

**Рис.3** - Функция распределения облачности для 11.08.2002г. (ориентация и координатная сетка совпадают с рис.1).

Естественно, что функция распределения облачности по скоростям вовлечения (рис.3) позволяет получить информацию о локализации процессов конденсации с выделением скрытой теплоты, которые осуществляют энергетическую поддержку солитона, как отдельной волновой структуры.

Стационарирование этой структуры в географическом пространстве как раз и определяется местом реализации скрытой энергии.

#### Выводы

Результаты численных экспериментов показывают, что для образования волны солитонного типа необходима парная волновая структура на базе волн Росби. Трансформация волны Росби в солитон Росби происходит при наличии в процессе двух равноценных, но противоположных по вращению, вихревых образований. При этом, одному вихревому образованию, например, антициклонического вращения, могут противостоять несколько циклонических вихрей, но в своей сумме равных основному антициклоническому вихрю. Диагноз таких процессов позволит существенно дополнить прогноз синоптических ситуаций блокирования зонального переноса в плане локализации районов с аномальными поступлениями влаги.

#### Источники и литература

1. Блинова Е.Н. Гидродинамическая теория волн давления, температурных волн и центров действия атмосферы. // Доклад АН СССР. – 1943. – Т.39. – №7. – С.284–287.
2. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. // Л.: Гидрометеоиздат. – 1971. – 280с.
3. Ефимов В.А., Ивус Г.П., Грушевский О.Н. Учет влагооборота в моделях климата Адема и Блиновой Е.Н. // Культура народов Причерноморья. – 2004. – №51. – С.13-19.
4. Ефимов В.А., Ивус Г.П. О физике антициклогенеза современной климатической эпохи // Труды УкрНИГМИ. – 2002. – Вып.250. – С.78–91.
5. Мартазинова В.Ф., Свердлик Т.А. Изменения крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха на протяжении XX века и ее влияние на погодные условия и региональную циркуляцию воздуха в Украине // Украинский географический журнал. – 2001. – №2. – С.28–34.
6. Bodri L., Cermak V. High frequency variability in recent climate and the North Atlantic Oscillation // Theoretical and applied climatology. – 2003. – V.74. – P. 33–40.
7. Hurrell J.W., Kushnir Y., Visbeck M., Ottensen G. An Overview of the North Atlantic Oscillation. The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact // American Geophysical Union Monograph. – 2003. – V.134. – P. 1–35.

**Мамницький В.І., Черваньов І.Г.**

#### **УТОЧНЕННЯ АНАЛІЗУ ОПТИЧНОГО ОБРАЗУ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ЧЕРЕЗ УРАХУВАННЯ НЕОРТОТРОПНОСТІ ВІДБИТТЯ**

**Вступ.** Дистанційне оптичне зондування, яке тепер широко здійснюється з аерокосмічних носіїв переважно у цифровому вигляді, є одним з найважливіших засобів дослідження земної поверхні. За його допомогою вирішуються різноманітні завдання в інтересах цілого комплексу землезнавських дисциплін: географії, геології, гідрології, а також сільського, лісового господарства й військової справи. Важливе значення має його використання для моніторингу природних ресурсів та охорони природи.

В Україні дослідження такого спрямування мають певну історію і суттєвий доробок. В роботі [1] представлено огляд стану і перспектив космічних досліджень Землі в нашій країні. Окремою гілкою таких досліджень є вивчення можливостей відтворення рельєфу за його оптичним образом, а також побудови оптичного образу за цифровою моделлю рельєфу (зворотна задача щодо прямої – першої з названих).

Авторами цієї статті понад 20 років тому було запроваджене поняття оптичного образу рельєфу як ві-

зуального аналога реального рельєфу або певного його відображення, котре дає можливість вирішувати низку задач автоматизованого розпізнавання, картографування, синтезування вигляду недоступної поверхні або ж її компактного запису. Деякі з таких можливостей нещодавно описано у роботі [2].

**Постановка задачі.** Маємо однозначно розуміти основні поняття щодо оптичної характеристики земної поверхні і її відображень.

