



ОПЕРАТИВНЕ ОЦІНЮВАННЯ ПРОХІДНОСТІ МІСЦЕВОСТІ ПОЗА ШЛЯХАМИ

Предложен собственный подход к определению зон непроходимости на местности для военной автомобильной техники дистанционным методом с учетом ее тактико-технических характеристик и свойств почвенного покрова, изменяющихся под воздействием сезонно-метеорологических факторов.

It is proposed the authors' approach to definition of impassability areas for military autos by remote sensing method taking into account performance characteristics of the machinery and soil cover features, which depend on season and weather conditions.

Постановка проблеми. Категорія прохідності займає особливе місце серед основних тактичних характеристик місцевості. Прокі́дність – це здатність місцевості сприяти або затримувати пересування військ. Завжди вважалося, що основним фактором, який визначає прохідність місцевості, є мережа шляхів, і чим вищий їх клас, тим місцевість зручніша для пересування військ. Але противник також звертає увагу на мережу шляхів і планує нанесення своїх ударів з урахуванням цього чинника. Тому командири всіх рівнів повинні всебічно аналізувати тактичні особливості місцевості, при цьому не останнє місце повинне займати визначення прохідності місцевості поза шляхами. Особливо треба звертати увагу на граничні умови прохідності, які визначаються характеристиками ґрунту та сезонно-метеорологічними явищами. Оперативне виявлення погодних умов у районі відповідальності, яке зараз можливе з досить високою точністю засобами дистанційного зондування земної поверхні, дає змогу в реальному масштабі часу аналізувати місцевість з метою визначити її прохідність поза шляхами.

Аналіз попередніх досліджень. Питанню прохідності місцевості у військовій науці завжди при-

ділялась належна увага. У монографії [1] досить докладно розглянуто питання взаємодії колісного рушія з різного типу ґрунтами при зміні їх вологості й тяги двигуна. Автор статті [8] розвиває фундаментальні положення його попередників щодо зміни глибини колії при багаторазовому проходженні по ній колісної техніки. У цих дослідженнях за основний фактор впливу на прохідність місцевості прийнято відносну вологість ґрунту. Для її визначення на досить великих територіях зараз використовуються методи ДЗЗ з космосу [7, 9]. Врахування тактико-технічних характеристик військової техніки, даних про ґрунтовий покрив і результатів визначення вологості земної поверхні методами ДЗ дає можливість сформулювати методіку оперативного виявлення зон непрохідності місцевості для певного типу техніки сухопутних військ.

Виклад основного матеріалу досліджень. Військова техніка має конкретні тактико-технічні характеристики, які визначають її здатність пересуватись місцевістю та долати перешкоди (табл. 1). Такими є масогабаритні параметри, кліренс (відстань між днищем машини і поверхнею місцевості), питомий тиск на ґрунт, здатність долати підйоми, броди, рови, стінки [5].

Таблиця 1. Характеристики, що визначають здатність техніки пересуватись місцевістю та долати перешкоди

Тип техніки	Габарити, м			Вага, т	Кліренс, м	Можливості долати перепони				Питомий тиск на ґрунт, кг/см ²
	Висота	Довжина (з гарматою)	Ширина			рів, м	брід, м	стінку, м	схили, град	
<i>Танки</i>										
М1А2 "Абрамс"	2,38	7,92 (9,83)	3,65	61,3	0,48	2,7	1,2	1,3	30	1,08
"Челенджер-2"	2,49	8,33 (11,56)	3,52	62,5	0,5	2,8	1,1	0,9	30	0,9
"Леклерк"	2,93	6,88 (9,87)	3,71	56,5	0,5	3,0	1,0	1,25	30	0,98
"Леопард-2" А6	2,5	7,7 (9,7)	3,5	62,0	0,49	3,0	0,8	1,1	30	0,9
"Меркава" Мк3	2,65	7,5 (9,04)	3,7	65,0	0,53	3,0	1,4	1,2	30	1,03
Т-64	2,2	6,54 (9,2)	3,3	40,0	0,5	2,85	1,8	0,85	30	0,83
Т-72	2,2	6,86 (9,5)	3,6	44,5	0,47	2,5	1,2	0,85	30	0,93
<i>БМП, БТР</i>										
МСУ-80 "Уорріор"	2,76	6,33	3,3	23,5	0,49	2,5	1,3	0,75	30	0,7
М2 "Бредлі"	2,9	6,79	3,24	21,3	0,46	2,5	пл.	0,9	30	0,52
БТР-80	2,41	7,65	2,9	13,6	0,475	2,0	пл.	0,5	30	0,7-3,0
БМП-2	2,06	6,74	3,15	14,0	0,42	2,5	пл.	0,7	30	0,65
<i>Автомобілі</i>										
КрАЗ-255	3,17	8,65	2,75	19,6	0,36	1,8	1,0		25	1,0-3,5
УАЗ-469	1,96	4,25	1,79	2,4	0,3	-	0,5		25	2,5
ЗІЛ-130	2,35	6,70	2,50	9,5	0,22	-	0,7		25	4,5

© О. Г. Міхно, В. А. Рябов, 2011



Характеристики техніки щодо прохідності варто поділити на дві групи:

- показники габаритної прохідності (довжина, ширина, висота), які визначають можливості маневру техніки в умовах обмеженого простору;
- показники позашляхової прохідності (можливості долати підйоми, рови, броди, стінки), кліренс та питомий тиск на ґрунт, які є визначальними для обчислення зон непрохідності за характеристиками рельєфу і ґрунтів.

