

УДК 551.46.08

В. М. Кушнир<sup>1</sup>, С. В. Станичный<sup>1</sup>, Т. Я. Чурилова<sup>2</sup><sup>1</sup>Морской гидрофизический институт Национальной академии наук Украины, Севастополь<sup>2</sup>Институт биологии южных морей Национальной академии наук Украины

## Использование мультиспектральных космических изображений для изучения экологического состояния северо-западной части Черного моря

*Представлено 25.06.07*

Описується метод і результати визначення індексу кольору  $I_t(\lambda_1, \lambda_2)$  для довжини хвиль  $\lambda_1 = 469$  нм,  $\lambda_2 = 555$  нм за даними вимірювань яскравості випромінювання кольоровим космічним сканером типу MODIS/TERRA. Індекс кольору використано для обчислення просторових розподілів концентрації хлорофілу-а, кольору морської води та її прозорості. Просторова структура і значення концентрації хлорофілу-а за даними дистанційного зондування відповідають результатам синхронних контактних вимірів у цьому ж районі моря.

Многочисленные спутниковые измерения восходящего излучения цветовыми сканерами SeaWiFS, (1994); MODIS, (1998); MERIS, (1998) и другими дали значительные объемы информации об оптико-биологических параметрах приповерхностных слоев водной среды. Наиболее сложной и изменчивой пространственно-временная структура спутниковых данных оказалась в прибрежных зонах с высоким насыщением промышленными и сельскохозяйственными производствами, в устьях рек с выносом больших объемов минеральной взвеси, биогенных элементов, различных загрязнений. Эти условия характерны для северо-западной части Черного моря, экосистема которого находится в состоянии, близком к критическому. Главная проблема здесь состоит в чрезвычайно большом притоке биогенных элементов и загрязнений при низкой интенсивности вентиляции водной среды. При этих условиях морская экосистема становится нестабильной вследствие загрязнений, эвтрофикации, эрозии берегов, а также других природных и антропогенных воздействий. В связи с этим существует острая проблема регулярного контроля параметров морской среды для адекватной реакции на возможные неблагоприятные последствия. Такой регулярный контроль экологического состояния морской среды в виде пространственно распределенных данных невозможен без применения методов дистанционного зондирования, в частности съемок морской

поверхности цветовыми сканерами. Однако потенциальные возможности таких методов пока широко не используются. Стандартные методы НАСА для обработки оптико-биологических данных Черного моря непригодны, так как в алгоритмах не учитываются региональные особенности черноморских вод.

При дистанционном зондировании морской поверхности к числу наиболее информативных параметров относится индекс цвета, который определяется как комбинация данных оптических каналов с различными длинами волн. Одной из таких комбинаций является отношение нормализованной яркости в двух спектральных участках:  $I_{wn}(\lambda_1, \lambda_2) = L_{wn}(\lambda_1)/L_{wn}(\lambda_2)$ . При вычислении индекса цвета  $I_{wn}(\lambda_1, \lambda_2)$  происходит компенсация мультипликативных погрешностей измерения и в значительной степени ослабляется влияние таких факторов, как зенитные углы Солнца и бортового спектрофотометра, освещенность морской поверхности, цвет неба. Эти особенности индекса цвета являются принципиальной предпосылкой его использования для изучения экологического состояния морской среды. Величина  $I_{wn}(\lambda_1, \lambda_2)$  связана с такими параметрами, как концентрация кремния и хлорофилла, соленость, цвет воды, глубина видимости стандартного белого диска, показатель ослабления, концентрация взвеси и другими. Соответствующие эм-

пирические соотношения получены по результатам судовых измерений в различных районах Мирового океана [1, 3]. С целью изучения возможности использования индекса цвета для экологического контроля в настоящей работе выполнен расчет  $I_{wn}(\lambda_1, \lambda_2)$  для северо-западной части Черного моря на основе данных измерений восходящего излучения морской поверхности цветовыми сканерами MODIS, а также определены основные структурные особенностей индекса цвета в этом районе и их связь с концентрацией хлорофилла. Выполнено сопоставление данных дистанционного зондирования и результатов непосредственных (контактных) измерений.

Сигналы бортового спектрофотометра цветового сканера  $L_t(\lambda)$ , прокалиброванные в энергетических единицах ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1} \cdot \text{стер}^{-1}$ ), в значительной степени отличаются от действительных значений яркости восходящего излучения морской поверхности  $L_w(\lambda)$  из-за влияния атмосферы.

В наиболее простом виде связь между этими величинами имеет следующий вид:

$$L_t(\lambda) = L_a(\lambda) + L_R(\lambda) + L_w(\lambda)t(\lambda),$$

где  $L_a(\lambda)$ ,  $L_R(\lambda)$  — значения яркости, обусловленные аэрозольным и молекулярным (рэлеевским) рассеиванием в атмосфере на длине волны  $\lambda$ ,

$$t(\lambda) = \exp\{-[0.5\tau_R(\lambda) + \tau_{Oz}(\lambda)](\cos\theta_v)^{-1}\}$$

— коэффициент пропускания атмосферы на этой же длине волны. Оптическая толщина  $\tau_R(\lambda)$  слоя молекулярного рассеивания слоя равна  $\tau_R(\lambda) = 0.0079\lambda^{-4.16}$ , ( $\lambda$ , мкм),  $\tau_{Oz}$  — оптическая толщина озонового слоя,  $\theta_v$  — зенитный угол бортового спектрофотометра [2].

Атмосферная коррекция данных измерений нормализованной яркости восходящего излучения морской поверхности в настоящей работе основана на определении такой длины волны  $\lambda^*$  в ИК-области спектра, где выполняется условие некоррелированности яркости восходящего излучения  $L_w(\lambda)$  и сигнала бортового спектрофотометра  $L_t(\lambda^*)$ :

$$R[L_w(\lambda) \cdot L_t(\lambda^*)] = 0.$$

Это условие предполагает, что  $L_w(\lambda)$  определяется оптической структурой морской поверхности, а  $L_t(\lambda^*)$  — исключительно оптическими свойствами атмосферы.