Освітленість поверхні визначається як кількість короткохвильової сонячної енергії, що надходить на одиницю площі миттєво (диференціальна освітленість або за певний час (інтегральна). Освітленість визначається двома групами чинників. Перша – це астрономічні чинники, що характеризуються положенням Сонця на небосхилі та режимом освітлення, спричиненим широтою місця й порою року. Друга група чинників – це телуричні властивості. Вони стосуються стану атмосфери у даній місцевості, а також площадки, що сприймає радіацію (тобто зовнішньою геометрією рельєфу). У будь-якій точці поверхні освітленість формується трьома потоками сонячної радіації. Перший, основний – це пряма радіація. Вона є найбільш чутливою щодо згаданих чинників. Другий – це розсіяна, або дифузна радіація – світло від небосхилу. Нарешті, третя, суттєва лише за наявності вираженого рельєфу – світло, відбите іншими схилами на даний схил земної поверхні. Зрозуміло, що вона визначається внутрішньою геометрією рельєфу та відбивною здатністю поверхні, про яку мова буде нижче.

Освітленість спостерігається безпосередньо на поверхні, і вимірюється за допомогою відомих приладів. За однакових астрономічних умов, освітленість дає найбільш повну характеристику оптичних властивостей рельєфу, створюючи його *оптичний образ*.

Дистанційно освітленість сприймається у перетвореному вигляді. Її певним аналогом є яскравість земної поверхні. Надалі вважатимемо, що освітленість фіксована, і пояснимо спосіб формування нею яскравостей.

Перш за все, яскравість визначається відбивною здатністю поверхні. Відношення відбитої радіації до освітленості є альbedo. Альbedo є основним диференціатором яскравостей, бо воно коливається у межах, що перевищують варіабельність інших оптичних властивостей. Отже, через різне альbedo картина розподілу яскравостей стає більш строкатою, аніж співвідношення освітленостей. У той же час і саме через це, яскравості мають високу інформаційну значущість, коли йдеться про земні покриви з оптичної точки зору і їх дешифрування. Яскравість створює величину оптичного сигналу (*оптичну щільність*) і досліджується, зокрема за допомогою статистичних діаграм.

Зазвичай, мовчки вважається, що земна поверхня відбиває однаково у будь-якому напрямі і незалежно від кута падіння сонячного променя, тобто начебто має *ортотропну оптичну властивість*. У багатьох задачах аналізу такого припущення буває досить. Графік, що характеризує ортотропність – індикатриса розсіювання – для ортотропної поверхні утворює напівсферу відносно площини, що сприймає й віддзеркалює сонячні промені (Рис. 1,а).

Але коли йдеться про підвищення точності аналізу оптичного образу рельєфу, виникає досить складна задача вияву й урахування *неортотропності*, тобто здатності земних покривів відбивати промені світла з різною інтенсивністю у різних напрямках: по-перше, щодо кута падіння сонячного променя прямої радіації, по-друге – відносно положення спостерігача. Деякі випадки неортотропності є загальновідомими. Їх можна побачити на рис. 1,б-в. Наведемо приклади. Перш за все, це властивості водної поверхні. Саме через неортотропність нам візуально здається, що вода нібито відбиває світло наче дзеркало, хоча фахівцям відомо, що за високого стояння Сонця над горизонтом вона практично повністю поглинає світло, віддзеркалюючи при низькому стоянні Сонця. Другим прикладом неортотропності є поверхня снігу, особливо такого, що вкритий коркою насту. Якщо вдатися до аналізу різних поверхонь відбиття, то з'ясується, що ортотропність є лише окремим випадком більш загальної властивості неортотропності. Надалі, дослідження впливу неортотропності певних типів буде кінцевою задачею цього дослідження.

Яке це має значення, особливо з географічної точки зору? Досить таки значне. Адже неортотропність збагачує уявлення про дійсну яскравість поверхні. Саме вона є найбільш інформативним показником пластики рельєфу, а також стану підстелюючої поверхні в цілому. Особливо це важливо у випадках, коли дослідження оптичного образу поверхні здійснюється автоматично, і оператор не в змозі корегувати процес. Саме в таких випадках необхідно запроваджувати відповідні алгоритми, але їх розробка потребує створення відповідних моделей неортотропності різних поверхонь.

**Постановка й стан проблеми.** На спектральні яскравості об'єктів, які визначаються дистанційними методами, впливають склад і структура самої речовини, а також умови зйомки. Тому при визначенні відбивних характеристик природних утворень необхідно враховувати умови освітленості досліджуваних ділянок, перш за все трансформацію падаючої і відбитої радіації рельєфом місцевості, та яскравість поверхні, що спричинюється різним альbedo рослинності. Яскравість поверхні при анізотропному відбитті буде залежати від освітленості, типу індикатриса розсіювання, а також від напрямку спостереження, котрим визначається кут сприйняття датчиком оптичного сигналу. Особливо складна ситуація виникає при зйомці гірських і сильно розчленованих територій, де значно змінюється освітленість схилів і напрямом відбитих променів.

