

УДК 504.064.37:528.8

**В. И. Волошин<sup>1</sup>, Е. И. Бушуев<sup>1</sup>, А. С. Левенко<sup>1</sup>,  
А. Г. Шапарь<sup>2</sup>, Н. А. Емец<sup>2</sup>, О. К. Тяпкин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Державне підприємство «Дніпрокосмос», Дніпропетровськ

<sup>2</sup>Інститут проблем природокористування та екології Національної академії наук України, Дніпропетровськ

**От оценки состояния природной среды  
методами дистанционного зондирования Земли  
к обеспечению устойчивого развития общества**

*Надійшла до редакції 18.07.05*

Розглянуто аспект можливості забезпечення оцінки параметрів навколишнього середовища методами ДЗЗ для підтримки сталого природного балансу і розвитку соціуму при недопущенні виникнення згубних для людини генетичних змін в природі.

**ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Человек является биологическим видом в природной экосистеме, функционирует в окружающей среде, и своим существованием поддерживает равновесие в обменных процессах. Однако человек через созданный им социум вносит техногенные изменения в эти процессы для удовлетворения своих биологических и постоянно растущих социальных потребностей.

Преобразуемое человеком природное пространство тем больше требует затрат вещества и энергии на поддержание равновесного состояния, чем больше происходит вызванных им изменений. Такие изменения могут оказаться настолько существенными, что природные экосистемы деградируют и переходят на более низкий биосферный уровень (например, опустынивание плодородных почв, заболачивание), что приводит к ужесточению условий существования человека.

Основная проблема при оценке показателей и выборе стандартов качества окружающей среды заключается в определении такого уровня техногенной нагрузки на территорию, который не превысит ее способности к самовосстановлению

без участия человека либо с его помощью [3].

Природные условия на Земле определяются первичными космическими и планетарными объективными факторами, а также земными биогенными факторами: биосфера по отношению к природным средам геосфер Земли является вторичным и преобразующим их во времени фактором.

Оценка параметров состояния абиогенных составляющих земной среды и условий существования в них биотических сообществ должна осуществляться с позиций классического «энвайронментализма»: учитывается различная степень изменения их человеком в своих интересах в прошлом, настоящем и будущем [4].

Степень деградации природных сред относительно естественного их состояния, отвечающего современной стадии эволюции материального мира, необходимо оценивать с учетом:

- биоклиматических поясов и ландшафтных зон;
- антропогенного воздействия на компоненты окружающей среды;
- воздействия природных факторов со стороны космических, солнечных, планетарных физических (магнитных, гравитационных и др.) полей;

- уровней радиационного и др. излучений;
- проявления дестабилизирующих экзогенных (и эндогенных) процессов на земной поверхности и пр.

В конечном итоге оценки состояния природных сред и установившихся в них условий существования земных биотических сообществ должен вырабатываться прогноз возможных губительных для человека генетических последствий в оперативном режиме наблюдений (режиме реального времени).

Проведение оценки состояния окружающей среды в настоящее время в Украине осуществляется на основе ранее выработанных методов, характеризующихся ведомственным подходом. Как правило, контроль состояния природы проводится в неоперативном режиме, а обобщение результатов в масштабах государства осуществляется в годовых отчетах на основе ведомственного мониторинга, функционирующего в рамках Минприроды [6]. Функции экологического мониторинга ограничены контролем показателей предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ, (ПДК) отдельных объектов по трем геосферам — вода, воздух и почвы, что не позволяет дать масштабную оценку всех протекающих в природе процессов.

Качество окружающей среды, как один из критериев устойчивого развития общества, — это не только показатель качества компонентов неживой природы, но и способность территории как экосистемы к самовосстановлению и самозащитности с учетом природно-климатических факторов и способности биотической составляющей поддерживать обменные процессы в устойчивом состоянии.

Компоненты окружающей неживой природы (атмосфера, литосфера, гидросфера) рассматриваются с учетом:

- уже состоявшихся в прошлом изменений для оценки степени деградации системы;
- состояния компонента в сравнении со среднепланетарным или эталонным содержанием контролируемых параметров, уровня техногенной нагрузки или изъятия ресурсов;
- природной защищенности компонента;
- опасности дальнейшей деградации всей системы.

Учитываются не только традиционное техногенное воздействие (выбросы, сбросы, изъятие

ресурсов и т. п.), но и природные неблагоприятные факторы (воздействие геофизических полей, экзогенных процессов и т. п.).

