

# МОНІТОРИНГ ПІДТОПЛЕННЯ МЕЛІОРОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ ВОЛИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ДЗЗ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НЕГАТИВНИХ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ НАСЛІДКІВ

## FLOODING MONITORING OF VOLYN REGION RECLAIMED LANDS USING REMOTE SENSING DATA FOR NEGATIVE ECOLOGICAL AND ECONOMIC CONSEQUENCES PREVENTION

**Ніна ЛІЩУК,**  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України,  
Київ



**Nina LISHCHUK,**  
National University of Life  
and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv

У Волинській області зосереджена велика кількість перезволожений земель – 574,4 тис. га. Частина осушених земель у загальній площі земельно-болотного фонду становить 70% [4]. Меліоровані землі за сучасних умов господарювання часто підтоплюються у весняний період, а інколи й упродовж вегетації [7]. Унаслідок цього сільськогосподарські виробники зазнають збитків та додаткових витрат на відновлення посівів і проведення агро меліоративних заходів. Для об'єктивного оцінювання збитків необхідно мати детальну інформацію щодо площі угідь, які зазнали підтоплення. Саме тому необхідно проводити оцінювання обсягів та економічних наслідків підтоплення меліорованих земель у Волинській області. Актуальною є мінімізація затрат на моніторинг земель, прогнозування можливих зон підтоплення, впровадження відповідних запобіжних заходів для зниження втрат сільськогосподарських виробників.

Ця проблематика досліджувалася вітчизняними та іноземними вченими в галузі природокористування [1, 4, 8] та економіки [3, 5], проте необхідне подальше комплексне застосування напрацювань для їх адаптації до умов меліорованих земель Волинської області.

З цих позицій актуальним є застосування інтегрованого еколого-економічного підходу до визначення ареалів та наслідків підтоплення меліорованих земель Волинської області. Сутність методики полягає у застосуванні (для визначення зон підтоплення меліорованих сільськогосподарських земель) супутникових знімків, які є у вільному доступі. На основі їх аналізу проведено оцінювання заподіяних економічних збитків, визначено основні фактори ризику та запропоновано запобіжні заходи.

На першому етапі розв'язання поставленої задачі застосовувалися сучасні дослідницькі методи й технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Супутникові мультиспектральні знімки дозволяють прогнозувати гідрологічні параметри та оцінювати зони ризику підтоплення меліорованих земель. Теоретичним підґрунтям оцінювання змін рівнів ґрунтових вод (РГВ) є характер спектрально-го відбиття води та рослинності у видимому, ближньому інфрачервоному (NIR) і середньому інфрачервоному діапазонах (SWIR) [4].

Спроби оцінити зволоженість земного покриву за матеріалами ДЗЗ оптичного діапазону здійснювали окремі автори неодноразово. Відомі дослідження (Gao B.C., 1996), якими встановлено високу кореляцію нормалізованого водного індексу (Normalized Difference Water Index (NDWI)) із вмістом вологи у ґрунті.

*Визначено обсяги підтоплення меліорованих земель Волинської області у весняний період із використанням методики, що дозволяє мінімізувати витрати на моніторинг земель сільськогосподарського призначення. Проведено економічну оцінку потенційних збитків. Встановлено основні фактори ризику підтоплення та запропоновано запобіжні заходи.*

*It is determined the area of flooding of Volyn region reclaimed lands during spring period using the method allowing to reduce the cost of agricultural land monitoring. Economic evaluation of potential losses is carried out. It is defined main risk factors for flooding and precautions are suggested.*

Для нашого дослідження використані супутникові знімки Landsat-5 04.04.2010 року. З метою забезпечення їх придатності для вирішення поставлених завдань проведено корекцію знімків до величин, що не залежать від атмосферних умов, а також перерахунок

у показники наземного відбиття. Корекцію супутникових знімків виконано у програмному комплексі Erdas Imagine 10.0, а подальший геоінформаційний та статистичний аналіз здійснювався з використанням пакету програм ArcGis 10.1 та Statistica 8.0.