Виокремимо елементи місцевості, які своїми характеристиками визначають прохідність військової техніки:

- *рельєф та ґрунти* (крутість схилів, форми і характеристики ярів, балок, осипів, обвалів та інших форм рельєфу, фізико-механічні характеристики ґрунтів, насиченість їх вологою);
- *гідрографічні об'єкти* (для боліт – ступінь їх зволоженості, товщина торф'яного шару, характер рослинності; для річок, каналів, ставків – ширина, глибина, характеристики дна, швидкість течії, характеристики і форми узбережжя для всіх об'єктів гідрографії). При цьому важливою є зміна розмірів та характеристик гідрографічних об'єктів під впливом природних чи антропогенних факторів;
- *рослинний покрив* (тип рослинності, її висота, товщина і відстань між деревами, для лісових масивів ще й наявність доріг та просік);
- *населені пункти* (їх типи, розміри, ступінь руйнування).

Детальніше вплив цих елементів місцевості на прохідність техніки описано в [3, 6]. Тому спинимось на характеристиках і властивостях ґрунтів, яким раніше не приділено уваги.

Прохідність бойової техніки по ґрунту залежить від питомого тиску коліс чи гусениць на нього p та граничної несної здатності q (табл. 2). Тобто, якщо $p < q$, то місцевість є прохідною для техніки, якщо $p > q$ – місцевість непрохідна для окремого типу техніки.

Таблиця 2. Несна здатність деяких типів ґрунтів

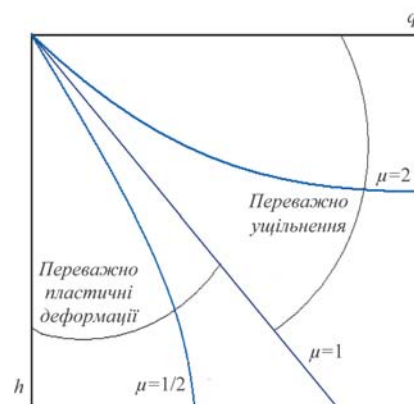
Тип ґрунту	Ступінь зволоженості ґрунту	Несна здатність ґрунту, кг/см ²	
		щільного	середньої щільності
Щебенюватий (галечниковий)	Незалежно від вологості	8,0	6,0
Гравійний	Незалежно від вологості	5,0	4,0
Пісок крупний	Незалежно від вологості	4,5	3,5
Пісок середньої крупності	Сухий	3,0	2,0
	Мокрий	2,5	1,5
Пісок дрібний	Сухий	2,5	2,0
	Мокрий	1,5	1,0
Пісок пилюватий	Сухий	3,0	2,5
	Мокрий	2,5	2,0
Супісок	Сухий	3,0	2,0
	Мокрий	1,0	0,6
Суглинок	Сухий	5,0	2,5
	Мокрий	1,0	0,5
Глинистий	Сухий	1,0	0,7
	Мокрий	0,7	0,2
Ущільнений сніговий покрив (при мінусових температурах)		0,6	0,2

Якщо порівняти наведені у таблицях 1 і 2 значення питомого тиску на ґрунт та його несну здатність, то для автомобільної техніки можуть стати непрохідними мокрі глинистий, суглинковий і торф'яний ґрунти. Оскільки таке порівняння досить приблизне, є необхідність застосувати точніший математичний апарат для визначення прохідності ґрунтів.

Опір ґрунту вдавлюванню визначається за формулою [1]

$$q_h = Ch^\mu, \quad (1)$$

де C – опір ґрунту з глибиною, кг/м³; μ – коефіцієнт, що залежить від властивостей ґрунту (за глибиною); h – глибина прогрузання, м.



Мал. 1. Загальний вигляд діаграми зміни глибини прогрузання техніки під дією зовнішнього навантаження

Значення параметрів C і μ змінюються для одного й того ж ґрунту в залежності від його вологості (мал. 1): при низькому зволоженні у зв'язних ґрунтах, коли деформації підпадають під дію лінійного закону, $\mu \geq 1$ (ґрунт під навантаженням ущільнюється, а бокового випирання не відбувається, внаслідок чого зі збільшенням навантаження просадка поступово затухає, а деформація стабілізується); при зволоженні, наближеному до капілярного насичення водою, $\mu=1/2$ (ґрунт спочатку ущільнюється, потім при подальшому збільшенні навантаження виникають місцеві зсуви маси ґрунту і осадка зростає інтенсивніше від навантаження; при подальшому збільшенні навантаження може виникнути ситуація, коли зсувом охоплюється вся маса ґрунту і він видавлюється); при зволоженнях, наближених до межі текучості, значення $\mu=0$ (майже немає ділянки ущільнення ґрунту, з початком навантаження в ґрунті виникають місцеві зсуви, що охоплюють згодом усю масу ґрунту).

Опір ґрунту навантаженню суттєво залежить від його вологості й ступеня ущільнення. Найпоширеніші ґрунтові поверхні в більшості випадків складаються з



трифазного субстрату (скелет + вода + повітря) і меншою мірою – з двофазного (скелет + вода).

