

УДК 551.4 (477.81/82)

В. О. Фесюк – доктор географічних наук, професор кафедри екології Луцького національного технічного університету;

М. А. Федонюк – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології Луцького національного технічного університету;

В. В. Федонюк – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології Луцького національного технічного університету

Теоретико-методологічні аспекти оцінювання інтенсивності карстової денудації на водозборах Волинського Полісся

Роботу виконано на кафедрі екології ЛНТУ

Проаналізовано регіональні особливості розрахунку інтенсивності карстової денудації для території Волинського Полісся, а також специфіку врахування неденудаційної частини йонного стоку, густини крейдяних порід, транзитного стоку. Наведено узагальнювальний алгоритм обчислення показників карстової денудації на водозборах регіону. Під час розроблення запропонованої методики використовували дані гідрохімічного моніторингу водних об'єктів Волинської та Рівненської областей, проводили їхню обробку математико-статистичними та графічними методами, аналізували переваги й недоліки попередніх розвідок. Обчислено показники карстової денудації для 13 великих ділянок річкових басейнів Волинського Полісся, при цьому діапазон значень становив від 10 до 35 мм/1000 років (або м³/км² за рік). Середні значення винесення крейдяних порід становлять 18–20 м³/км² за рік.

Ключові слова: крейдяний карст, йонний стік, інтенсивність карстової денудації, Волинське Полісся.

Фесюк В. О., Федонюк М. А., Федонюк В. В. Теоретико-методологические аспекты оценки интенсивности карстовой денудации на водозборах Волинского Полесья. Проанализированы региональные особенности расчета интенсивности карстовой денудации для территории Волинского Полесья, а также особенности учета неденудационной части ионного стока, плотности меловых пород, транзитного стока. Приведен обобщающий алгоритм вычисления показателей карстовой денудации на водозборах региона. При разработке предложенной методики использовались данные гидрохимического мониторинга водных объектов Волинской и Ровенской областей, проводилась их обработка математико-статистическими и графическими методами, анализировались преимущества и недостатки предыдущих исследований. Рассчитаны показатели карстовой денудации для 13 больших участков речных бассейнов Волинского Полесья, при этом диапазон значений составил от 10 до 35 мм/1000 лет (или м³/км² за год). Средние значения выноса меловых пород составляют 18–20 м³/км² за год.

Ключевые слова: карст мела, ионный сток, интенсивность карстовой денудации, Волинское Полесье.

Fesyuk V., Fedonyuk M., Fedonyuk V. Theoretical and Methodological Aspects of Assessing the Intensity of Karst Denudation in the Drainage Basin of Volyn Polesia. Regional features of calculation of intensity of karst denudation for the territory of the Volyn Polesia are considered. The peculiarities of the accounting of a non-denudation part of an ionic drain, density of chalk, a transit drain are analysed. The algorithm of calculation the intensity of karst denudation on region is given. In developing the proposed methodology, data hydrochemical monitoring of water bodies Volyn and Rivne regions, held their processing mathematical-statistical and graphical methods, analyzing the advantages and drawbacks of previous research. Were calculated for the 13 karst denudation of large areas of river basins Volyn Polissya, with the range was from 10 to 35 mm/1000 years (or m³/km² for the year). The mean values of making chalk up 18-20 m³/km² for the year.

Key words: karst in chalk, ionic drain, the intensity of karst denudation, Volyn Polesia.

Постановка наукової проблеми та її значення. Кількісне визначення інтенсивності денудації земної поверхні дає змогу оцінити величини й напрямки потоків речовини в природних комплексах, виявити регіональні відмінності прояву денудаційних процесів та їхню роль у сучасному морфогенезі. Визначення рівнів карстової денудації на локальному рівні може також слугувати одним із показників карстонебезпеки.

Аналіз останніх досліджень із цієї проблеми. Для території Волинського Полісся відомі декілька спроб оцінювання рівня карстової денудації. В. М. Шестопапов за формулою Н. В. Родіонова наближено оцінив активність карстового процесу Озерянського крейдового масиву (на межі

Турійського та Ковельського районів) [7]. Дослідники Київського національного університету імені Шевченка у 1980-х рр. оцінили рівень винесення карбонатів у розрізі загального гідрохімічного районування України [1]. Із 2001 р. цій тематиці присвячені роботи М. А. Федонюка [4; 5; 6]. Зауважимо: більшість із них виконано за різними методиками, що ускладнює їхню зіставність та проведення подібних досліджень у майбутньому.