Индекс цвета  $I_{wn}(\lambda_1, \lambda_2)$  вычисляется по соотношению

$$I_{wn}(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{L_w(\lambda_1)q(\lambda_1)}{L_w(\lambda_2)q(\lambda_2)} = \frac{L_t(\lambda_1) - L_a(\lambda_1) - L_R(\lambda_1)t(\lambda_2)q(\lambda_1)}{L_t(\lambda_2) - L_a(\lambda_2) - L_R(\lambda_2)t(\lambda_1)q(\lambda_2)},$$

где

$$\frac{q(\lambda_1)}{q(\lambda_2)} = \exp\left\{\left[\frac{\tau_R(\lambda_1) - \tau_R(\lambda_2)}{2} + \tau_{Oz}(\lambda_1) - \tau_{Oz}(\lambda_2)\right] \frac{1}{\cos\theta_0}\right\}$$

— поправочный множитель при пересчете яркости восходящего излучения в нормализованную яркость,  $\theta_0$  — зенитный угол Солнца [1, 2].

Распределение индекса цвета в северо-западной части Черного моря было вычислено по данным спутниковых измерений 7 октября 2005 г. Основная особенность этого распределения состоит в том, что в прибрежной зоне западной части акватории наблюдаются минимальные значения индекса цвета, что соответствует повышенной мутности водной среды. Эта повышенная мутность обусловлена речным стоком Дуная, Днестра, Днепра и других рек. Их воды характеризуются высокой концентрацией биогенных элементов и загрязнений, которые оказывают влияние на экологические параметры этого района Черного моря. Аналогичные распределения индекса цвета были получены по спутниковым снимкам этого же района, выполненным в мае 2003 г. [1] и, вероятно, относятся к постоянным региональным особенностям района.

Пространственные распределения индекса цвета могут быть использованы для расчета глубины видимости стандартного белого диска  $Z_d = 9.876I_{wn}^{0.4325}$ , цвета морской воды  $CN = 7.8I_{wn}^{0.4907}$ , показателя ослабления  $\epsilon = 0.23 - 0.151I_{wn}$  и других оптических параметров приповерхностного слоя моря [3]. Наиболее информативным параметром для оценки экологического состояния морской среды является концентрация хлорофилла-а и его динамика.

С использованием полученных снимков морской поверхности MODIS/TERRA и вычисленных распределений индекса цвета были получены пространственные распределения концентрации хлорофилла-а  $C_{chl}$  для этих дней. Расчет проводился по соотношению [4]

$$C_{chl} = \exp[1.078 - 2.54 \ln(I(0.469/0.555))].$$

Распределения концентрации хлорофилла-а показаны на рис. 1. Основные особенности этого распределения состоят в увеличении его концентрации вблизи береговой черты, причем наибольшие значения (до 8...10 мг/м<sup>3</sup>) наблюдаются в районах речного стока. В этих же районах концентрация хлорофилла-а характеризуется значительной изменчивостью. В центральной и восточной частях района концентрация хлорофилла-а относительно невелика, и в основном не превышает 1...2 мг/м<sup>3</sup>.

На рис. 2, 3 представлены оптические параметры приповерхностного слоя моря: цвет моря по международной шкале цветности (рис. 2) и показатель ослабления направленного света (рис. 3). В целом

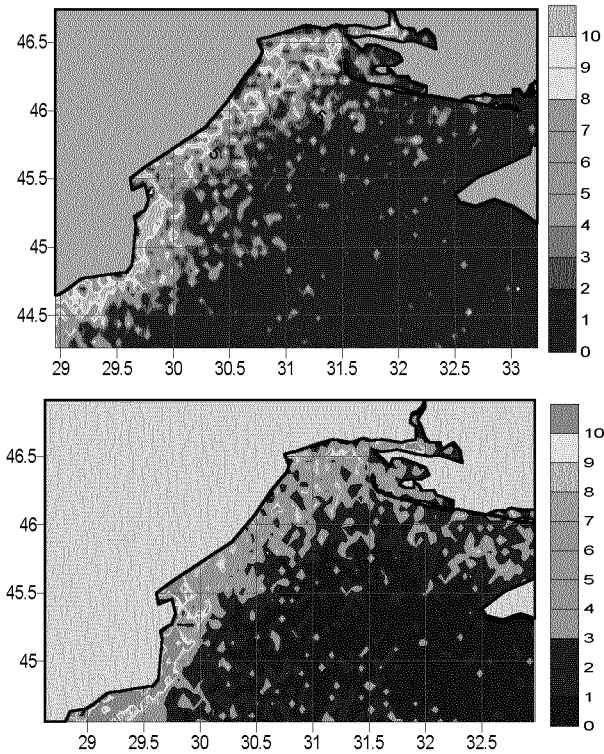


Рис. 1. Пространственные распределения концентрации хлорофилла-а по данным измерений сканером MODIS/TERRA 5 и 7 октября 2005 г.

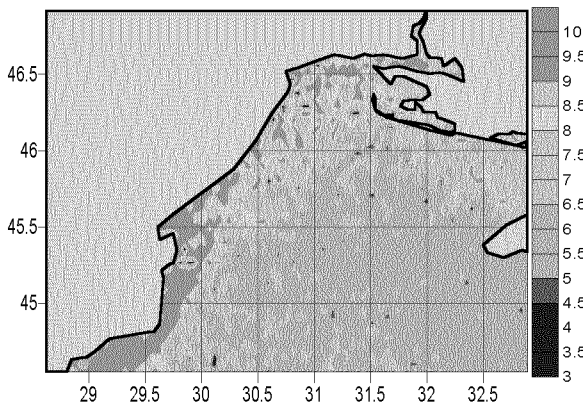


Рис. 2. Цвет моря по международной шкале цветности. В центральной и восточной частях района исследований преобладают голубой и зеленовато-голубой цвет, вблизи берегов — голубовато-зеленый и зеленый цвета

пространственная структура этих параметров соответствует данным прямых измерений в этом районе Черного моря в летний период [1].