На початковому етапі дані ДЗЗ, окрім радіометричної корекції, проходять масштабування отриманих значень ( $L_{ij}$ ) у дискретні безрозмірні значення елемента зображення (digital number або DN) з урахуванням характеристик відбивної здатності об'єктів. Ці значення є пропорційними кількості випромінювання, що потрапляє на сенсор.

Зазвичай потрібно привести значення DN до порівнюваних величин, тобто здійснити перерахунок у показники випромінювання на сенсорі ( $L_{ij}$ ) та в абсолютні безрозмірні значення відбиття ( $P_{відб}$ ). Отримана таким чином інформація є незалежною від дати і кута зйомки, віддалі до Сонця і залежною тільки від властивостей самого об'єкта (при умові задовільного стану атмосфери). У літературі цей показник відомий під назвою top of atmosphere (TOA) reflectance [1].

Таблиця 1. Індекси та формули їх визначення

Показник	Алгоритм визначення	Автор
Нормалізований водний індекс	$NDWI_1 = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$ $NDWI_2 = (SWIR - GRN) / (SWIR + GRN)$	Gao (1996) Сахацький (2007)

<sup>1</sup>GRN – відбиття в зеленій зоні спектра

Розрахункові значення водних індексів (табл. 1) для досліджуваної території меліорованих земель області порівнювалися з РГВ на гідростворах Стохідської, Копайвської, Тростянецької і Красновольської осушувальних систем (табл. 2) за даними Волинського облводресурсів.

Контрольні дані свідчать, що у період дослідження спостерігалось незначне підтоплення території (65, 121, 86, 1 свердловини). Не розраховувалися значення індексів для лісів, оскільки некоректним є застосування для них тієї ж моделі, що для сільськогосподарських земель.

Для підвищення точності картографування рівнів ґрунтових вод використовували сегментацію даних ДЗЗ, тобто виділення однорідних груп пікселів.

Таблиця 2. Рівні ґрунтових вод і розміщення контрольних свердловин (станом на 04.04.2010 року)

№ свердловини	Координати		РГВ, м	№ свердловини	Координати		РГВ, м
	Пн. широта	Сх. довгота			Пн. широта	Сх. довгота	
Стохідська осушувальна система				Красновольська осушувальна система			
82	51° 2'56.52"	25° 4'38.82"	3,80	2	51° 15'31.00"	24° 41'31.22"	0,80
122	51° 2'47.28"	25° 4'47.95"	0,28	3	51° 15'42.28"	24° 41'28.26"	0,59
81	51° 2'28.21"	25° 5'3.80"	3,16	4	51° 15'59.33"	24° 41'29.93"	0,55
119	51° 1'56.94"	25° 5'26.11"	3,37	5	51° 16'21.94"	24° 41'23.31"	0,51
61	51° 1'45.51"	25° 5'35.04"	0,90	6	51° 16'43.83"	24° 41'19.81"	0,45
65	51° 1'33.24"	25° 5'33.51"	-1,03	7	51° 17'0.65"	24° 41'18.86"	0,31
83	51° 3'6.45"	25° 4'55.94"	0,44	8	51° 17'15.61"	24° 41'15.86"	0,28
126	51° 2'58.11"	25° 5'4.56"	1,05	9	51° 17'27.75"	24° 41'10.09"	0,44
95	51° 2'47.16"	25° 5'12.78"	0,11	Тростянецька осушувальна система			
87	51° 2'15.17"	25° 5'43.77"	0,53	5	51° 2'27.91"	25° 28'58.51"	0,92
131	51° 2'0.98"	25° 6'0.34"	-0,81	6	51° 2'12.59"	25° 28'23.97"	0,83
86	51° 1'39.29"	25° 6'17.65"	-0,64	7	51° 1'57.95"	25° 28'19.14"	0,48
Копайська осушувальна система				8	51° 1'36.53"	25° 27'48.98"	0,45
1	51° 31'58.45"	23° 50'55.37"	-0,24	9	51° 1'30.49"	25° 27'46.80"	0,58
				10	51° 0'30.17"	25° 27'16.47"	0,56
				11	51° 0'14.03"	25° 27'8.60"	0,53