Кількість твердих часток ґрунту в одиниці його об'єму визначається об'ємною вагою скелета δ (г/см³). Вологість ґрунту оцінюється масою води, яка міститься в одиниці об'єму ґрунту, відносно маси скелета і виражається в частках одиниці або у відсотках від маси скелета W , % (вагова вологість):

$$W = m_v / m_{ст} \cdot 100\%,$$

де m_v – маса води, кг; $m_{ст}$ – маса сухого ґрунту (скелету), кг.

Під відносною вологістю $W_{відн}$ розуміють відношення вагової вологості ґрунту W до вагової вологості верхньої межі пластичності даного типу ґрунту F .

Відомо, що діапазон відносної вологості ґрунтів, при яких відбувається ущільнення, невеликий і коливається від 0,40 до 0,65. При вищій вологості зв'язний ґрунт мало або зовсім не ущільнюється, а колія утворюється головним чином за рахунок видавлювання ґрунту з-під коліс, спостерігається налипання ґрунту на ходові деталі машини. При та-

вага скелета ґрунту, г/см³; F – верхня межа пластичності ґрунту; $W_{відн}$ – відносна вологість ґрунту.

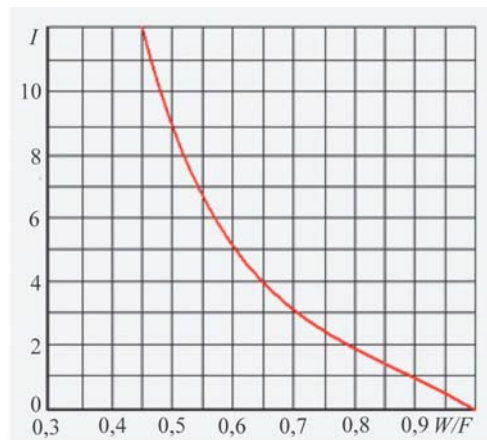
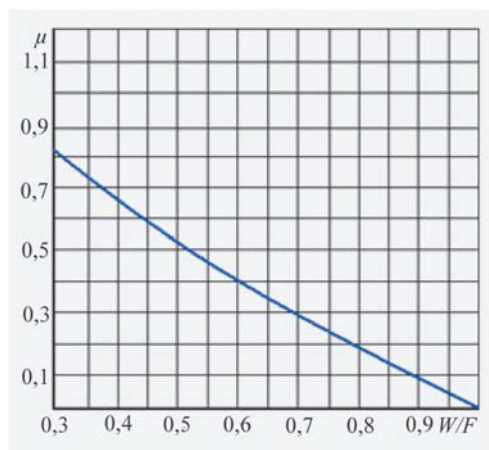
Установлено також, що

$$\mu = \frac{\delta}{\Delta - \delta} \left(1 - \frac{W}{F} \right). \quad (2)$$

У цій формулі лівий множник характеризує механічні властивості ґрунту, а правий – зміну його властивостей під дією вологи. Справедливим буде таке твердження: $W \rightarrow F$, $\mu \rightarrow 0$, тобто з наближенням значення вагової вологості до значення верхньої межі пластичності (нижньої межі текучості) значення μ наближатиметься до 0. З урахуванням виразів (1) та (2) залежність показника глибини прогрузання техніки від значень відносної вологості ґрунтів набуває вигляду:

$$h = \left(\frac{PW^3\delta_F}{F^3\delta} \right)^{\frac{1}{\Delta - \delta} \left(1 - \frac{W}{F} \right)}. \quad (3)$$

Залежності μ та I од відносної вологості W/F для задернованого ґрунту відображені на мал. 2.



Мал. 2. Залежності μ та I од відносної вологості для задернованого ґрунту

кій підвищеній вологості ґрунтів пересування транспортних засобів значно ускладнюється.

Для оцінювання прохідності ґрунтів найкращими є результати досліджень В. І. Бірулі [2], якими встановлено взаємозв'язок між фізичними та механічними властивостями ґрунту. Такий взаємозв'язок описується узагальненим показником міцності (опором деформуванню) ґрунтової поверхні I , який залежить від відносної вологості й ступеня ущільнення ґрунту:

$$I = \frac{\delta_1}{W_{відн}^3},$$

де $\delta_1 = \frac{\delta}{\delta_F}$ – ступінь ущільнення ґрунту; δ – об'ємна маса скелета ґрунту в сухому стані, г/см³;

$\delta_F = \frac{\Delta(1-0,02)}{1+\Delta F}$ – об'ємна маса скелета ґрунту при верхній межі його пластичності, г/см³; Δ – питома

Користуючись наведеними графіками, визначимо глибини можливого прогрузання транспортного засобу при пересуванні в умовах важкосуглинкового ґрунту ($F=0,37$) по задернованій поверхні (табл. 3). Знаком ∞ у таблиці помічені результати обчислень, які суттєво перевищують значення кліренсу. Тиск P на поверхню становить відповідно 1; 2,5; 4,5 кг/см².

Отримані результати переведемо у графічну форму (мал. 4) що підтверджує теоретичні викладки. Якщо на мал. 3 нанести рівень кліренсу відповідної автомобільної техніки, то можна визначити вагову вологість важкосуглинкового ґрунту, що є граничною для прохідності конкретної техніки: для ЗІЛ-130 ця величина приблизно становить 19 %; для УАЗ-469 – 22 %; для КраЗ-255 – 36 %.