Кроме указанных оптико-биологических параметров, состояние экосистемы северо-западного района Черного моря зависит от пространственного

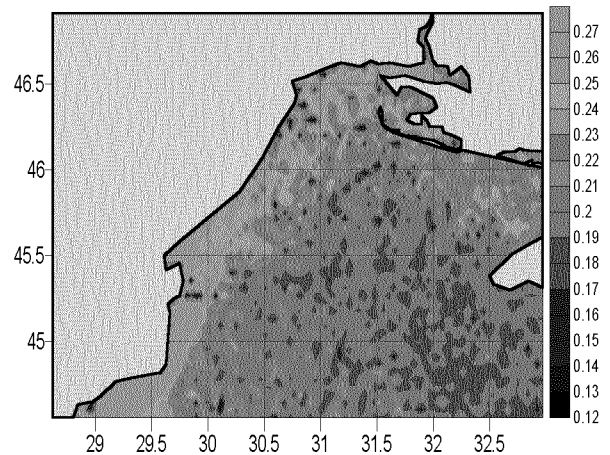


Рис. 3. Показатель ослабления  $\epsilon$ ,  $m^{-1}$

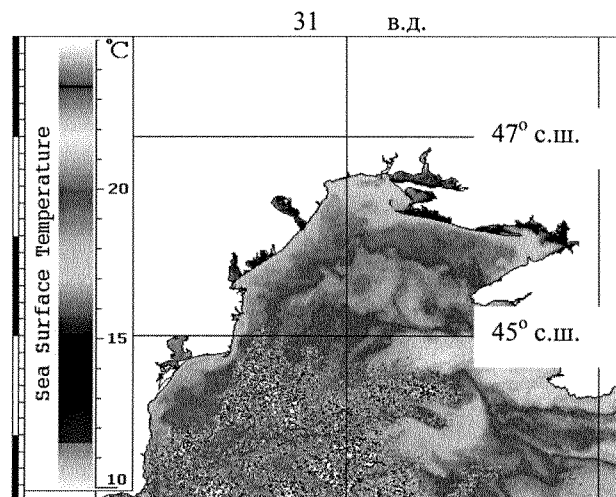


Рис. 4. Температура морской поверхности по данным сканера MODIS/TERRA 7 октября 2005 г.

распределения температуры. На рис. 4 приведено соответствующее распределение, полученное по спутниковым измерениям 7 октября 2005 г. Его основной особенностью является подобие пространственному распределению оптических характеристик: область пониженных температур примерно соответствует области вод пониженной прозрачности вдоль северо-западного берега Черного моря, а область прогретых до 20...22 °С вод соответствует положению зоны вод с высокой прозрачностью. В исследуемом районе в осенний период изменение температура поверхностного слоя связано со стоком более холодных и мутных речных вод. Таким образом, температура является косвенным показа-

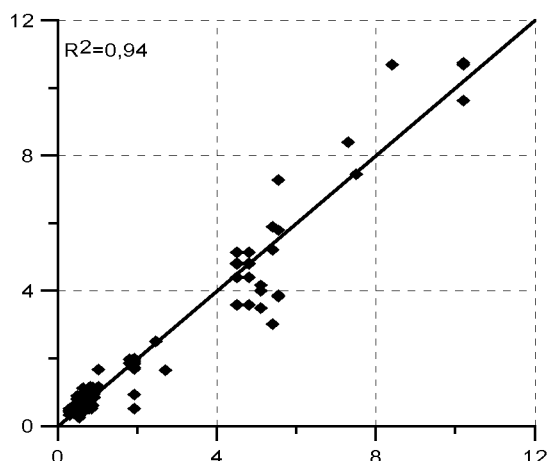


Рис. 5. Сопоставление концентрации хлорофилла-а по данным дистанционного зондирования и непосредственных измерений

телями распространения привносимых со стоком растворенных соединений и взвеси.

Во время спутниковых съемок выполнялись экспедиционные исследования в западной части Черного моря. При этом были выполнены непосредственные измерения концентрации хлорофилла в 35 точках. На рис. 5 представлены результаты сопоставления концентрации хлорофилла-а по данным непосредственных и дистанционных измерений.

Несмотря на существенные отклонения отдельных точек от линии равных значений, общий уровень достоверности высок и составляет 0,94. Это означает возможность использования данных цветковых сканеров и рассмотренного метода обработки данных для оперативных измерений концентрации хлорофилла-а в северо-западной части Черного моря.

Оперативные данные о пространственном распределении оптико-биологических параметров и температуры в северо-западной части Черного моря позволяют объективно определять зоны, где происходят наиболее значительные изменения этих параметров, и следовательно, изменения состояния экосистемы. При высокой температуре морской во-

ды это приводит к интенсификации химических реакций окисления, высоким темпам потребления кислорода и развитию гипоксии.

Таким образом, использование спутниковой информации позволяет проводить оперативный контроль оптико-биологических параметров в северо-западной части Черного моря и их сравнительный анализ на любых временных масштабах. Это дает возможность объективно оценивать пространственно-временную динамику показателей продуктивности, а также выявлять потенциальные зоны риска развития эвтрофикации в экосистеме северо-западной части Черного моря.

1. Кушнир В. М., Станичный С. В. Оптические неоднородности в северо-западной части Черного моря по данным спутниковых измерений цветковым сканером // Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. — Севастополь: МГИ НАН Украины, 2005.—Вып. 14.—С. 366—381.
2. Gordon H. R. Atmospheric correction of ocean color imagery in the Earth Observing System era // J. Geophys. Res.—1997.—102D, N 14.—P. 17081—17106.
3. Optical remote sensing of the sea and the influence of the atmosphere / Eds V. A. Urdenko, G. Zimmerman. — Berlin: Inst. for Space Research Academy of Sciences of GDR, 1987.—Vol. 2.—197 p.
4. O'Reilly J. E., Maritorena S., Mitchell B. G., et al. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS // J. Geophys. Res.—1998.—103C.—P. 24937—24953.