Проведений статистичний аналіз свідчить, що коефіцієнт кореляції  $NDWI_1$  із РГВ становив  $-0,66$ , а для  $NDWI_2$  –  $+0,54$ . Саме тому перший індекс покладений в основу моделювання. Зв'язок РГВ і розрахованого  $NDWI_1$ , найкраще описується поліном другого порядку (1), що підтверджується коефіцієнтом детермінації ( $R^2 = 0,68$ ):

$$РГВ = 0,32 - 4,444 \cdot NDWI_1 + 4,169 \cdot NDWI_1^2 \quad (1)$$

За результатами моделювання отримано цифрову карту та базу даних рівнів ґрунтових вод із зазначеними ділянками підтоплення сільськогосподарських угідь. Фрагмент цієї карти відображений на **рис. 1**.

Досліджувана територія меліорованих земель займає площу у 348,17 тис. га. Розподіл РГВ на меліорованих землях показано на **рис. 2**.

Аналіз результатів моделювання рівнів ґрунтових вод за супутниковим знімком свідчить, що підтоплення меліорованих сіль-

Рис. 1. Фрагмент карти рівнів ґрунтових вод на меліорованих землях Волинської області (04.04.2010 року)

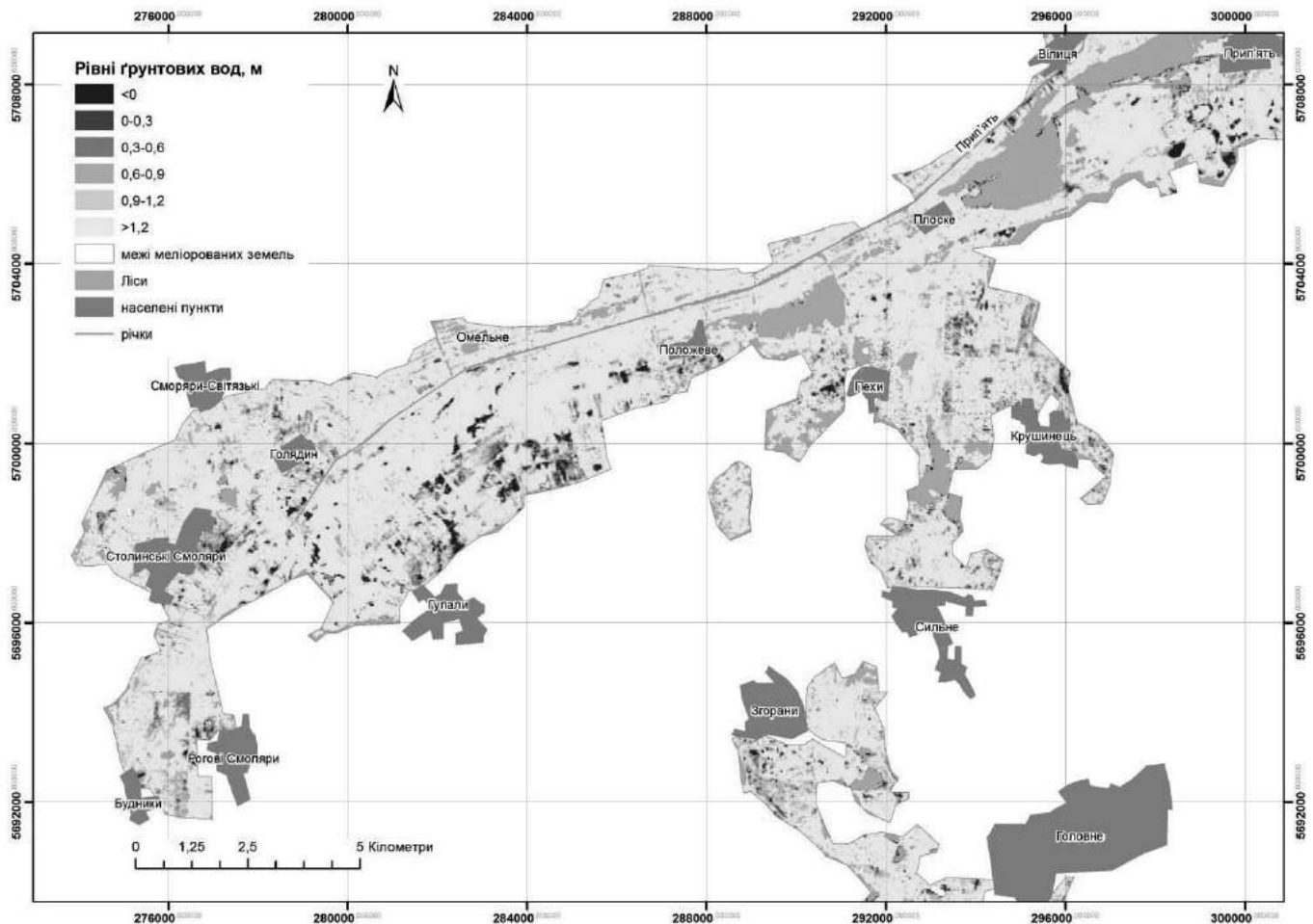
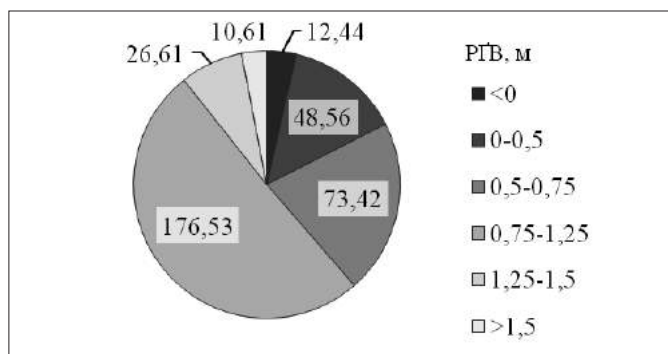