Таким чином, для того щоб визначити на місцевості зони прохідності для відповідного типу техніки, необхідно мати карту ґрунтів району дослідження з



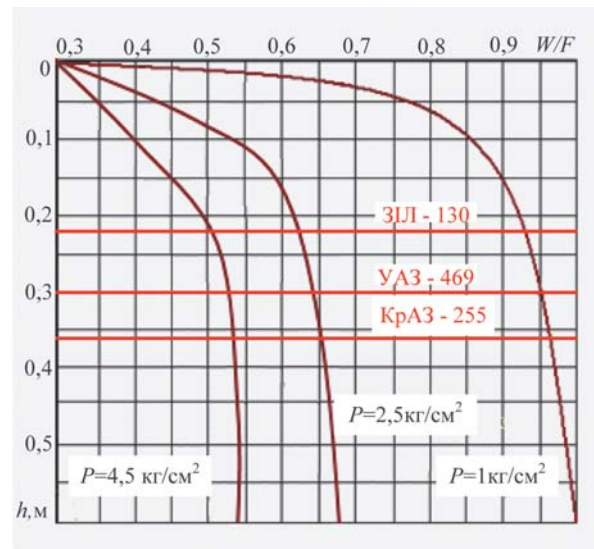
Таблиця 3. Глибина прогрузання транспортного засобу

F = 0,37; поверхня задернована				P = 1, кг/см ²	P = 2,5, кг/см ²	P = 4,5, кг/см ²
W	W/F	I, кг/см ²	μ	h, м	h, м	h, м
37	1,0	1,0	0,0	∞	∞	∞
35	0,95	1,1	0,08	0,304	∞	∞
30	0,81	1,8	0,21	0,061	∞	∞
25	0,68	3,1	0,33	0,032	0,521	∞
20	0,54	6,5	0,48	0,021	0,105	0,465
15	0,41	16,2	0,68	0,017	0,053	0,152

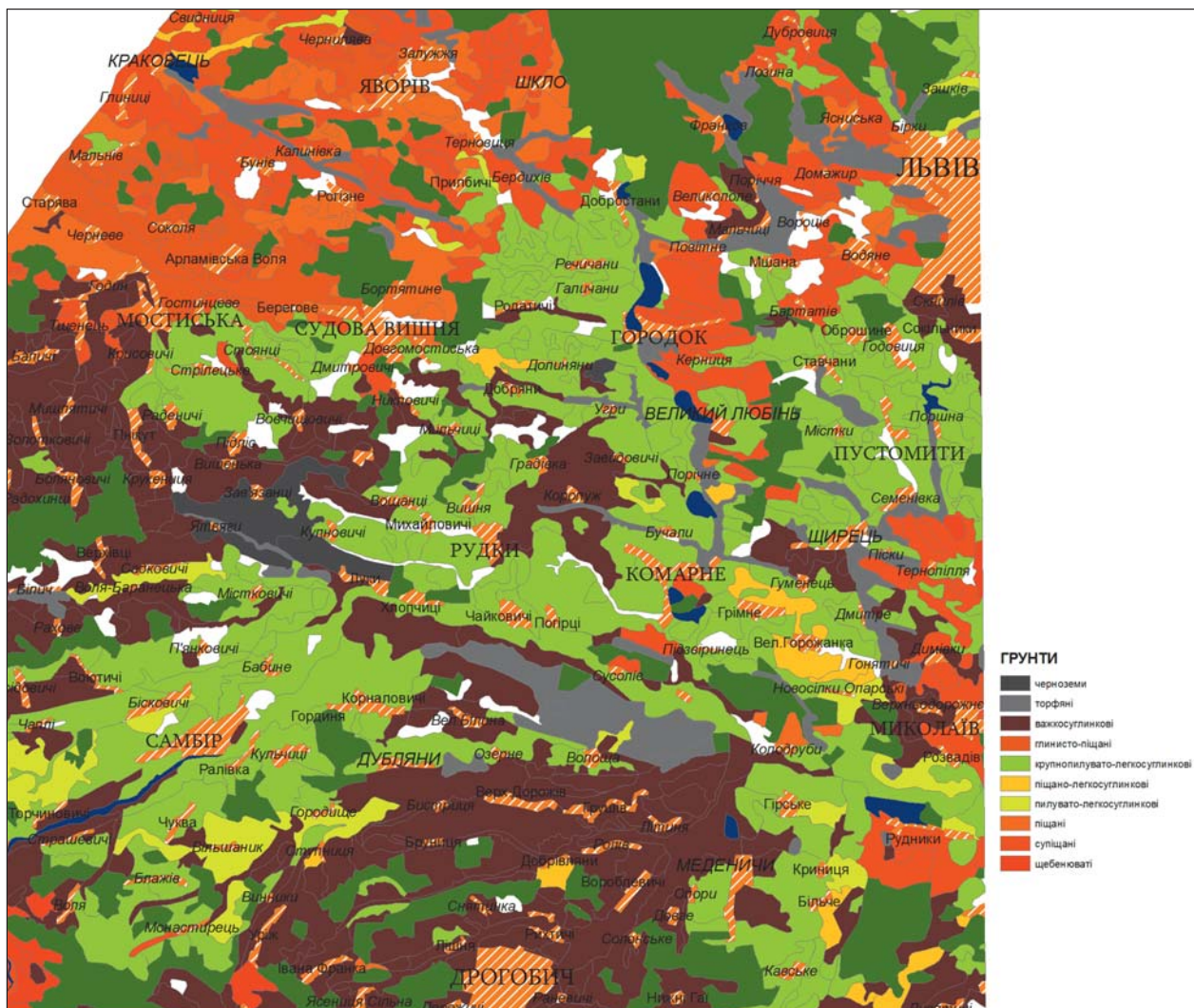
їх характеристиками і визначити розподіл вагової вологості на цій території.