#### USE OF MULTISPECTRAL SPACE IMAGES FOR THE STUDY OF THE ECOLOGICAL STATUS OF THE BLACK SEA NORTH-WEST PART

V. M. Kushnir, S. V. Stanichny, T. Ya. Churilova

We consider the method for the determination of the colour index  $I_r(\lambda_1, \lambda_2)$  for the wave lengths  $\lambda_1 = 469$  nm and  $\lambda_2 = 555$  nm from the data of the water leaving radiation obtained with the use of the colour space scanner MODIS/TERRA. The information on the colour index is used to calculate spatial distributions of the chlorophyll-a concentration, sea water colour and its transparency. The spatial structure and values of the chlorophyll-a concentration from the data of remote sensing are in good agreement with the results of synchronous contact measurements in the same area of the sea.

УДК 551.465

Ю. Б. Ратнер, М. В. Иванчик, Т. М. Баянкина,  
Е. В. Плотников, А. Л. Холод

Морской гидрофизический институт Национальной академии наук Украины, Севастополь

## Многокомпонентная система диагноза и прогноза динамики Черного моря

*Представлено 25.06.07*

Представлена разработанная в Морском гидрофизическом институте НАН Украины многокомпонентная наблюдательная система, позволяющая осуществлять непрерывный мониторинг и прогноз гидрофизических полей Черного моря. В результате функционирования системы в квазиоперативном режиме рассчитываются поля температуры, солёности, возвышений уровня морской поверхности, скоростей течений, высоты и направления волн.

### ВВЕДЕНИЕ

Для контроля состояния и использования ресурсов Черного моря в Морском гидрофизическом институте (МГИ) НАН Украины разработана и успешно функционирует система диагноза и прогноза полей гидрофизических полей, позволяющая выполнять расчеты в квазиоперативном режиме. На первом этапе работ, с середины 1980-х гг. до 1992 г. С. Г. Демьшевым и Г. К. Коротаевым была разработана гидродинамическая модель, положенная в основу бассейновой модели циркуляции Черного моря [1]. На втором этапе, с 1992 по 2003 гг. в работах [2, 3, 7] были разработаны алгоритмы ассимиляции спутниковых альтиметрических измерений и метеорологической информации, существенно повышено пространственное разрешение модели и улучшена воспроизводимость климатических особенностей гидрофизических полей и мезомасштабной изменчивости Черного моря. В 2003—2005 гг., сотрудниками МГИ В. Л. Дорофеевым, Г. К. Коротаевым, А. И. Кубряковым и Ю. Б. Ратнером [6, 8, 9] был создан макет системы диагноза и прогноза гидрофизических полей Черного моря в квазиоперативном режиме, прошедший успешное тестирование в ходе пилотного эксперимента ARENA по международной программе ЕС. Это послужило основой для дальнейшего развития работ по созданию системы диагноза и прогноза гидрофизических полей Черного моря.

### ДИАГНОЗ И ПРОГНОЗ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ

Модель циркуляции Черного моря основана на примитивных уравнениях динамики моря [1]. Уравнения модели записаны в декартовой системе координат в форме Громеки — Лемба.

Численная схема модели сохраняет энергию, а в случае баротропных бездивергентных течений — и потенциальную энтропию. Аккуратная аппроксимация уравнения гидростатики позволяет точно описывать обмен потенциальной и кинетической энергии в пределах каждого бокса с учетом нелинейной зависимости плотности от температуры и солёности. Конечно-разностная аппроксимация уравнений по горизонтали выполнена на сетке с шагом 5 км. По вертикали используются 35 неравномерно расположенных горизонтов. Дискретизация во времени осуществляется методом чехарды с периодическим подключением схемы Мацуно. Благодаря такому выбору пространственно-временной схемы дискретизации модель позволяет воспроизводить синоптическую изменчивость Черного моря.

В настоящее время прогноз выполняется в квазиоперативном режиме на сроки до 2.5 сут с задержкой на 12—24 ч, что определяется в основном сроками прогноза атмосферного воздействия по региональным атмосферным моделям.

Высота волн рассчитывается в рамках модели WAM [10], адаптированной сотрудником МГИ

НАН Украины В. В. Фоминым. В ней используются данные прогнозов скорости ветра, получаемые по региональным атмосферным моделям и данные прогноза скорости морских течений в описанной выше модели циркуляции Черного моря.

В результате прогноза рассчитываются поля повышения уровня, температуры, солености, скоростей течений, высот и направлений распространения волн. Они отображаются в виде изображений карт полей (см. сайт <http://dvs.net.ua/mp/>). Примеры карт гидрофизических полей, рассчитанных по модели, показаны на рисунке. Сопоставление результатов расчета с данными контактных измерений дрейфтеров и научно-исследовательских судов, свидетельствует об удовлетворительном воспроизведении моделью динамики Черного моря.

В дальнейшем планируется расширить набор моделей, функционирующих в составе системы, за счет подключения экологической модели, модели переноса седиментов и других, а также моделей, позволяющих выполнять прогноз динамики локальных районов морской акватории, с более высоким пространственным разрешением и детальным описанием особенностей динамических процессов.

#### СПУТНИКОВЫЕ И ОПОРНЫЕ МЕТЕОДААННЫЕ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЕ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ ЧЕРНОГО МОРЯ

**Спутниковые альтиметрические измерения уровня Черного моря.** Значения уровня морской поверхности, измеренные спутниками Topex/Poseidon, ERS-2, Jason-1, Envisat и GFO, используются для задания граничных условий и повышения точности расчета физических полей Черного моря. Они поступают из глобального центра обработки альтиметрических измерений — AVISO (Франция) с периодичностью два раза в неделю с задержкой до 3—5 сут. Объемы данных зависят от спутника, с которого они получены, и числа оборотов спутника вокруг Земли, включенных в каждый конкретный файл. После приема данных по сети интернет осуществляется выбор информации по Черному морю, реорганизация формата хранения данных и запись результатов обработки в архив данных альтиметрических измерений уровня Черного моря, являющийся компонентом оперативной базы данных подсистемы диагноза и прогноза.