Учитывая ограниченность пространства, где сосредоточена основная масса всего живого вещества (до 95 %), границами изучаемых компонентов неживой природы являются:

- для атмосферы — приземный слой тропосферы;
- для гидросферы — первый от поверхности водоносный горизонт;
- для литосферы — почвенный покров.

Все эти среды обитания человека доступны для различных методов наблюдения и изучения, контроля и прогнозирования изменения их состояния. В настоящее время развитие земной цивилизации обусловило активное техногенное воздействие человека именно на собственную среду обитания. Значительное воздействие оказывают глобальные процессы с трансграничными переносами. По степени воздействия на окружающую природу они требуют различных временных оценок:

- оперативная оценка в режиме текущего времени для принятия немедленных решений;
- мониторинг территорий для текущего и перспективного планирования в условиях возможностей общества;
- оценка долговременных процессов и определение глобальных тенденций с выделением критических моментов.

В мировой практике есть европейский опыт создания программы INSPIRE, предназначенной для объединения пространственных данных различных систем европейских государств, прежде всего для контроля состояния окружающей среды, но в контексте управления устойчивым развитием и в экономике, и в социуме. Для такой программы используются данные дистанционного зондирования Земли на основе классификатора показателей CEOS [9]. Создается глобальная мировая система наблюдения Земли Global Earth Observation System of Systems — GEOSS [10].

Триединая задача (оперативная оценка, мониторинг территорий и оценка долговременных процессов), стоящая перед современным миром, на 80 % может быть решена самым объективным, оперативным и достоверным средством — космическим дистанционным зондированием Земли.