Рис. 2. Розподіл меліорованих земель Волинської області за РГВ, тис. га



ського господарських угідь весною 2010 року спостерігалось на 3,6% території. Загалом під загрозою підтоплення перебувало 13,9% земель, які мали близький до поверхні РГВ (0-0,5 м). На 21,1% угідь ґрунтові води залягали на рівні 0,5-0,75 м, на 61,4% – нижче 0,75 м.

Розподіл земель за РГВ у розрізі адміністративних районів Волинської області, отриманий за результатами моделювання, відображений у **табл. 3**.

У весняний період небезпека підтоплення меліорованих земель сільськогосподарського призначення є найбільшою у Ратнівському районі, дещо меншою – у Рожищенському, Ковельському, Любешівському, Любомльському і Володимир-Волинському районах. У цих районах розташована значна частина осушувальної меліоративної мережі, що потребує уваги з боку водогосподарських організацій і землекористувачів, а також проведення гідротехнічних та агротехнічних заходів (розчистки каналів, заміни несправних елементів технічної інфраструктури, вчасного водовідведення надлишкових вод, спостереження і контролю за РГВ). Підйом рівня ґрунтових вод і розвиток процесів підтоплення може призводити до вторинного заболочування.

Аналіз отриманих у ході моделювання даних свідчить, що точність моделювання РГВ та виявлення ділянок із можливим підтопленням за допомогою індексу  $NDWI_t$  залежить від кількості контрольних точок, складу угідь, стану і стадії розвитку вегетаційного покриву, якості даних ДЗЗ, атмосферних явищ тощо.

У зв'язку із цими обставинами варто укласти різночасову серію карт, що дозволить відобразити поширення та інтенсивність розвитку процесів підтоплення. Використання цих карт дасть можливість: прогнозувати можливі зони підняття РГВ на тій місцевості, де немає пунктів вимірювання; запобігати негативним наслідкам підтоплення; знижувати витрати коштів на моніторинг меліорованих земель і спрямовувати їх на попередження негативного впливу підтоплення; зменшити втрати сільськогосподарського виробництва.