Природні об'єкти, відбиваючи сонячну радіацію, котра на них падає, трансформують її таким чином, що у відбитому спектральному сигналі закодована специфічна інформація, яка характеризує дані об'єкти. На це, власне, спирається дешифрування оптичного сигналу, що надходить до приймача від датчика, що фіксує яскравість підстелюючої поверхні. П. Кронберг [3] слушно зауважує, що "спектральний сигнал, який іде від поверхні гірської породи, ґрунту або рослинності, насамперед несе інформацію про зв'язок

між речовиною та умовами зйомки і тільки потім про специфіку самої речовини”. Однак цим питанням при обробці космічних знімків приділяється ще недостатньо уваги, відповідні корекції часто не проводяться.

Наприклад, у роботі [4] аналізуються різноманітні методи дешифрування ландшафтних систем за космічними знімками, описується пошук різних діагностичних ознак, оптимальний набір яких дозволить застосовувати автоматичні комп’ютерні методи при ідентифікації ландшафтів. Відзначається, що великими інформаційними можливостями володіють фізіономічність і гістограми розподілу яскравості або оптичної щільності зображень (для них розраховуються середнє значення, дисперсія, коефіцієнт асиметрії). Для опрацювання методики проводились дослідження на тестових ділянках ландшафтів західної України. В цілому, метод себе виправдав. Однак, іноді ландшафтні одиниці одного типу (мова йде про лісофізіономічні ландшафти) в гірській місцевості та на рівнині мають різні статистичні характеристики розподілу яскравостей. Це пояснюється різними умовами зростання та різним породним складом деревостоїв. Також причиною таких відмінностей можуть бути різні геометричні умови зйомки, що в даному випадку не враховувались.

Очевидно, що зображення на космічних знімках навіть зовсім однотипних рослинних ділянок на рівнині і на пагористій або гірській місцевості будуть мати різні статистичні характеристики оптичної щільності. У той же час, однакові рослинні умови, притаманні різним елементам рельєфу, створюють неоднакові яскравості відбивної поверхні.

Для ідентифікації типів рослинності автори згадуваної роботи користуються аналізом гістограм оптичної щільності зображення. З огляду на зазначену обставину, такі гістограми одного й того ж таки типу рослинного покриття стають різними, що заперечує саму можливість його ідентифікації за таких умов – різних для двох ділянок.

Треба зазначити, що до цього додається залежність віддзеркаленого сигналу від індикатрисы розсіювання. Ця залежність призводить до того, що не лише величина сигналу, але й статистичний розподіл яскравостей змінюються в залежності, по-перше, від кута падіння сонячного променя, по-друге, від орієнтації елементарної площини віддзеркалення й, по-третє, від кута сприйняття сигналу, тобто від геометричних умов зйомки.

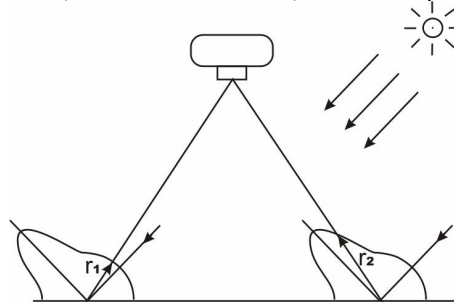
Основна теза, котру мають довести автори, полягає у тому, щоб замість статистичного аналізу гістограм оптичної щільності зображення обчислювати й досліджувати *спектральні яскравості поверхні*, котрі саме й становлять *оптичний образ поверхні*.

Таким чином, щоб підвищити достовірність результатів дешифрування даних дистанційного зондування Землі, необхідно розробити методику визначення спектральних яскравостей поверхні у якості незалежних від неортоотропності розсіювання інваріантних оптичних характеристик природних об’єктів.

Далі можливі два сюжети. Перший: якщо потрібно відтворити рельєф за оптичною моделлю поверхні, то необхідно виключити вплив відмін у оптичних яскравостях ділянок, різних за відбивною здатністю (альбедо), тобто змоделювати оптично однорідну поверхню. У такому разі її яскравості будуть функцією просторового положення елементарних поверхонь відбиття. Одними з перших дослідження по впливу рельєфу на оптичні характеристики природних витворів почали проводитись в ХНУ [5,6].

Другий сюжет: необхідно визначити гістограми оптичної яскравості різних за оптичними властивостями ділянок поверхні. У такому разі, потрібна елімінація оптичного впливу рельєфу шляхом топографічної корекції дистанційної інформації. Останнім часом з’являються статті, в котрих розробляються методи топографічної корекції даних дистанційного зондування. Наприклад, результати таких досліджень наведені в [7,8]. Однак описані методи базуються на припущенні ортоотропного розсіювання на підстилаючій поверхні.