Виберемо ділянку місцевості й визначимо на ній зони прохідності для автомобіля УАЗ-469. Спочатку відобразимо на ній склад ґрунтового покриву (мал. 4). Оскільки попередні викладки наведені для важкосуглинкових ґрунтів, то з усього їх різноманіття оберемо тільки ці ґрунти (мал. 5).

Методом дистанційного зондування визначаємо розподіл вологості на ділянці [7]. Теоретичним під-



Мал. 3. Залежність глибини прогрузання техніки од відносної вологості для задернованого ґрунту



Мал. 4. Карта ґрунтового покриву тестової ділянки місцевості



ґрунтам цього методу є специфічний характер спектрального відбиття рослинності й відкритого ґрунту у видимому, близькому інфрачервоному (NIR) та середньому інфрачервоному (SWIR) діапазонах, зумовлений саме відсутністю поглинання оптичного випромінювання водяною парою на хвилях 0,8-0,9 та 1,6-1,7 мкм. Для оцінювання вологості визначаються показники, що базуються на різницях коефіцієнтів спектрального відбиття ρ_0 поверхонь у видимому та інфрачервоному спектральних діапазонах.

Встановлено, що найвища кореляція із вологовмісністю ґрунту спостерігається для нормалізованого водного індексу NWI (Normalized Water Index):

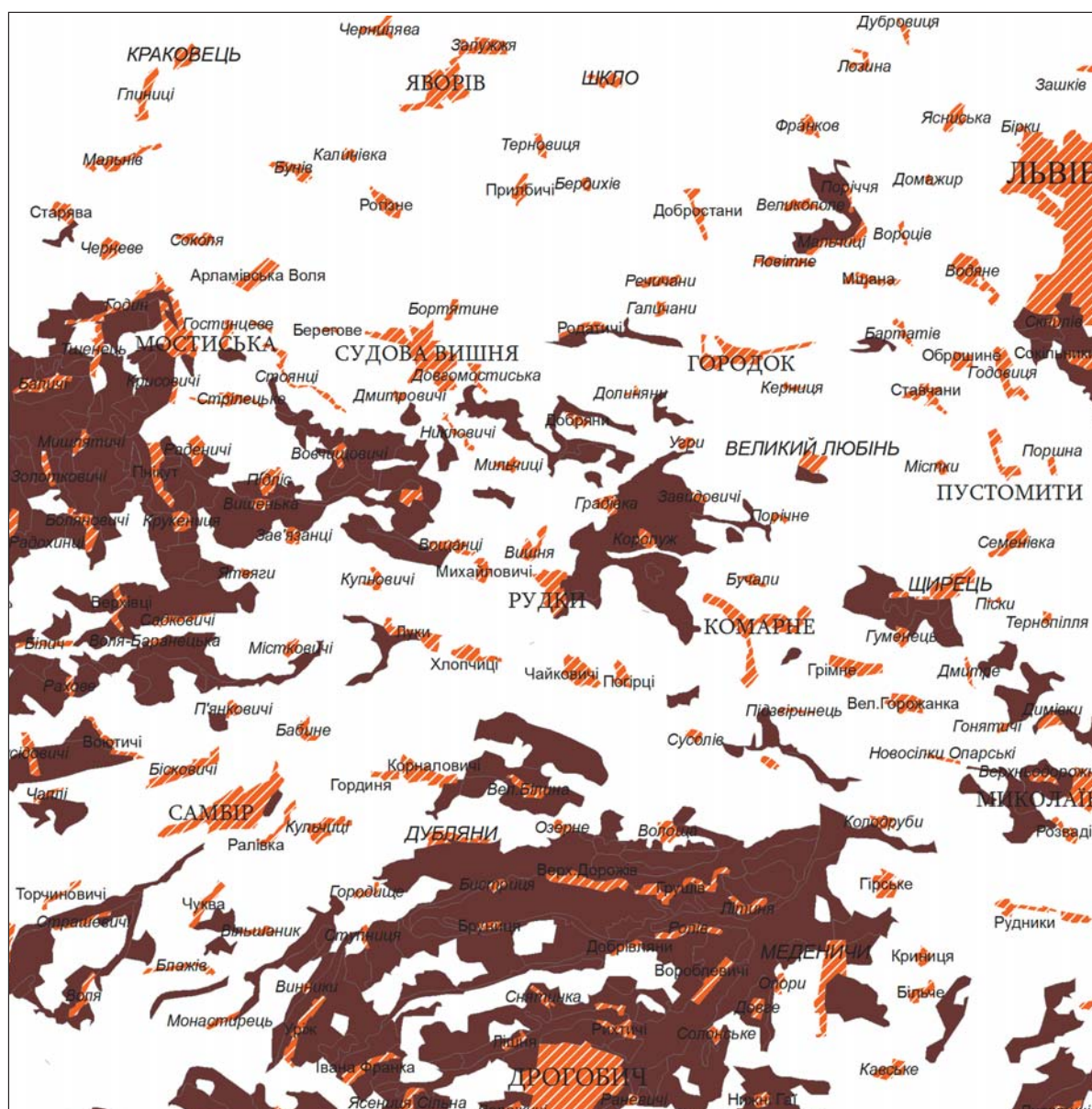
$$NWI = \frac{\rho_0(\lambda = 0,6 - 0,7 \text{ мкм}) - \rho_0(\lambda = 1,6 - 1,7 \text{ мкм})}{\rho_0(\lambda = 0,6 - 0,7 \text{ мкм}) + \rho_0(\lambda = 1,6 - 1,7 \text{ мкм})}$$