Інформація, отримана за допомогою багатоспектральних знімків, на наступному етапі нашого дослідження використовується для розрахунку втрат сільського господарства від підтоплення сільськогосподарських угідь. Тип угідь визначався за допомогою керованої класифікації супутникових знімків [2]. Структура сільськогосподарських земель за рівнями залягання ґрунтових вод відображена в **табл. 4**.

У досліджуваний період підтоплення зазнали сільськогосподарські угіддя на площі 12,42 тис. га, з них 9,34 тис. га – посівні культури. Сіножаті та пасовища постраждали менше, оскільки після відновлення РГВ продовжувався активний вегетаційний період.

Втрати сільського господарства на меліорованих землях залежать від термінів відведення ґрунтових вод, структури посівних площ і строку проведення посівної компанії. Структура посівних площ сільськогосподарських культур 2010 року, що враховується для визначення збитків, відображена в **табл. 5**.

Таблиця 3. Рівень ґрунтових вод на меліорованих сільськогосподарських землях Волинської області у весняний період 2010 року, тис. га

Район	РГВ, м					
	<0	0-0,5	0,5-0,75	0,75-1,25	1,25-1,5	>1,5
Володимир-Волинський	0,874	2,473	3,713	10,757	2,003	1,685
Горохівський	0,189	1,402	1,188	0,661	0,028	0,005
Іваничівський	0,112	1,562	1,779	2,311	0,462	0,236
Камінь-Каширський	0,564	4,049	6,850	14,941	2,092	0,602
Ківерцівський	0,213	2,115	4,036	12,283	2,159	0,705
Ковельський	1,204	5,318	9,476	24,842	3,408	1,058
Локачинський	0,095	0,827	1,308	2,103	0,229	0,096
Луцький	0,352	0,486	0,565	1,654	0,507	0,577
Любешівський	0,723	2,803	4,435	11,886	2,380	0,869
Любомльський	0,690	3,388	5,868	16,183	2,371	0,858
Маневський	0,526	3,500	6,670	12,905	1,339	0,344
Ратнівський	4,134	9,486	9,565	13,747	1,168	0,293
Рожищенський	1,226	4,166	5,740	13,411	1,931	0,862
Старовижівський	0,680	2,790	4,936	15,769	2,384	0,700
Турійський	0,535	2,998	5,351	17,606	3,194	1,229
Шацький	0,318	1,194	1,943	5,466	0,953	0,489
Всього, тис. га	12,44	48,56	73,42	176,53	26,61	10,61
Частка від загальної площі, %	3,6	13,9	21,1	50,7	7,6	3,0

Таблиця 4. Рівень ґрунтових вод на меліорованих сільськогосподарських землях весною 2010 року

РГВ, м	Тип сільськогосподарських угідь, тис. га		Загальна площа, тис. га
	сільськогосподарські культури	сіножаті й пасовища	
<0	9,34	3,08	12,42
0-0,5	34,78	13,84	48,62
0,5-0,75	53,31	20,24	73,55
0,75-1,25	130,36	46,17	176,54
1,25-1,5	19,01	7,58	26,58
>1,5	7,11	3,49	10,60

Таблиця 5. Структура посівних площ сільськогосподарських культур у 2010 році\*

Види сільськогосподарських культур	Структура, %
зернові	49
технічні	16
овочі	3
кормові	2
пар	20

\*Складено за даними Волинського облводресурсів.