**Опорные метеорологические данные.** Метеорологические данные, используемые в моделях, включают: информацию о поле скорости ветра, получаемую по данным реанализа NCEP (США) [5], или по данным диагноза и прогноза на 2.5 сут

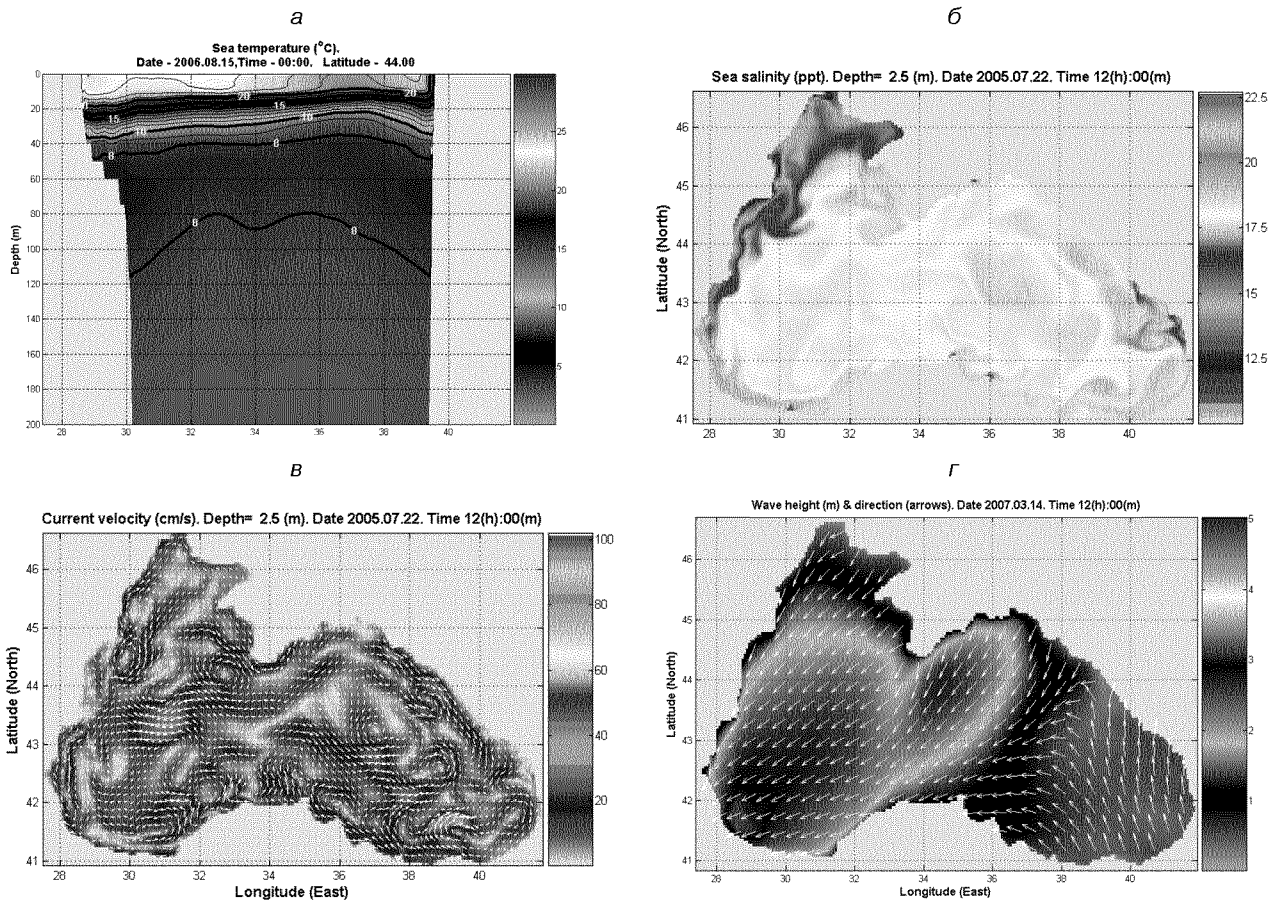
по Европейской атмосферной модели ALADIN (Национальная администрация по атмосфере — NMA, Румыния) [9], или по данным ИСЗ QuikSCAT (США) [4]. Она используется для задания граничных условий на поток импульса из атмосферы в море; информацию о потоках тепла и влаги, получаемую по данным расчетов с использованием атмосферной модели ALADIN из NMA, которая используется для задания граничных значений солености и температуры на поверхности моря [1].

Данные поступают либо на стандартные сроки метеорологических наблюдений (0, 6, 12 и 18 ч UTC — NCEP, NMA), либо между 1—4 и 13—16 ч UTC (QuikSCAT). Данные NCEP следуют с задержкой 1—4 сут, данные NMA и QuikSCAT — 1 сут, NMA — 12—15 ч. Данные реанализа NCEP заданы на сетке  $1 \times 1^\circ$  по широте и долготе, остальные — на сетке  $0.25 \times 0.25^\circ$ . Сетка, на которой заданы данные QuikSCAT, смещена относительно сетки NMA на  $+0.125^\circ$  по широте и долготе. Каждый четвертый узел сетки NMA совпадает с узлом сетки NCEP.

**Спутниковые данные о поле температуры поверхности Черного моря.** Спутниковые снимки ИК-радиометра AVHRR ИСЗ NOAA принимаются и обрабатываются в приемном центре МГИ НАН Украины для восстановления поля температуры поверхности Черного моря. Эти данные поступают ежедневно с задержкой 3—15 ч. После оперативной обработки принятой информации восстановленные величины температуры поверхности Черного моря записываются в архив в виде электронных карт с пространственным разрешением 1.1 км. Затем поля температуры усредняются по пространственным ячейкам, соответствующим модельной сетке, и за сутки по времени. Эта процедура способствует снижению уровня флуктуационных ошибок спутниковых значений температур и площади морской поверхности, закрытой облачностью. Далее усредненные величины температур вводятся в подсистему диагноза и прогноза физических полей Черного моря, где они используются в соответствии с процедурой ассимиляции [2].

#### УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Структура системы и процедуры обработки информации в ней достаточно сложны. Это требует разработки специальных средств, управляющих выполнением и согласованием различных этапов вычислительного процесса. С этой целью нами были созданы редактор заданий, интерпретатор заданий и утилиты, значительно расширяющие возможности средств разработки и выполнения заданий ОС WINDOWS и LINUX. Они обеспечивают:



Примеры гидрофизических полей, рассчитанных с помощью многокомпонентной системы диагноза и прогноза динамики Черного моря: а — разрез поля ТПМ по 44° с.ш.; б — поле солёности на горизонте 2.5 м; в — поле скорости течений на горизонте 2.5 м.; г — поле высот и направлений волн

- полнофункциональную разработку заданий с их структурированием по назначению;
- более удобное отображение и подробное комментирование текста разрабатываемых заданий;
- отладку заданий;
- возможность выполнения заданий при любом требуемом сочетании автоматического, циклического и интерактивного режимов работы.

Разработанные задания, выполняемые с помощью созданного интерпретатора, представляют собой управляющий комплекс многокомпонентной системы диагноза и прогноза динамики Черного моря.

## ВЫВОДЫ

Разработанная система обеспечивает диагноз и прогноз гидрофизических полей в квазиоперативном режиме. Результаты работы системы использова-

лись и используются в ходе выполнения исследовательских и научно-прикладных работ по таким международным проектам как ARENA, ASCABOS, ECOOP, при создании и развитии информационных средств портала отображения данных ДЗЗ в Национальном космическом агентстве Украины. Четырехлетний опыт эксплуатации системы показал ее практическую полезность и возможность создания на ее основе наблюдательной системы для контроля состояния Черного моря.

1. Демьшев С. Г., Кортаев Г. К. Численная энергосбалансированная модель бароклинных течений океана с неровным дном на сетке C // Численные модели и результаты калибровочных расчетов течений в Атлантическом океане. — М.: ИВМ РАН, 1992.—С. 163—231.
2. Дорофеев В. Л., Кортаев Г. К. Ассимиляция спутниковых измерений поверхностной температуры Черного моря в модели циркуляции // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2004.—



- Вып. 11.—С. 24—30.
3. Коротаев Г. К., Саенко О. А., Коблинский С. Н. и др. Точность, методология и некоторые результаты ассимиляции альтиметрических данных спутника TOPEX-POSEIDON в модели циркуляции Черного моря // Исслед. Земли из космоса.—1998.—№ 3.—С. 35—51.
  4. Dunbar R. S., et al. QuikSCAT Science Data Product User's Manual. Version 1.0. — Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory, 2000.—Document D-18053.
  5. Kalnay E., et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc.—1996.—77.—P. 437—471.
  6. Korotaev G., Cordoneanu E., Dorofeev V., et al. Near-operational Black Sea nowcasting/forecasting system // European Operational Oceanography: Present and Future. — European Communities, 2006.—P. 605—610.
  7. Korotaev G. K., Demyshev S. G., Knysh V. V. Three-dimensional climate of the Black Sea. Black Sea Ecosystem Processes and Forecasting Operational Database Management System // Report of the Workshop and Project Evaluation Meeting, Istanbul, 15—18 May 2000.
  8. Korotaev G. K., Dorofeev V. L., Ratner U. B. Near-operational system of Black Sea. European Global Ocean Observing System // EUR 21697 Proceedings of the Fourth International Conference. 6—9 June 2005, Brest, France. — P. 64—66.
  9. Stefanescu S., Cordoneanu E., Kubryakov A. Ocean wave and circulation modeling at NIMH Romania // Rom. J. Meteorology.—2004.—6, N 1-2.—P. 75—88.
  10. WAMDIG 1988: The WAM model — A third generation ocean wave prediction model // J. Phys. Oceanography.—18.—P. 1775—1810.

#### MULTICOMPONENT SYSTEM FOR BLACK SEA DYNAMIC PROCESSES DIAGNOSES AND PREDICTION

*Yu. B. Ratner, M. V. Ivanchik, T. M. Bayankina, E. V. Plotnikov, A. L. Holod*

Multicomponent system for Black Sea dynamical processes diagnoses and prognoses, developed in MHI UNAS, is presented. The temperature, salinity, sea level, currents velocities and sea wave's fields can be monitored and predicted by means of this system. The monitoring and prediction results are transmitted via Internet.

УДК 574.472:528.854.4

**А. О. Козлова**

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України

## До оцінювання та картування видового багатства за багатоспектральними даними дистанційного зондування Землі

*Представлено 25.06.07*

Запропоновано використання стандартних систем класифікації типів земної поверхні для оцінювання та картування видового багатства за багатоспектральними даними дистанційного зондування Землі та наведено умови залучення таких систем при оцінюванні видового багатства гірських та рівнинних територій. Представлено результати демонстраційного оцінювання видового багатства південно-західної частини Кримського півострову за космічним знімком Landsat/ETM+.