Для оцінювання зволоженості ґрунтового покриття залучались багатоспектральні космічні знімки з супутника Landsat-7 видимого та близького інфрачервоного спектральних діапазонів. Для цього сенсора попереднє співвідношення набуває вигляду:

$$NWI = \frac{\rho_0(\lambda = 0,545 - 0,565 \text{ мкм}) - \rho_0(\lambda = 1,628 - 1,652 \text{ мкм})}{\rho_0(\lambda = 0,545 - 0,565 \text{ мкм}) + \rho_0(\lambda = 1,628 - 1,652 \text{ мкм})}$$

де вказані довжини хвиль відповідають другому та п'ятому спектральним каналам супутника Landsat-7.

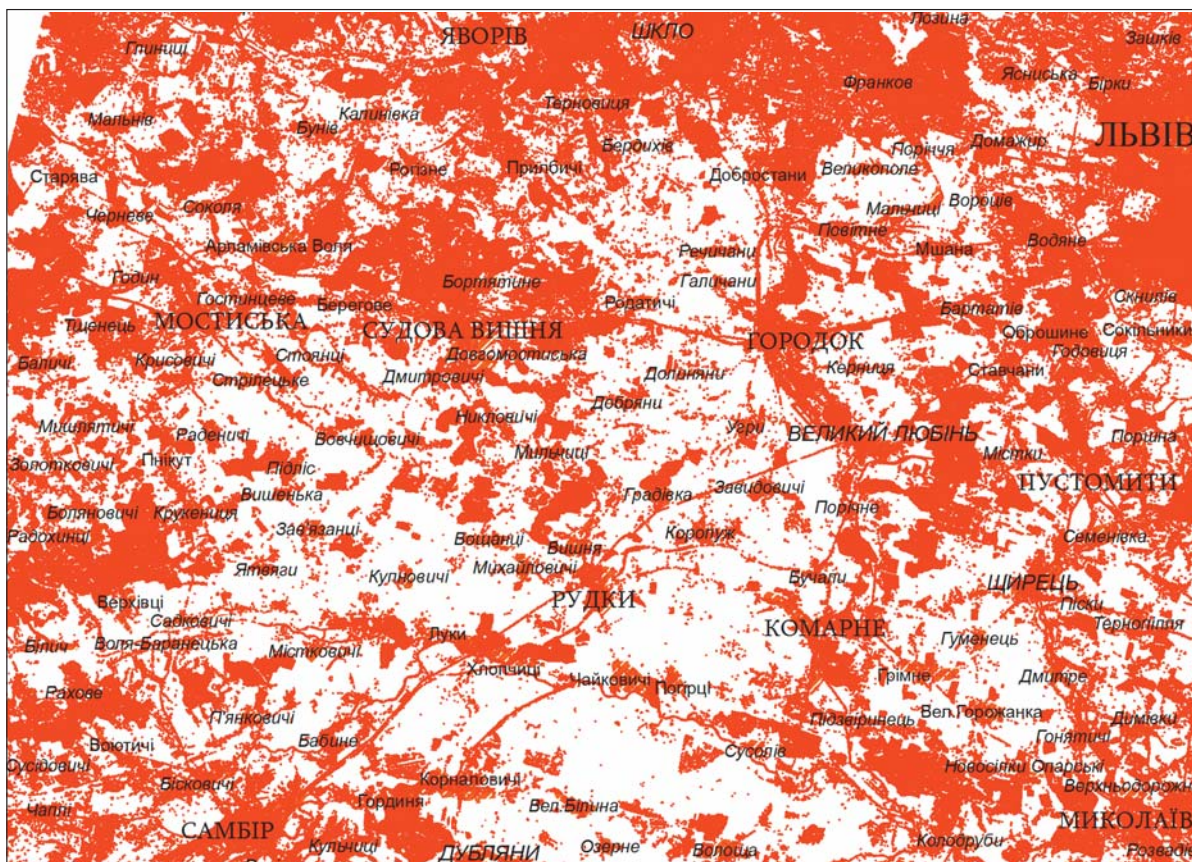
Вагову вологість ґрунту W можна визначати як функцію від NWI , і в першому наближенні пошук цієї залежності, як показують експериментальні дослідження в межах локальних ділянок, можна проводити, допускаючи її лінійний характер типу $W(NWI) = A \cdot NWI + B$.