Наші попередні дослідження показали, що в обох випадках необхідно, як вже зазначалося, враховувати індикатрису розсіювання, бо її особливості здатні значно змінювати яскравість об’єктів при зміні геометрії спостереження. З наведеної схеми (рис. 1) видно, як впливає неортоотропність відбиття на яскравість оптично однорідної поверхні. Видно, що різні частини поверхні, в залежності від співвідношення кутів освітлення і спостереження, виглядають як такі, що мають різну яскравість.



**Рис.1.** Вплив неортоотропності (показана індикатрисою відбиття) на яскравість оптично однорідної поверхні, що виглядає як неоднорідна.

Ігнорування вигляду індикатрисы відбиття може призводити до неточностей, а іноді - до грубих помилок в інтерпретації матеріалів дистанційного оптичного зондування.

На кафедрі географічного моніторингу та охорони природи ХНУ розроблено теорію оптичного образу

рельєфу (ООР), на базі якої створені методи корекції оптичних характеристик природних об'єктів, які отримуються по результатам аерокосмічної зйомки. У них враховуються випадки як ортотропного, так і неортотропного розсіювання.

**Мета.** Щоб проводити корекцію яскравостей, а також досліджувати вплив типу індикатриси на яскравість природних утворень, яка передається щільністю оптичного сигналу, необхідно мати можливість виражати індикатрису відбиття в аналітичному вигляді. Це дозволить розробляти необхідні розрахункові методи корекції космічних знімків.

В даній статті ми розглянемо способи апроксимації типових індикатрис відбиття та отримаємо відповідні аналітичні формули.

**Методологія дослідження.** В природі існує три основних типи відбиття, які показані індикатрисами на рис. 2.

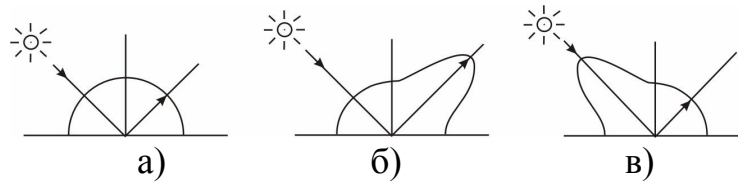


Рис.2. Основні типи індикатрис (площине відображення тривимірного тіла): а) ортотропна; неортотропні: б) витягнута у напрямі відбитого променя, в) витягнута у напрямі джерела освітлення.

В подальших розрахунках ми скористуємося такими припущеннями, котрі спрощують і водночас обмежують задачу:

- альbedo підстилаючої поверхні, що відбиває промені, при всіх типах індикатрис вважається за однакове.
- Індикатриси (б) та (в) симетричні щодо осей падаючого та відбитого променів відповідно.
- зі зміною кута падіння сонячних променів неортотропність залишається сталою, тому вигляд індикатриси не змінюється.

Для того, щоб виразити витягнуту тривимірну індикатрису в аналітичному вигляді, будемо апроксимувати її еліпсоїдом обертання або сполученням еліпсоїда обертання і частини напівсфери.

Спочатку розглянемо апроксимацію індикатриси тільки поверхнею еліпсоїда обертання. На рис. 3 показаний перетин еліпсоїда розсіювання площиною  $yOz$  при нормальному падінні радіації на площадку (пунктиром показана ортотропна індикатриси).

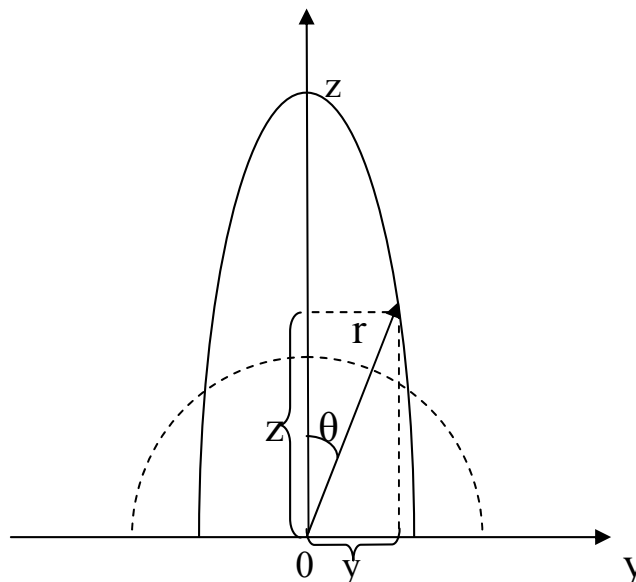


Рис. 3. Перетин індикатриси площиною  $yOz$  (апроксимація еліпсом обертання)

Відрізок  $r$  пропорційний яскравості площадки в напрямку кута розсіювання  $\theta$ , який будемо відлічувати від великої напіввісі еліпсоїда.