Мета статті – висвітлити докладно розроблені авторами науково-методичні підходи до оцінювання рівня карстової денудації на водозборах Волинського Полісся.

Матеріали й методи. Під час розроблення запропонованої методики використовували дані гідрохімічного моніторингу водних об'єктів Волинської та Рівненської областей, проводили їхню обробку математико-статистичними та графічними методами, аналізували переваги й недоліки попередніх розвідок у цьому напрямку. Для отримання достовірних значень густини карстованих масивів здійснювали польовий відбір зразків крейди з наступним лабораторним визначенням їхньої вологості та маси.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Найчастіше вживаною для розрахунку карстової денудації є формула польського дослідника М. Пуліни, яка враховує приріст вмісту у водах розчиненої породи та модуль водного стоку території.

Однак, як зауважує чимало дослідників, для достовірного обчислення темпу денудації за такою формулою потрібно багато уточнених даних: про неденудаційну частину йонного стоку; про привнесення розчинених речовин із атмосферними та транзитними водами; його сезонну динаміку; про реальну густину порід карстованого масиву тощо. Спробуємо з'ясувати такі особливості для території Волинського Полісся.

Визначення карстового складника в загальному йонному стоці. Розв'язання цього питання складається з декількох частин. Спочатку встановлюємо компоненти йонного стоку, пов'язані з розчиненням карстованих порід. Оскільки карстові масиви Волинського Полісся складені майже винятково крейдою та мергелями, основними мінералами яких є кальцит CaCO_3 і (фрагментарно) доломіт $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, то аналізуємо значення зі стоку катіонів кальцію та магнію, а також гідрокарбонат-йону HCO_3^- .

Надалі з'ясовуємо, яка частина цих йонів не пов'язана з розчиненням. Відповідно до співвідношення атомних мас у загальновідомій реакції розчинення CaCO_3 , денудаційна частина йонів HCO_3^- складатиме $60/122=0,492$ від їхньої сумарної зафіксованої кількості. Отже, для визначення середньобогаторічної кількості винесеного карбонату кальцію потрібно додати середнє арифметичне із зафіксованих значень вмісту кальцію до $0,492$ середнього арифметичного із вмісту HCO_3^- . Якщо при цьому співвідношення $\text{Ca}/0,328 \text{ HCO}_3^-$ буде близьким до $1,0$ (у межах 5% похибки), ці дані можна використовувати для подальших обчислень.

Суттєво уточнити спосіб знаходження достовірних середньобогаторічних значень винесення розчинених речовин дає змогу аналітичний (кореляційний) метод – побудова рівнянь залежностей вмісту розчиненого компонента й витрат води.

При цьому для окремих рік буває достатньо одного апроксимуючого рівняння, але для багатьох потрібне розчленування гідрографа принаймні на дві частини – повеневу й позаповеневу – та відповідну побудову двох графіків функціональних залежностей. Після знаходження відповідних рівнянь у них підставляють середнє значення витрати води із цього водопосту та обчислюють середню витрату відповідних компонентів йонного стоку [3].

При побудові таких рівнянь для річок Турія, Прип'ять, Стир, Стохід, Вижівка з'ясувалися шукані залежності за багаторічний період добре відображаються єдиною лінійною функцією для всіх фаз водного режиму (коефіцієнт апроксимації в усіх випадках вищий $0,9$). Водночас для водопостів на річках Горинь (Оржів, Деражне) та Случ (м. Сарни) постала проблема будувати рівняння з розчленуванням гідрографа. При цьому графік для поста Деражного (без повеневих значень) набув степеневого вигляду ($y = 108,1x^{1,2829}$), а для повеневих витрат по Оржеву та Случу не знайшлося жодної функції з коефіцієнтом апроксимації вищим $0,5$. Відповідно, такі максимальні значення для згаданих водопостів ми в подальшому не враховували.

Врахування транзитного стоку. Нерідко значна частина йонного стоку, спостереженого на конкретному гідрологічному пості, не може бути співвіднесена з водозбором цієї ріки за рахунок транзитного привнесення поверхневих чи підземних вод. Часті також і зворотні випадки, коли зафіксовані значення мінералізації в конкретному пункті відображають не весь об'єм розчинених

речовин у межах цього басейну, що відбувається через поглинання стоку та його подальше розвантаження в сусідніх басейнах. Особливо характерно це саме для карстових ділянок.