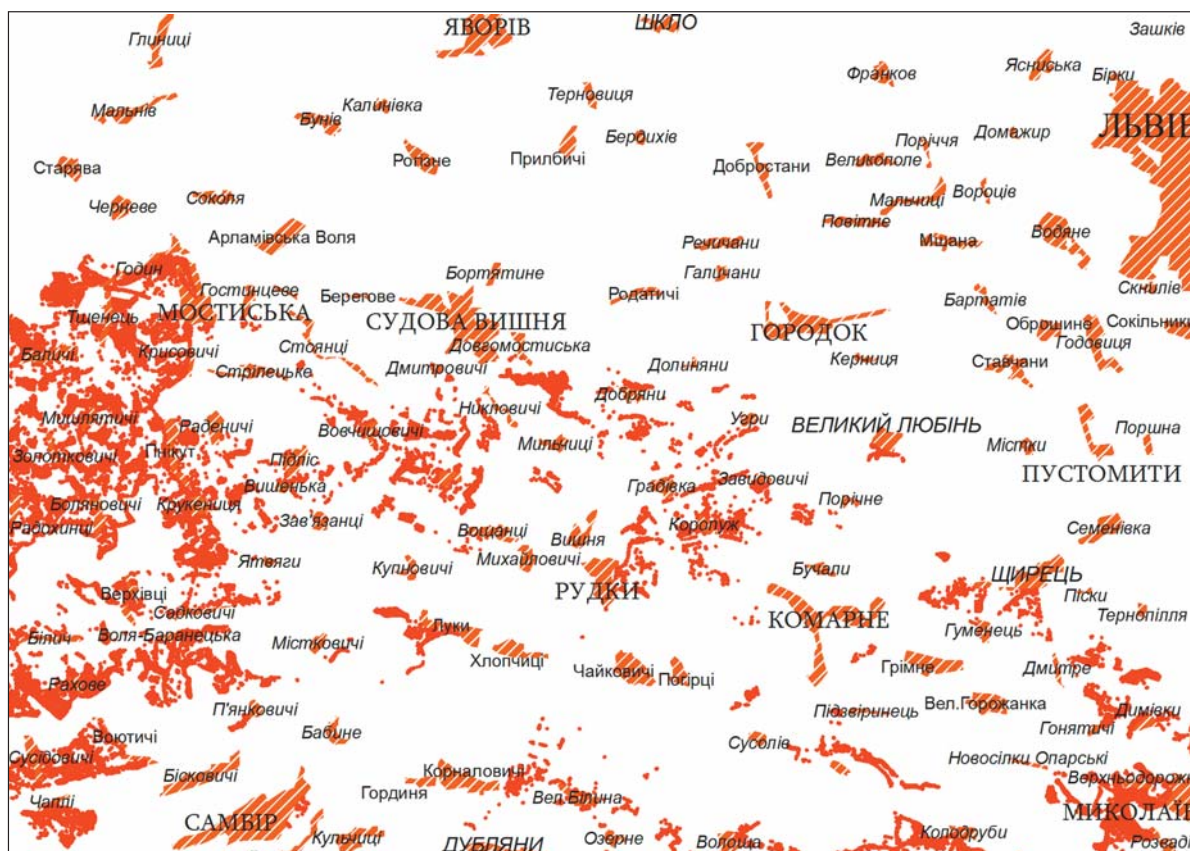
Мал. 5. Карта важкосуглинкових ґрунтів тестової ділянки місцевості



Мал. 6. Розподіл вологості на тестовій ділянці



Мал. 7. Відображення зон, де вологість перевищує 22 %



Мал. 8. Відображення зон непрохідності для автомобіля УАЗ-469

За наведеним алгоритмом проведено оброблення зображення із супутника Landsat-7 тестової ділянки місцевості для визначення вологонасиченості поверхні (мал. 6). Світлішими тонами на малюнку виділяються ділянки з високим вмістом води.

Визначимо зони з вологістю, вищою за 22 %, шляхом порогового оброблення гістограми її розподілу. Отриманий результат передає мал. 7.

Останнім кроком при визначенні зон прохідності місцевості є отримання функції пересічення між територіальним розподілом важкосуглинкових ґрунтів та зонами вологості, де вона вища за 22 %. Результат такого пересічення наведено на мал. 8, він і визначає зони прохідності для автомобіля УАЗ-469 у досліджуваному районі. Аналогічні дослідження можна провести і для автомобілів КраЗ-255 та ЗІЛ-130, задаючи вагову вологість 36 % і 19 % відповідно.

Висновки та перспективи дослідження. Таким чином, зроблено спробу в загальних рисах розглянути метод визначення зон прохідності місцевості для техніки сухопутних військ поза шляхами. Відмінністю цього методу від існуючих є визначення вологості ґрунтового покриву способом дистанційного зондування земної поверхні в різних спектральних діапазонах електромагнітних хвиль. Поєднання показників тактико-технічних характеристик військової техніки, властивостей ґрунтового покриву і результатів дистанційного визначення вологості земної поверхні дозволяє оперативно, практично в реально-

му масштабі часу, визначати зони прохідності місцевості для заданого типу військової техніки.