Щоб знайти довжину відрізка  $r$  (або яскравості в даному напрямку), скористаємося у такий спосіб. Складемо систему:

$$\begin{cases} \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \\ z = \operatorname{ctg} \theta \cdot y \end{cases} \quad (*)$$

де перше рівняння являє собою рівняння еліпса в координатах  $yOz$ , а друге – рівняння відрізка  $g$ . Розв'яжемо систему (\*) відносно  $y$ .

$$\begin{aligned} \frac{y^2}{a^2} + \frac{(\operatorname{ctg} \theta \cdot y)^2}{c^2} &= 1 \\ \frac{y^2}{a^2} + \frac{\operatorname{ctg}^2 \theta \cdot y^2}{c^2} &= 1 \\ y^2 \left( \frac{1}{a^2} + \frac{\operatorname{ctg}^2 \theta}{c^2} \right) &= 1 \\ y &= \frac{ac}{\sqrt{c^2 + a^2 \operatorname{ctg}^2 \theta}} \end{aligned}$$

А довжину відрізка  $g$  знайдемо за формулою:

$$r = \frac{y}{\operatorname{Sin} \theta} = \frac{ac}{\sqrt{c^2 + a^2 \operatorname{ctg}^2 \theta} \cdot \operatorname{sin} \theta} \quad (1)$$

Представимо її в трохи перетвореному вигляді:

$$r = \frac{ac}{\sqrt{c^2 \operatorname{sin}^2 \theta + a^2 \operatorname{cos}^2 \theta}} = \frac{a}{\sqrt{\operatorname{sin}^2 \theta + \frac{a^2}{c^2} \operatorname{cos}^2 \theta}}$$

Беручи до уваги, що  $\frac{a}{c} = k$  є стиснення еліпсоїда, запишемо

$$r = \frac{kc}{\sqrt{\operatorname{sin}^2 \theta + k^2 \operatorname{cos}^2 \theta}}$$

або

$$r = \frac{kc}{\sqrt{1 + (k^2 - 1) \operatorname{cos}^2 \theta}} \quad (2)$$

Ми отримали аналітичний вираз для визначення яскравості площадки в будь-якому напрямку. Так як  $c$  – велика напіввісь еліпсоїда, або яскравість  $B(0) = B(\theta \approx 0^0)$  площадки при куті розсіювання  $\theta \approx 0^0$ , то формулу (2) можна переписати у вигляді:

$$B(\theta) = \frac{kB(0)}{\sqrt{1 + (k^2 - 1) \operatorname{cos}^2 \theta}} \quad (3)$$

Розділивши праву і ліву частини рівняння (3) на  $B(0)$ , одержимо:

$$f(\theta) = \frac{B(\theta)}{B(0)} = \frac{k}{\sqrt{1 + (k^2 - 1) \operatorname{cos}^2 \theta}} \quad (4)$$

де  $f(\theta)$  – індикатриса відносної яскравості, що виражає розподіл яскравості в просторі у відносних одиницях.

Яскравість у довільному напрямку  $\theta$  можна записати в такому вигляді:

$$B(\theta) = B(0)f(\theta) \quad (5)$$

Тепер нам треба знайти аналітичний вираз для яскравості  $B(0)$ .

Запишемо вираз для потоку радіації, відбитої площадкою в усіх напрямках

$$\Phi = \int_{\Omega} I d\omega \quad (6)$$

Де  $I$  – сила відбитого світла. Виразивши силу світла через яскравість площадки  $B(\theta)$ , і з огляду на те, що  $d\omega = \operatorname{Sin} \theta d\theta da$  ( $a$  – азимутальний кут), одержимо

$$\Phi = \int_0^{2\pi} da \int_0^{\pi/2} B(\theta) S \cos \theta \sin \theta d\theta$$

де  $S$  – площа елемента, що відбиває. Так як розподіл яскравості в просторі симетричний по  $\alpha$ , то ми можемо відразу проінтегрувати по цій змінній

$$\Phi = 2\pi \int_0^{\pi/2} B(\theta) S \cos \theta \sin \theta d\theta \quad (7)$$