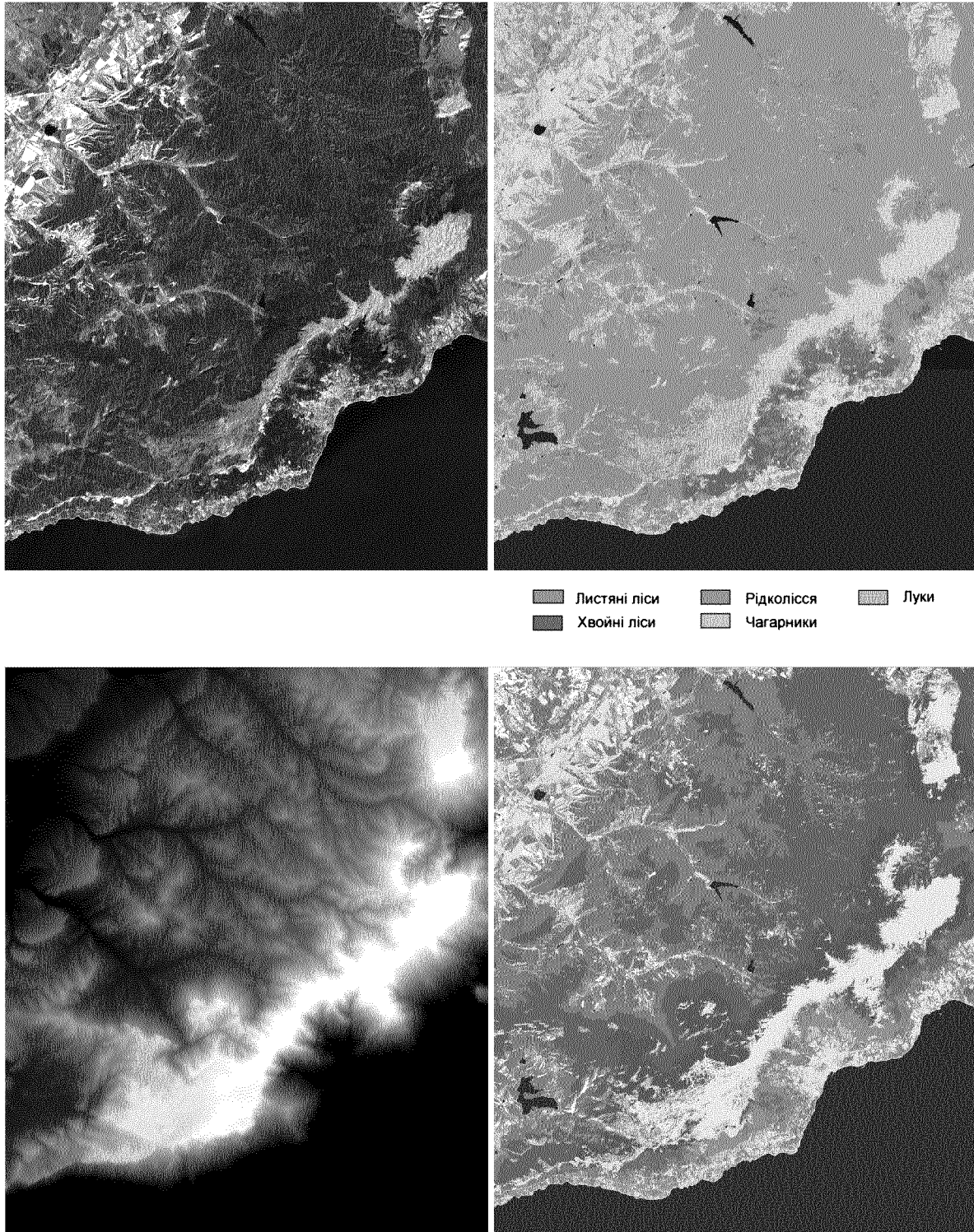
Задачі кількісного оцінювання та картування біологічного різноманіття як інтегрального показника стану надорганізмів систем усе частіше вирішуються із залученням матеріалів та методів дистанційного зондування Землі. При цьому термін «біорізноманіття» розглядається на рівні організмів і відноситься до видів та їхніх певних характеристик, зокрема розподілу та кількості в межах заданої території.

Один з методів оцінювання біорізноманіття за багатоспектральними космічними зображеннями ґрунтується на розпізнаванні типів земної поверхні, інакше кажучи біотопів, які можуть бути асоційовані з певним набором характерних видів. Поєднання інформації про відомі вимоги видів до

середовищ існування із встановленими типами створює основу для належного оцінювання видового багатства та потенційного просторового розподілу видів.

Практична реалізація даного підходу передбачає проведення великого обсягу попередніх робіт з обґрунтування та створення відповідної системи класифікації типів земної поверхні, яка б, окрім іншого, забезпечувала можливість інтегрування та порівняння з подібними системами класифікацій для вирішення суміжних задач. Такі роботи потребують чималих ресурсних затрат і залучення широкого кола спеціалістів, що проблематично в рамках малих проектів чи самостійних дослідженнях і приводить до значного зменшення території





Карти території дослідження: *a* — вихідне багатоспектральне аерокосмічне зображення Landsat/ETM+ (Крим, 10 травня 2000 р., просторова розрізненість 30 м), *б* — карта біомів за IGBP Land Cover, *в* — карта висот рельєфу, *г* — уточнена карта рослинного покриву

## Класифікація рослинного покриву території дослідження та її видове багатство

Біом	N	Підклас	Висота над рівнем моря	Загальна кількість видів
Широколистяні ліси	1	Пухнастодубові ліси північного макросхилу	0—450	102
	2	Скельнодубові ліси північного макросхилу (із включеннями грабових и ясеневих лісів)	450—800	107
	3	Букові ліси (включення грабових, ясеневих, кленових лісів)	800—1400	101
	4	Скельнодубові ліси південного макросхилу	500—800	113
	5	Пухнастодубові ліси південного макросхилу	0—500	165
Луки та зернові культури	6	Сільгоспугіддя	0—400	50
	7	Справжні степи	400—600	105
	8	Лучні степи північного макросхилу	600—800	99
	9	Саваноїди	0—450	83
	10	Лучні степи південного макросхилу	450—800	112
	11	Лучні степи, томіляри, луки яйл	800—1545	123
Вузьколистяні ліси	12	Соснові ліси нижнього поясу північного макросхилу	0—400	79
	13	Соснові ліси середнього поясу північного макросхилу	400—1200	103
	14	Ліси з домінуванням сосни Коха	900—1400	104
	15	Соснові ліси середнього поясу південного макросхилу	400—900	144
	16	Соснові ліси нижнього поясу південного макросхилу	0—400	131
Чагарники	17	Шибляковоподібні зарості в комплексі з чагарниковими заростями типу шибляк	0—450	72
	18	Деревно-чагарникові зарості середнього поясу північного макросхилу	450—800	75
	19	Деревно-чагарникові зарості високогір'я	800—1400	88
	20	Шибляк з деревно-чагарниковими заростями	300—800	91
	21	Шибляк з вічнозеленим підліском	0—300	87
Рідколісся	22	Дубові рідколісся в комплексі зі степовою рослинністю	0—400	89
	23	Рідколісся середнього поясу північного макросхилу	400—800	86
	24	Високогірні (кленово-ясеневі) рідколісся	800—1300	90
	25	Дубові рідколісся середнього поясу південного макросхилу	450—800	87
	26	Рідколісся приморського поясу південного макросхилу	0—450	94

Таблицю складено на основі робіт Я. П. Дідуха (1992, 1985, 1988), Ю. Р. Шеляг-Сосонка (1985, 1988), А. І. Дулицького (2001, 1999)

дослідження або погіршення якості проведеної роботи.