Однак запропонований метод потребує додаткових досліджень, передусім проведення вимірювань вологості ґрунтів на глибині й виявлення кореляції вимірів з результатами оброблення даних ДЗ для різних супутників, що надають гіперспектральні знімки. Крім того, у статті розглядається тільки статична складова прохідності (питомий тиск на ґрунт) і аж ніяк не аналізується вплив на неї тягових характеристик техніки. Наше дослідження має перспективу практичного впровадження, оскільки досі питання залежності несних характеристик ґрунтового покриву від вологості не враховувалось під час аналізу тактичних характеристик місцевості, тому що не існувало методів оперативного визначення вологості ґрунтового покриву на великих територіях.

Література

1. Бабков, В.Ф. Проходимость колесных машин по грунту [Текст] / В.Ф. Бабков, А.К. Бируля, В.Н. Сиденко // – М.: Автодориздат, 1959. – 189 с.
2. Бируля, В.И. Опыт установления обобщенного показателя физико-механических свойств грунта [Текст] / В.И. Бируля // Тр. ХАДИ. – Х.: Изд-во ХГУ, 1958. – Вып. 21. – С. 39-45.



3. *Иваньков, П.А.* Местность и ее влияние на боевые действия войск [Текст] / П.А.Иваньков, Г.В. Захаров. – М.: Воениздат, 1969. – 207 с.

4. *Міхно, О.Г.* Військова топографія [Текст] : підручник / О.Г. Міхно, С.Г. Шмаль. – К.: Вид.-полігр. центр "Київський університет", 2008. – 384 с.

5. *Міхно, О.Г.* Оперативне визначення зон прохідності місцевості для бойової техніки сухопутних військ [Текст] / О.Г. Міхно, В.А. Рябов: зб. наук. пр. Військ. ін-ту Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2009. – Вип. 20. – С. 280-283.

6. *Міхно, О.Г.* Визначення умов прохідності місцевості для військової техніки поза шляхами [Текст] / О.Г. Міхно, В.А. Рябов // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. Зах. геодез. т-ва УТГК. – Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2010. – Вип. I. – С. 115-119.

7. *Сахацький, О.І.* До можливостей оцінювання зволоженості земного покриття за багатоспектральними космічними зображеннями оптичного діапазону на прикладі території України [Текст] / О.І. Сахацький, С.А. Станкевич // Доп. НАНУ. – 2007. – № 11. – С. 122-129.

8. *Федосов, А.П.* Использование данных зондирования для определения глубины колеи и сопротивления движению колесного движителя внедорожных транспортных средств при прямолинейном движении по деформируемому грунту [Текст] / А.П. Федосов // Изв. ВУЗов. Машиностроение. – 1997. – № 1. – С. 75-79.

9. *Du, Y.* Sensitivity to soil moisture by active and passive microwave sensors [Text] / Y. Du, F.T. Ulaby, M.C. Dobson // IEEE Trans. On Geosci. And Rem. Sensing. – 2000. – 38. – P. 105-114.

Надійшла 20.06.11

* * *

КАЛЕНДАР ПОДІЙ

Назва заходу	Дата і місце проведення	Веб-сайт
25-та Міжнародна картографічна конференція та 15-та Генеральна асамблея Міжнародної картографічної асоціації	3-8 липня 2011 р., м. Париж (Франція)	http://www.icc2011.fr
XXIV Міжнародна конференція з історії картографії	10-15 липня 2011 р., м. Москва (Росія)	http://www.ichc2011.ru/
XX Міжнародний науково-методичний семінар "Сучасні проблеми безперервної географічної освіти і картографії"	12-16 вересня 2011 р., м. Харків	тел. (057) 707-54-79, 707-55-60, 707-53-60
XXV Всепольська конференція з історії картографії	15-17 вересня 2011 р., м. Познань (Польща)	http://www.kartografia.amu.edu.pl
INTERGEO-2011	27-29 вересня 2011 р., м. Нюрнберг (Німеччина)	http://www.intergeo.de/en/englisch/index.php
Сьома Міжнародна конференція "Картографія та геоінформатика"	14-16 вересня 2011 р., м. Спліт (Хорватія)	www.kartografia.hr
Міжнародний симпозіум з глобальних супутникових систем	10-11 жовтня 2011 р., м. Берлін (Німеччина)	http://www.eupos.org
Франкфуртський книжковий ярмарок	12-16 жовтня 2011 р., м. Франкфурт-на-Майні (Німеччина)	http://www.buchmesse.de
Міжнародна конференція із супутникових навігаційних систем	26-28 жовтня 2011 р., м. Пекін (Китай)	http://www.china-satelite.org
Дев'ята Всеросійська відкрита конференція "Сучасні проблеми дистанційного зондування Землі з космосу"	14-18 листопада 2011 р., м. Москва (Росія)	olavpova@iki.rssi.ru
Восьмий Міжнародний симпозіум з навігаційного сервісу	21-23 листопада 2011 р., м. Відень (Австрія)	http://ibs.2011.org
П'ята Міжнародна конференція "Земля з космосу – найефективніші рішення"	28 листопада – 1 грудня 2011 р., м. Москва (Росія)	www.scanex.ru
17-та Конференція Інтеркарто / ІнтерГІС "Сталий розвиток територій"	14-15 грудня 2011 р., Білокуриха (Алтай, Росія); 18-19 грудня 2011 р., Денпасар (о. Балі, Індонезія)	argo.sfedu.ru/content/interkarto-intergis17