Втрати від незібраної сільськогосподарської продукції ( $Пр^c$ ) розраховуються на основі показників середньої врожайності основних видів сільськогосподарських культур для регіону України та середнього прогнозованого рівня оптових закупівельних цін на відповідну сільськогосподарську продукцію з урахуванням нездійснених витрат, необхідних для доведення її до товарного виду, за формулою 2 [6]:

$$Пр^c = \sum_{i=1}^n (S_i \times k_i \times y_i \times C_i \times Z_i^{год}) \quad (2)$$

де  $S_i$  – площа пошкодження  $i$ -ї сільськогосподарської культури;  
 $k_i$  – середній коефіцієнт ушкодження посівів  $i$ -ї сільськогосподарської культури;  
 $y_i$  – середня очікувана прогностична урожайність  $i$ -ї сільськогосподарської культури;  
 $C_i$  – прогнозна середня оптова ціна  $i$ -го виду сільськогосподарської продукції на час після збору врожаю;  
 $Z_i^{год}$  – витрати, необхідні для доведення всього обсягу втраченої  $i$ -ї сільськогосподарської продукції до товарної форми.

Таблиця 6. Розрахунок втрат сільськогосподарської продукції на підтопюваній території Волинської області

Сільськогосподарські культури	Розрахункова площа, га	Урожайність, ц/га	Середня ціна реалізації, грн./ц	Втрати продукції, тис. грн.
Зернові	2701,5	24,1	113,7	7402,654
Технічні	1495,1	323	36,1	17433,782
Усього				24836,436

У практичних розрахунках це означатиме, що для кожної з підтоплених ділянок (для розрахунків умовно вважаємо, що це сталося на єдиних ділянках щодо кожного виду культур) існує перелік показників, окрім витрат, «необхідних для доведення всього обсягу втраченої сільськогосподарської продукції до товарної форми» ( $Z_{\text{доп}}$ ). У статистичній звітності (форма «Обсяги і структура сільськогосподарського ринку») використовується «середня ціна виробника». Вона фактично відображає собівартість продукції, її можна вважати за показник  $C_i$  і знехтувати показником  $Z_i^{\text{доп}}$ .

Зазначимо, що розрахункова площа пошкодження для зернових становила 59% (озимих культур), для технічних культур – 100% (коефіцієнт пошкодження встановлений за структурою посівів зернових для Волинської області у 2010 році [9]).

У період проведення дослідження у зв'язку із погодними умовами 2010 року посівна кампанія більшості овочевих культур ще не почалася, а отже, вони не входять до розрахунку потенційних втрат сільського господарства. Не оцінюються також втрати кормових культур, оскільки більшість із них використовується для власного споживання у селянських і фермерських господарствах (неможливо визначити ціну реалізації).

Для здійснення розрахунку використовується середня врожайність сільськогосподарських культур і дані щодо обсягів та структури ринку для Волинської області. Для технічних культур розрахунок здійснено на прикладі цукрового буряка [9].

Складові розрахунку наведено в **табл. 6**.

Отже, знищення посівів озимих зернових на ділянці у 2701,5 га за середньої врожайності 24,1 ц/га призводить до втрат врожаю в обсязі 6510 тонн. Середня ціна реалізації в області становила 113,7 грн./ц. Таким чином, сума заподіяного збитку досягла 7402,654 тис. грн. Загальний заподіяний збиток від втрати сільськогосподарської продукції на меліорованих землях Волинської області у 2010 році міг становити 24,8 млн. грн. (якщо не відновлювати втрачені посіви іншими культурами у весняний посівний період).

Основні фактори, що створюють ризик підтоплення меліорованих земель, – це погодно-кліматичні (велика кількість опадів), технологічні (несправна меліоративна мережа), організаційні (невчасне відведення надлишкових ґрунтових вод), економічні (недостатнє фінансування попереджувальних меліоративних заходів) та інші. Землекористувачі повинні в першу чергу оцінювати можливість підтоплення, орієнтуючись на зазначені фактори й запроваджувати відповідні запобіжні заходи та обмеження в землекористуванні.

Необхідне встановлення екологічних обмежень щодо використання сільськогосподарських земель із високим рівнем ґрунтових вод. Для ділянок, де систематично спостерігається підтоплення і підняття РГВ (<0,5 м), рекомендуємо консервацію земель із подальшою ренатуралізацією або докорінною їх меліорацією, зміну цільового призначення земель. На територіях, що мають ризик підтоплення (0,5 < РГВ < 0,75), необхідне запровадження диференційованої системи комплексного захисту територій за спеціально розробленими програмами або проектами землеустрою. На решті меліорованих земель Волинської області рекомендується проведення попереджувальних природоохоронних заходів та систематичний контроль за станом земель наземними засобами і з застосуванням ДЗЗ. При плануванні сільськогосподарського використання меліорованих земель варто передбачати

можливість підтоплення і страхування пов'язаних із цим ризиків недоотримання врожаю або відновлення втрачених посівів.