Відповідно, розрахунки рівня хімічної денудації загалом (і карстової зокрема) без урахування транзитного й поглинутого стоку можуть містити суттєві помилки.

Щоб запобігти таким неточностям, пропонують у розрахункові формули включати не загальну мінералізацію вод (T), а її різницю (ΔT) між значеннями, зафіксованими на двох сусідніх водопостах, або ж вводити поправочні коефіцієнти, які враховують різницю між зональними та локальними значеннями модуля стоку.

Реальне застосування першого варіанта обмежене незначною кількістю суміжних гідрологічних постів, на яких тривалий час здійснюються гідрохімічні спостереження. У регіоні є лише вісім таких пунктів спостережень, але їхнє розміщення переважно дуже нерівномірне, що погіршує зіставність отриманих за ними даних (наприклад, площа водозбору Стоходу від витoku до посту в с. Малинівці – 692 км², а від Малинівки до посту в смт Любешів – 1950 км²).

Тому однозначно потрібним є застосування другого варіанта – з'ясування величини відхилень модуля стоку від нормальних (зональних) значень і введення відповідних поправочних коефіцієнтів у розрахункові формули.

Для цього було використано результати попередніх досліджень поверхневого й підземного стоку Волинського Полісся та проаналізовано багаторічні фактичні дані із витрат води в річках регіону (за період з 1960-х рр. за 2010 р.), опубліковані в офіційних збірниках Гідрометеоцентру.

За сукупністю проаналізованого матеріалу було виділено ділянки з різним рівнем поглинання чи розвантаження стоку та побудовано карту відхилень від зональних значень модуля стоку. Діапазон співвідношень фактично зафіксованого стоку до зонального склав від 0,18 до 1,89, відповідно, поправочні коефіцієнти були визначені в проміжку 1,84–0,11.

Використання цих коефіцієнтів під час розрахунку рівня карстової денудації дає змогу уникнути завищених чи занижених оцінок, пов'язаних із неврахуванням місцевих і транзитних особливостей стоку.

Врахування густини карстованих порід. У багатьох формулах, які використовують для обчислення величин денудації регіонів поширення карбонатного карсту, вже введені числові показники, що враховують густину вапняку чи кальциту (2,5–2,6 г/см³). Однак ці коефіцієнти не можна застосовувати для карстованих масивів, складених іншими карбонатними породами, зокрема крейдою, мергелем, мармуром тощо, оскільки їхня густина може суттєво відрізнитись. Відсутність такого застереження в багатьох класичних роботах із карстознавства призводила до помилок в окремих регіональних дослідженнях.

Отже, у кожному прикладному дослідженні варто послуговуватись усередненими даними фізичних характеристик зразків порід досліджуваного регіону.

Мергельно-крейдянні породи Волинського Полісся хімічно є досить чистими, вміст мінералу кальциту становить переважно близько 93 %. На окремих ділянках Турійсько-Костопільської денудаційної рівнини з відсутнім або мінімальним шаром покривних відкладів, унаслідок значного і тривалого звітрювання, крейдянні породи збагачені теригенним, глинистим матеріалом, що спричиняє зниження вмісту CaCO₃ до 65–70, іноді – до 46 %. Однак об'єм таких вивітрених порід у басейнах річок Турії, Стоходу, Стиру, які протікають по цій рівнині, становить менше 1,5 % усього карстованого масиву, тому в наших обчисленнях цей факт не взято до уваги.

Ураховуючи той факт, що в науковій літературі наведено суперечливі дані щодо густини крейди досліджуваного регіону – від 1,3 г/см³ до 2,3–2,5 г/см³, ми окремо визначили цей показник. Із крейдяних кар'єрів (села Пожарки, Люблинець, Злазне) відібрано зразки крейди, з яких виготовлено 60 форм фіксованого об'єму. Після виготовлення всі зразки висушили та повторно зважили. Відповідно до проведених вимірювань обчислили значення густини крейдяних порід. З'ясувалищо цей показник змінюється від 1,215 до 1,94 г/см³. Для наступних обчислень темпу карстової денудації використали середнє з отриманих значень – 1,429 г/см³.