В якості основи для оцінювання та картування видового багатства може бути використана карта типів земної поверхні, створена за стандартною системою класифікації. При цьому, залежно від поставлених задач та рівня їхнього вирішення, має залучатися одна з широковживаних, узгоджених між собою систем класифікації типів земної поверхні глобального (IGBP Land Cover, UMD Land Cover, Global Land Cover 2000) або регіонального рівня (CLC 2000, GSE-Land, PELCOME).

Обов'язковою умовою застосування подібних карт є деталізація класів біотопів в контексті характеристик середовища, що визначають загальний

характер розподілу видів рослин і тварин, з подальшим розділенням на підкласи. Уточнення має проводитися за факторами, які не лише обумовлюють диференціацію біоти, а й можуть бути визначені за космічними зображеннями. До таких факторів можна віднести вологість ґрунту, висоту над рівнем моря, експозицію схилу та структуру рослинного покриву.

При дослідженні територій, в межах яких розподіл біоти характеризується висотною поясністю, уточнення стандартних класифікацій здійснюється за висотою над рівнем моря та експозицією схилів — опосередкованими факторами, які є потужними розподільниками інших важливих екологічних факторів: температури, вологості, освітленості. На

рівнинних територіях більш доцільним є врахування вологості ґрунту та структури рослинного покриву.

Для кожного класу на основі довідкових даних визначається кількість характерних видів флори і фауни, після чого здійснюється кількісне оцінювання видового багатства для кожного пікселя космічного зображення.

Для демонстрації описаного підходу проведено оцінювання видового багатства південно-західної частини Кримського півострову за космічним знімком Landsat/ETM+, одержаним у травні 2000 року (рис. 1, а).

Вибір території дослідження обумовлений високим біологічним багатством даної місцевості, яке є результатом високого різноманіття екологічних умов і широкого діапазону їх прояву (від мінімальних до максимальних значень). На вибір також вплинули гарна вивченість регіону, наявність і доступність детальних описів природних угруповань та їх розподілу під дією зовнішніх факторів.

Для визначення просторового розподілу біомів території дослідження залучалася система класифікації Міжнародного проекту Геосфера-Біосфера (IGBP Land Cover Units), яка також використовується у продуктах MODIS [6] (рис. 1, б).

Урахування рельєфу місцевості проводилося із використанням геореференційованих даних SRTM3v2.0 на території дослідження (рис. 1, в).

З використанням карти висот, наземних завіркових та допоміжних довідкових даних виконано другий етап класифікування — розділення класів біомів на підкласи.

Як і будь-яка класифікація подібний поділ є суб'єктивним, обумовленим конкретною задачею: необхідністю деталізації виділених територій в контексті градієнтів середовища, що визначають загальний характер розподілу видів рослин і тварин.

Типи рослинних формацій виділялися на основі доміантних видів або форм зростання рослин. Через особливості розташування Кримських гір та кліматичні умови, які внаслідок цього сформувалися, склад і кількість видів рослинних формацій нижніх і середніх поясів значно варіюють залежно від орієнтації макросхилів відносно півдня та півночі. Дана ситуація також знайшла відображення у розробленій системі класифікації. Всього таким чином було виділено 26 типів рослинних формацій — класів і для кожного з них підраховано кількість видів рослин і тварин.

До підрахунку видового багатства вибраної території було включено 343 види вищих судинних рослин, 44 види ссавців і 33 види птахів, середовища існування яких описані в літературі [1—5].

При аналізі флористичного різноманіття виділених класів враховувалися лише типові види з високим ступенем постійності зростання, які утворюють флористичне ядро формації певного типу. При розгляді фауністичного різноманіття робилося уточнення, що розподіл більшості видів тварин значно ширший за виділені рослинні формації і його межі краще визначаються структурою рослинності, аніж видами рослин. Для кожного класу розраховано загальну кількість видів рослин і тварин. Результат проведеної роботи представлено у таблиці.

Таким чином, карти типів земної поверхні, створені за стандартними класифікаціями і уточнені за матеріалами космічного знімання, є досить зручним та ефективним інструментом оцінювання та картування видового багатства. Одержані результати утворюють основу для подальшого оцінювання біологічного різноманіття.

Спільне використання стандартних інформаційних продуктів ДЗЗ та наземних завіркових даних може стати основою інформаційного сервісу не тільки оцінювання біорізноманіття, а й його моніторингу з періодом спостереження в роки та навіть сезони.

1. Биологическое и ландшафтное разнообразие Крыма: проблемы и перспективы // Вопросы развития Крыма: научно-практический и дискуссионно-аналитический сб. — Симферополь: СОНАТ, 1999.—Вып. 11.—180 с.
2. Дидух Я. П. Растительный покров горного Крыма (структура, динамика, эволюция и охрана). — Киев: Наук. думка, 1992.—253 с.
3. Дидух Я. П., Шеляг-Сосонко Ю. Р. Ялтинский горно-лесной государственный заповедник. — Киев, 1980.
4. Дидух Я. П., Шеляг-Сосонко Ю. Р. Государственный заповедник «Мыс Мартьян». — Киев, 1985.
5. Дулицкий А. И. Биоразнообразие Крыма. Млекопитающие. История, состояние, охрана, перспективы. — Симферополь: СОНАТ, 2001.—208 с.
6. Strahler A., Townshend J., et al. MODIS Land Cover and Land-Cover Change Principal Investigators /... [http://eosps0.gsfc.nasa.gov/ftp\\_ATBD/REVIEW/MODIS/ATBD-MOD-12/atbd-mod-12.pdf](http://eosps0.gsfc.nasa.gov/ftp_ATBD/REVIEW/MODIS/ATBD-MOD-12/atbd-mod-12.pdf)

#### TO THE ESTIMATION AND MAPPING OF SPECIES RICHNESS FROM MULTISPECTRAL REMOTE SENSING DATA

A. O. Kozlova

Utilization of standard land cover classification systems for species richness estimation and mapping based on multispectral remote sensing data is proposed. The conditions of the use of the systems for highlands and plains are set. We present the results of species richness estimation carried out for the south-west part of Crimean peninsular on the basis of Landsat/ETM+.