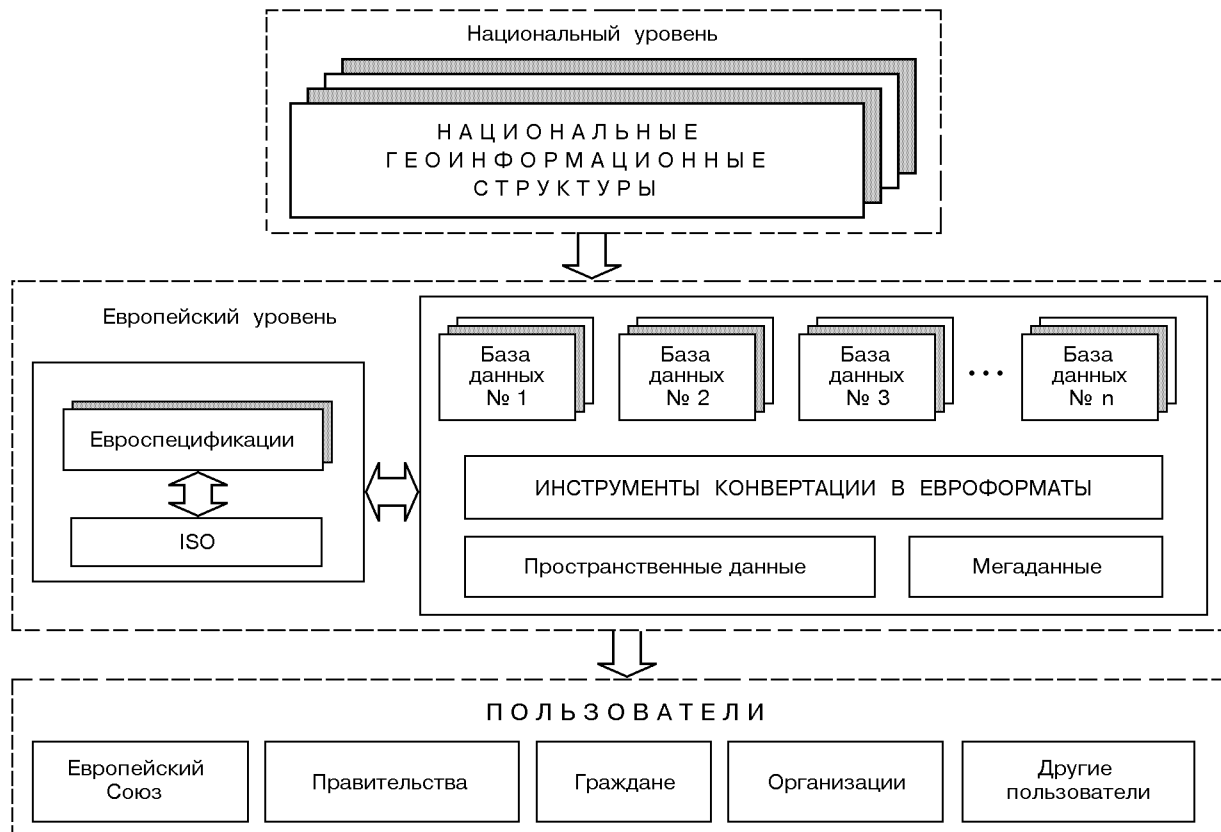


Рис. 1. Схема архитектуры INSPIRE

#### СИСТЕМА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА БАЗЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В рамках Национального космического агентства Украины государственным предприятием «Днепрокосмос» разработана концепция Космо-ГИС, направленная на обеспечение выполнения идей и принципов использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для мониторинга окружающей среды:

- декларированных конференцией ООН по окружающей среде (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) и Всемирным саммитом (Йоханнесбург, 2002 г.), к которым присоединилась Украина [5];
- декларированных 10-летним планом создания глобальной «системы систем» для наблюдений Земли (GEOSS), который был одобрен на 3-м Международном саммите по наблюдению Зем-

ли (Брюссель, февраль 2005 г.) с участием Украины (Third Earth Observation Summit in Brussels, February 2005);

- определенных в проекте Европейской системы глобального мониторинга окружающей среды и обеспечения безопасности GMES [7].

Участие Украины в развитии соответствующего национального сегмента GMES является практическим шагом к евроинтеграции в части мониторинга глобальных процессов в окружающей среде.

Современные средства дистанционного зондирования обеспечивают оперативное получение данных в разных спектральных диапазонах с пространственным разрешением от десятков километров до десятков сантиметров. Наличие отечественных космических средств наблюдения, а также богатый арсенал зарубежных космических аппаратов ДЗЗ позволяют получать данные

Таблица 1. Требования к наблюдению экосистем КосмоГИС по аналогии с «системой систем» наблюдения Земли GEOSS

| Экосистемы<br>Требование к наблюдению   | Уровень доступности наблюдений*               |   |                                  |
|---|---|---|----------------------------------|
|   | Управление<br>землями, реками,<br>побережьями | Сельское хо-<br>зяйство, ры-<br>боловство, ле-<br>соводство | Контроль<br>углеродного<br>цикла |
| 1. Размер и состав экосистемы   |   |   |                                  |
| 1 Размер и местоположение экосистемы и типы ареалов                                       | 1   | 1   | 1                                |
| 2 Фрагментация экосистем  | 2   | 2   | 2                                |
| 3 Состав биоценоза  | 2   | 2   | 2                                |
| 2. Структура и деятельность экосистемы  |   |   |                                  |
| 1 Индекс листовой поверхности или зеленость   | 1   | 1   | 1                                |
| 2 Океан: цвет воды и содержание хлорофилла  | 1   | 1   | 1                                |
| 3 Архитектура и высота растительного покрова  | 2   | 2   | 2                                |
| 4 Биомасса на единицу площади   | 2   | 2   | 2                                |
| 5 Потоки углерода: NPP, NEE и респирация  | 3   | 3   | 3                                |
| 6 Потоки воды: испарение  | 2   | 2   | 2                                |
| 3. Климатические параметры, влияющие на деятельность экосистемы                           |   |   |                                  |
| 1 Максимальная и минимальная температура поверхности или около нее                        | 1   | 1   |                                  |
| 2 Приповерхностные ветры  | 2   | 2   |                                  |
| 3 Влажность около поверхности   | 1   | 1   |                                  |
| 4 Осадки  | 1   | 1   |                                  |
| 5 Океанические течения и волны  | 2   | 2   |                                  |
| 6 Солнечная радиация (полезная) и отношение ее пикового значения к средне-<br>му значению | 2   | 2   | 2                                |
| 4. Параметры почвы, осадочных пород и основных почвообразующих факторов                   |   |   |                                  |
| 1 Тип почвы (структура), толщина  | 3   | 3   | 3                                |
| 2 Запас питательных веществ: азот, фосфор, питательные микроэлементы                      |   |   |                                  |
| 3 Соленость воды и почвы  | 2   | 2   | 2                                |
| 4 Влажность почвогрунта   | 3   | 3   | 3                                |
| 5 Оптические свойства воды  | 2   | 2   | 2                                |
| 6 Содержание органических веществ в почве, осадочных породах и толще воды                 | 2   | 2   | 2                                |
| 5. Связанные с человеком параметры, влияющие на деятельность экосистемы                   |   |   |                                  |
| 1 Плотность населения и скорость роста (для городского и сельского населения)             | 1   | 1   |                                  |
| 2 Интенсивность урожая (на суше и море)   |   | 1   |                                  |
| 3 Деponирование азота   | 3   |   | 3                                |
| 4 Размеры прибрежных и озерных эвтрофных зон  | 2   |   |                                  |
| 6. Режим нарушений  |   |   |                                  |
| 1 Выжженные области   | 1   | 1   | 1                                |
| 2 Вспышки болезней и вредителей   | 3   |   |                                  |
| 3 Диаграмма речного дебита  | 2   |   |                                  |