Для ортотропної індикатриси  $B(\theta) = B_0 = \text{const}$ , тоді

$$\Phi_0 = 2\pi B_0 S \int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta d\theta = \pi B_0 S \quad (8)$$

При неортотропному відбитті замість  $B(\theta)$  підставимо вираження (3)

$$\Phi = 2\pi k B(O) S \int_0^{\pi/2} \frac{\cos \theta \sin \theta d\theta}{\sqrt{1 + (k^2 - 1) \cos^2 \theta}}$$

Зробимо підстановку змінної [8]

$$t = \cos \theta \\ dt = -\sin \theta d\theta$$

тоді

$$\Phi = 2\pi k B(O) S \int_1^0 \frac{-tdt}{\sqrt{1 + (k^2 - 1)t^2}} = \pi k B(O) S \int_0^1 \frac{d(t)^2}{\sqrt{1 + (k^2 - 1)t^2}}$$

Після обчислення інтегралу отримуємо, що при неортотропному розсіюванні відбитий потік дорівнює

$$\Phi = \frac{2\pi k B(O) S}{k + 1} \quad (9)$$

Так як, за умовою, альbedo при ортотропному і неортотропному відбитті однакове, то і потоки (8) і (9) рівні поміж собою.

$$\Phi = \Phi_0 \\ \frac{2\pi k B(O) S}{k + 1} = \pi B_0 S$$

Звідси

$$B(O) = \frac{B_0(k + 1)}{2k} \quad (10)$$

Тоді яскравість неортотропної площадки в довільному напрямку дорівнює:

$$B(\theta) = \frac{B_0(k + 1)}{2k} f(\theta) \quad (11)$$

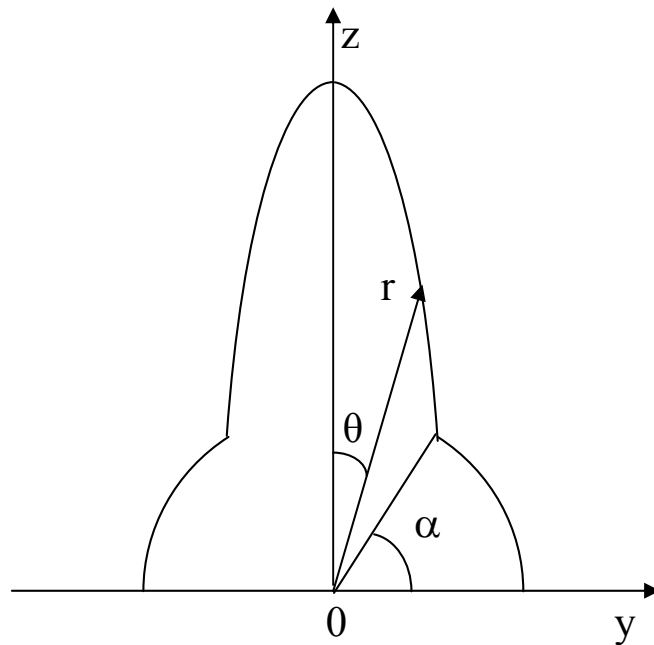
Виражаючи яскравість  $B$  через освітленість  $E$  і замінюючи  $f(\theta)$  по (4), одержуємо:

$$B(\theta) = \frac{E\rho(k + 1)}{2\pi\sqrt{1 + (k^2 - 1)\cos^2 \theta}} \quad (12)$$

Це і є шукана індикатриси в аналітичному вигляді.

Тепер розглянемо другий, більш точний варіант апроксимації індикатриси відбиття, а саме будемо апроксимувати індикатрису еліпсоїдом обертання і частиною напівсфери. Знайдемо формулу, що виражає розподіл яскравості в просторі в цьому випадку.

Перетин індикатриси площиною  $uOz$  тепер буде мати вигляд, представлений на рис. 4.



**Рис. 4.** Перетин індикатриси площиною  $yOz$   
(апроксимація за допомогою еліпсоїда обертання і частини напівсфери).

Відбитий потік можна розбити на дві складові

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$$

$\Phi_1$  – потік, що відповідає зоні еліпсоїда;

$\Phi_2$  – потік, що відповідає напівсфері.