Ураховуючи викладене вище, для обчислення інтенсивності карстової денудації території Волинського Полісся ми використали такий алгоритм:

1) знаходження величин йонного стоку (із гідрологічних постів) за компонентами розчинення – йонами кальцію, магнію та гідрокарбонату;

- 2) вичленення частини йонів, що не мають денудаційного походження (за балансом атомних мас у рівняннях розчинення);
- 3) побудова графіків функціональних залежностей стоку розчинених компонентів від витрат води з кожного водопосту;
- 4) визначення за отриманими графіками середньобогаторічної норми витрат суми шуканих компонентів розчинених порід;
- 5) знаходження річної витрати (маси) розчиненого карбонату кальцію через конкретний створ;
- 6) уточнення маси винесених розчинених порід із урахуванням транзитних особливостей (уведення поправочного коефіцієнта σ у розрахункову формулу);
- 7) переведення маси порід в об'єм діленням на середнє із визначених значень густини крейдяно-мергельних порід у регіоні ($1,429 \text{ г/см}^3$);
- 8) співвіднесення отриманих значень із площею території.

Отже, узагальнено формула для визначення інтенсивності карстової денудації в регіоні може виглядати так:

$$D = \frac{31,54QTs}{1,429F},$$

де D – інтенсивність карстової денудації, $\text{м}^3/\text{км}^2$ за рік ($\text{мм}/1000$ років);

Q – середньобогаторічна витрата води із даного створу, $\text{м}^3/\text{с}$;

T – середнє значення мінералізації, зумовленої розчиненням, мг/дм^3 ,

S – коефіцієнт, що враховує гідрологічні особливості водозбору (сильне поглинання стоку чи наявність транзитних вод),

F – площа водозбору, км^2 .

За таким алгоритмом було розраховано показники карстової денудації для 13 великих ділянок річкових басейнів Волинського Полісся, при цьому діапазон значень склав від 10 до 35 $\text{мм}/1000$ років (або $\text{м}^3/\text{км}^2$ за рік). Середні значення винесення крейдяних порід становлять 18–20 $\text{м}^3/\text{км}^2$ за рік.

Для більшої частини басейнів Стиру та Горині в межах Волинського Полісся отримано середні (17–18 $\text{мм}/1000$ років) значення швидкості карстово зумовленого зниження поверхні. Водночас очевидним є те, що на цих територіях наявні окремі ділянки і з дуже високою (напр., Ст. Чарторийськ, Оконськ, Більська Воля), і з низькою інтенсивністю карстоутворення. Однак, такі відмінності нівелюються за рахунок вимушеності охоплення великих площ водозборів (через малу мережу постів гідрохімічних спостережень).

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отже, основними особливостями регіонального застосування застосованої методики є використання поправок на величини поглинання чи розвантаження стоку, а також введення в розрахункову формулу значення густини місцевих порід. Такий підхід у поєднанні з вичлененням неденудаційної частини йонного стоку дає змогу уникнути багатьох похибок, властивих окремим попереднім дослідженням.

Водночас варто зауважити, що наступні карстологічні дослідження в регіоні вимагатимуть удосконалення системи гідрохімічного моніторингу поверхневих і підземних вод для отримання більш деталізованих показників йонного стоку, співвіднесених із якомога меншою площею водозборів.

Список використаних джерел

1. Горев Л. М. Гідрохімія України : підручник / Л. М. Горев, В. І. Пелешенко, В. К. Хільчевський. – К. : Вища шк., 1995. – 307 с.
2. Дублянський В. Н. Химическая денудация карстовых регионов и методы ее определения / В. Н. Дублянський // О передовом опыте в изучении карстовых процессов. – М. : ЦП НТГО, 1984. – С. 5–24.
3. Мозжерин В. И. Химическая денудация гумидных равнин умеренного пояса / В. И. Мозжерин, А. Н. Шарифуллин. – Казань : [б. и.], 1988. – 193 с.
4. Федонюк М. А. Інтенсивність хімічної денудації території Волинського Полісся // Наук. вісн. ВДУ ім. Лесі Українки. – 2007. – № 2. – С. 47–51.
5. Федонюк М. А. Обсяги карстової денудації в межах басейнів річок Волинського Полісся / М. А. Федонюк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2002. – Вип. 4. – С. 256–260.

6. Федонюк М. А. Геопросторова диференціація сучасної карстової денудації території Волинського Полісся : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.04 / Федонюк Микола Ананійович; Львів. нац. ун-т ім. І. Франка. – Л., 2010. – 21 с.
7. Шестопапов В. М. Крейдяний карст Волині та гідрогеологічні умови його розвитку / В. М. Шестопапов // Фізична географія та геоморфологія. – 1970. – Вип. 4. – С. 65–70.

Стаття надійшла до друку
07.02.2013 р.