На державному рівні варто впроваджувати організаційно-правовий механізм підтримки меліоративного землекористування за допомогою комплексного моніторингу довкілля, екологічної експертизи проектів землеустрою господарств, страхування сільськогосподарських виробників, вчасного відшкодування збитків, інвестування в розвиток і модернізацію меліоративної мережі.

Запропонований метод оцінювання підтоплення меліорованих земель відображає кількісну оцінку ризику підтоплення і визначає запобіжні заходи, які є основою для еколого-економічного аналізу та прийняття рішень щодо використання меліорованих земель у сільському господарстві.

**The destruction of winter cereals on the area of 2701.5 hectares with an average yield of 24.1 centner/ha results in crop losses of 6510 tones. The average sales price in the area was 113.7 UAH/Kg. Thus, the amount of the damage is 7402.654 thousand UAH. Total damage from the loss of agricultural production in Volyn region reclaimed lands could reach 24.8 million in 2010, unless agricultural producers restore other crops sown during the spring planting season.**

**Environmental restrictions are required for the usage of agricultural land with high groundwater level. Conservation followed by renaturalization, or substantial reclamation, change of land-use practices is recommended on the areas where flooding occurs regularly (ground water level < 0.5 m). On the areas that have flooding risk (0.5 < GWL < 0.75 m) it is necessary to introduce differentiated system of comprehensive protection, specially designed land management programs. Preventive environmental measures and systematic land monitoring using remote sensing are recommended for the rest of the reclaimed lands of Volyn region. Agricultural land-use planning of reclaimed land should take into consideration possible security risks associated with this harvest losses and crops recovery.**

**It is necessary to implement organizational and legal support mechanism for reclamation of land through a comprehensive environmental monitoring, environmental impact assessment of farm land management projects, farmers insurance, compensation, investment in reclamation and upgrading infrastructure at the state level.**

**Proposed flooding evaluation method for reclaimed area reflects quantitative assessment of the risk and determines the precautions that are the basis for the ecological-economic analysis and decision-making regarding the use of reclaimed lands in agriculture.**

## ЛІТЕРАТУРА

- Lei Ji. Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index / Ji Lei, Li Zhang, Bruce Wylie // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2009. – Vol. 75. – No. 11. – pp. 1307–1317.
- Lishchuk Nina. Drained lands structure of Volyn region as ecological and economic factor: practical aspect / N. Lishchuk // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. – 2013. – №4. – pp. 49–56.
- Данилишин Б. М. Сучасні тенденції регулювання процесів природокористування в Україні / Б. М. Данилишин // Економіка України. – 1994. – №11. – С. 59–62.
- Кохан С. С. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи: підруч. / С. С. Кохан, А. Б. Востоков. – К.: Вища шк., 2009. – 511 с.
- Новоковський Л. Я. Земельна реформа і землеустрій в Україні / Л. Я. Новоковський, А. М. Третяк, Д. С. Добряк. – К.: Ін-т землеустрою, 2001. – 138 с.
- Постанова Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р. №175 «Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-%D0%BF%BD%BF/cony/page2>.
- Про підсумки діяльності Західно-Бузького басейнового управління за 2010 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zbbuvr.gov.ua/News/Article167.html>.
- Сахацький О. І. До можливостей оцінювання зволоженості земного покриття за багатоспектральними космічними зображеннями оптичного діапазону на прикладі території України / О. І. Сахацький, С. А. Станкевич // Доповіді Національної академії наук України. – 2007. – №11. – С. 122–129.
- Сільське господарство Волині. Статистичний збірник / За редакцією В. Ю. Науменка. – Луцьк., 2013. – 342 с.