Зробивши заміну змінної

$$t = \cos \theta$$

$$dt = -\sin \theta d\theta$$

і ввівши новий параметр  $\beta = \cos \alpha$ , котрий, поряд зі стисненням еліпсоїда  $k$ , буде характеризувати форму нової індикатриси відбиття, ми одержимо

$$\Phi_1 = 2\pi k B(O) S \int_0^{\pi/2 - \alpha} \frac{\cos \theta \sin \theta d\theta}{\sqrt{1 + (k^2 - 1) \cos^2 \theta}}$$

$$\Phi_1 = 2\pi k B(O) S \int_{\sqrt{1 - \beta^2}}^1 \frac{t dt}{\sqrt{1 + (k^2 - 1)t^2}}$$

Після обчислення інтегралу отримуємо

$$\Phi_1 = \frac{2\pi k B(O) S \left[ k - \sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)} \right]}{k^2 - 1} \quad (13)$$

Тепер визначимо потік  $\Phi_2$ :

$$\Phi_2 = 2\pi \int_{\pi/2 - \alpha}^{\pi/2} B(\theta) S \cos \theta \sin \theta dt \quad (14)$$

У даному випадку

$$B(\theta) = \frac{kB(O)}{\sqrt{1 + (k^2 - 1) \cos^2(\frac{\pi}{2} - \alpha)}} = const$$

$$\cos^2(\frac{\pi}{2} - \alpha) = \sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha = 1 - \beta^2$$

$$B(\theta) = \frac{kB(O)}{\sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)}} \quad (15)$$

Підставимо (15) у (14)

$$\Phi_2 = \frac{2\pi kB(O)S}{\sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)}} \int_{\pi/2-\alpha}^{\pi/2} \cos\theta \sin\theta d\theta$$

$$\int_{\pi/2-\alpha}^{\pi/2} \cos\theta \sin\theta d\theta = \frac{1 - \cos^2\alpha}{2} = \frac{1 - \beta^2}{2}$$

тоді

$$\Phi_2 = \frac{\pi kB(O)S(1 - \beta^2)}{\sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)}} \quad (16)$$

А повний потік дорівнює

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$$

$$\Phi = \frac{2\pi kB(O)S(k - \sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)})}{k^2 - 1} + \frac{\pi kB(O)S(1 - \beta^2)}{\sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)}}$$

Опускаючи проміжні обчислення, запишемо:

$$\Phi = \frac{\pi kB(O)S[2k\sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)} - (k^2 - 1)(1 - \beta^2) - 2]}{(k^2 - 1)\sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)}} \quad (17)$$

Як і раніше, порівняємо потоки (8) і (17)

$$\Phi = \Phi_0$$

$$\frac{\pi kB(O)S[2k\sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)} - (k^2 - 1)(1 - \beta^2) - 2]}{(k^2 - 1)\sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)}} = \pi B_0 S$$

звідси одержуємо

$$B(O) = \frac{B_0(k^2 - 1)\sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)}}{k[2k\sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)} - (k^2 - 1)(1 - \beta^2) - 2]} \quad (18)$$

А розподіл яскравості в просторі можна записати так

$$B(\theta) = B(O) f(\theta)$$

або

$$B(\theta) = \frac{B_0(k^2 - 1)\sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)}}{[2k\sqrt{1 + (k^2 - 1)(1 - \beta^2)} - (k^2 - 1)(1 - \beta^2) - 2] \sqrt{1 + (k^2 - 1)\cos^2\theta}} \quad (19)$$

Формула (19) описує розподіл яскравості в інтервалі кутів розсіювання  $0 \leq \theta \leq \theta_1$ , де  $\theta_1 = \pi/2 - \arccos \beta$ , а для кутів  $\theta > \theta_1$   $B(\theta) = B(\theta_1) = \text{const}$ .

**Висновки і перспективи.** Таким чином, розроблено математичну модель аналітичної апроксимації неортогotropних індикатрис відбиття і одержані відповідні аналітичні формули при двох варіантах апроксимації.

Формули (12), (19) можна використовувати в розрахунках яскравостей земних об'єктів через корекцію оптичних щільностей оптичних сигналів з урахуванням типу індикатриси відбиття, що значно підвищить точність дешифрування космічних знімків у двох типах задач: більш точному відтворенні пластики рельєфу у вигляді його цифрової моделі, обчисленої за яскравостями елементарних площадок відбиття за умови оптичної однорідності поверхні; розпізнаванні, за розрахунковими яскравостями, типів рослинного покриву земної поверхні шляхом елімінації впливу рельєфу на її оптичний образ.

Як зазначалося, дані моделі розроблено за трьох обмежень: а) незмінності альbedo підстилаючої поверхні, б) симетричності індикатриси щодо осей падаючого та відбитого променів; в) незалежності індикатриси від змін кута падіння сонячних променів. Подальші дослідження мають звільнити модель від цих обмежень, що надасть їй необхідної універсальності.



