсуви вимірювань, короткі ряди), і як це проявляється у результатах?
- 5) Які мінімальні критерії валідації генератора “погоди” ви застосуєте перед використанням його виходів у розрахунках стоку/ерозії (середні, дисперсії, сезонні цикли, частоти та “хвости” екстремумів)?

Лекція 8. Детерміновано-стохастичне моделювання (композиційні ланцюги “погода → стік/паводок → ерозія/якість води”, ансамблі, невизначеність, підтримка рішень).

- 1) У чому полягає детерміновано-стохастична постановка і які саме елементи ланцюга у вашій задачі є стохастичними, а які — детермінованими?

- 2) Що означає «композиція моделей» і які три ключові узгодження потрібно забезпечити при зв'язці (часовий крок, просторові одиниці, формат/передача даних)?
- 3) Як формується ансамбль прогнозів, і які показники з ансамблю використовують для оцінки ризику паводків (ймовірність перевищення порогу, квантілі, інтервали)?
- 4) Які основні джерела невизначеності у ланцюзі “дані → параметри → структура → результати” та як відрізнити невизначеність даних від невизначеності структури моделі?
- 5) Як інтерпретувати результати детерміновано-стохастичного моделювання для практики на рівні reach/ОДРЗ (пріоритети моніторингу, сценарії втручання, пояснення меж застосовності висновків)?

ПОЛІТИКА ЩОДО АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ

Дотримання політики щодо академічної доброчесності учасниками освітнього процесу при вивченні навчальної дисципліни регламентовано такими документами:

6. «Етичний кодекс Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича»
<https://www.chnu.edu.ua/media/jxdfs0zb/etychnyi-kodeks-chernivetskoho-natsionalnoho-universytetu.pdf>
7. «Положенням про виявлення та запобігання академічного плагіату у Чернівецькому національному університету імені Юрія Федьковича»
<https://www.chnu.edu.ua/media/n5nbzwgb/polozhennia-chnu-pro-plahi-at-2023plusdodatky-31102023.pdf>
8. «Положення про апеляцію на результати підсумкового семестрового контролю знань студентів»
<https://www.chnu.edu.ua/universytet/normatyvni-dokumenty/polozhennia-pro-apeliatsiiu-na-rezultaty-pidsumkovoho-semestrovoho-kontroliu-znan-studentiv/>