Крім того, шляхом обробки наявної інформації про відбивну здатність різних земних покривів можливо створити банк даних різних типів ландшафту, котрий міг би застосовувались для прецизійного дешифрування оптичних сигналів під час зйомки земної поверхні, зокрема, у режимі on-line.

#### Джерела та література

1. Лялько В.И. Состояние и перспектива развития аэрокосмических исследований Земли в Украине // Космічна наука і технологія. – 2002. – Т.8. – №1. – С. 7–14.
2. Черваньов І.Г. Тривалий досвід і перспективи космічного землезнавства у пізнанні й використанні інформації про рельєф у геоморфологічному забезпеченні охорони довкілля / Матеріали 3-ї Української наради користувачів аерокосмічної інформації. – Київ, 2001. – С. 104–113.
3. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. – М., Мир, 1988. – 383с.
4. Загультська О. Географічна інформативність зображень ландшафт-них систем на космічних знімках // Геодезія, картографія і аерознімання. – 2003. – Вип. 63. – С. 170 – 174.
5. Черванев И.Г., Мамницкий В.И. и др. К энергетической характеристике горных склонов // Вестник Харьковского университета. – 1985. – Вип. 267. – С. 59 – 63.
6. Черванев И.Г., Мамницкий В.И. и др. К расчету радиационного режима горного рельефа// Вестник Харьковского университета. – 1986. – Вип. 283. – С. 3 – 5.
7. Carpenter G.A., Gopal S., et al. A Neural network method for mixture estimation for vegetation mapping // Remote Sens. Environ. – 1999. – 70. – N 2. – P. 138 –152.
8. Лялько В.І., Шпортюк З.М. та ін. Застосування методу топографічної корекції даних багатозональних космознімків для класифікації лісового покриву гірських територій // Космічна наука і технологія. – 2003 – Т.9. – №2/3. – .94-97.

#### Яковенко И.М.

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РЕКРЕАЦИОННОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В КРЫМУ

**Эколого-рекреационное направление** в географических исследованиях природопользования заключается в изучении функционирования сложных социоэкологических систем, к которым относятся и территориальные рекреационные системы, через призму субъект-объектных взаимодействий и их последствий. Наиболее апробированным алгоритмом этой исследовательской задачи является выявление и анализ цепочки связей: «устойчивость природных комплексов к рекреационному воздействию – рекреационная емкость – воздействие на природный комплекс – изменения в состоянии природного комплекса – последствия изменений для рекреационной деятельности». Большая часть авторских и коллективных разработок отражает один или несколько фрагментов этой цепи, практически отсутствуют работы комплексного характера [2;6].

В теории рекреационного природопользования особую актуальность приобретает изучение **экологического рекреационного потенциала** как важнейшей составляющей части устойчивого развития региона. В широком смысле слова под экологическим рекреационным потенциалом понимается степень защищенности рекреационной среды региона от реальных и потенциальных угроз изменения структуры и качества среды под воздействием различных естественных или антропогенных факторов. **Целью данной статьи** является выявление территориальных диспропорций в объеме и качестве экологического рекреационного потенциала Крымского региона и обоснование мероприятий, направленных на оптимизацию рекреационной среды.

**Комплексное изучение и оценка эколого-рекреационного потенциала территории**, на наш взгляд, должны включать:

- во-первых, выявление порогов устойчивости природных комплексов разных типов к рекреационным нагрузкам, определение допустимых нагрузок и рекреационной емкости территории;
- во-вторых, изучение эволюции экологических ситуаций в регионе и выявление факторов среды, ограничивающих развитие рекреации, оценку экологических рисков в рекреационном природопользовании;
- в-третьих, изучение роли и места охраняемых территорий в системе регионального природопользования; выявление возможностей и форм сочетания природоохранной и рекреационной функций.

Сущность первого направления исследований – изучение ландшафтно-рекреационных аспектов устойчивости – в достаточной мере отражена в многочисленных теоретико-методических разработках и работах экспериментального характера, выполненных преимущественно на топологическом уровне и выявляющих антропогенную (рекреационную) динамику устойчивости природного комплекса путем установления стадий рекреационной дигрессии. Эмпирическое изучение эколого-рекреационного потенциала ландшафтов Крыма в рамках настоящей работы не проводилось в силу исключительной трудо- и материалоемкости подобных работ и ограничений временного характера. В оценке степени устойчивости ландшафтов мы руководствовались результатами ранее проводившихся исследований уровня интенсивности рассеяния и выноса продуктов техногенеза основными типами ландшафтов Крыма, интенсивности процессов инактивации