\* Имеется четыре уровня доступности наблюдений с учетом мировых тенденций развития ДЗЗ:

0 — наблюдения с допустимыми точностью, пространственным разрешением, разрешением по времени, своевременностью;

1 — наблюдения с минимально допустимыми точностью, пространственным разрешением, разрешением по времени, своевременностью;

2 — еще не доступны, но могут стать доступными в течение двух лет;

3 — экспериментальные; могут стать доступными в течение шести лет.

ДЗЗ на регулярной основе. В частности, в настоящее время на околоземных орбитах работают около 40 спутников наблюдения Земли, до 2012 г. их количество возрастет до 170. Это дает возможность поддерживать постоянные наблюдения более чем по 100 группам показателей окружающей среды, в том числе: 50 — атмосферы, 21 — гидросферы, 26 — литосферы.

Благодаря своему объективному характеру космическая информация используется как элемент, который дополняет, обобщает и детализирует информацию от традиционных наземных источников. Данные ДЗЗ используются в качестве главного средства для верификаций информации из разных ведомственных источников [1].

Актуальность и технико-экономическая целесообразность широкого внедрения технологий ДЗЗ хорошо осознается на мировом и европейском уровнях, которые характеризуются реализацией в первые годы XXI века амбициозных проектов GEOSS, GMES, INSPIRE (рис. 1).

КосмоГИС НКАУ в Украине создается впервые и не имеет аналогов в СНГ. Наиболее близким аналогом есть европейская система глобального мониторинга окружающей среды и обеспечения безопасности GMES и система систем GEOSS (табл. 1).

Предусматривается формирование системы показателей окружающей среды, которые могут быть получены с использованием данных ДЗЗ с целью:

- первичной тематической обработки данных ДЗЗ к определенному уровню (космокарты, ортокосмокарты, специальные тематические карты типа вегетационного индекса растительности, радиационной температуры поверхности и др.);
- тематической обработки данных ДЗЗ с использованием наземной заверочной информации (тематические карты, ГИС-проекты и др.) по заявкам пользователей;
- унификации системы показателей окружающей среды (которые определяются при помощи ДЗЗ) с европейской инфраструктурой пространственных данных (проект INSPIRE [8]).

Система показателей состояния окружающей среды на основе дистанционного зондирования Земли необходима для оценки природных процессов и управления устойчивым развитием Украины и ее регионов [2].

Для оценки состояния качества природы (рис. 2) вначале осуществляется ретроспективная оценка уязвимости ее экосистемы. Затем оценивается фактическое состояние природной среды по степени поврежденности.

В качестве нормы его пригодности для устойчивого существования территориальной экосистемы могут использоваться, например, для атмосферы — предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ, определяемых прямыми замерами и по данным ДЗЗ в части выделения зон их концентраций.

Отношение площади, где отмечено превышение этой нормы, к общей площади территории и есть характеристика поврежденности.



Рис. 2. Структура показателей качества окружающей среды

Аналогично учитывается поврежденность территории в результате воздействия:

- радиоактивности, геофизических полей и других воздействиям с учетом синергизма этих воздействий;
- применительно к почвенному покрову, кроме площадей с превышением ПДК по загрязнениям, необходимо учесть и те участки, которые заняты городскими агломерациями, промышленными объектами, а также земли, выведенные под воздействием техногенеза из сельскохозяйственного оборота или ставшие непригодными для этих целей — сведения ДЗЗ по определению площадей таких территорий являются самыми достоверными.

При оценке территориальной поврежденности гидросферы учитываются:

- участки поверхностных водоемов с превышением ПДК (такие работы с оценкой загрязненности водоемов по анализу космических снимков уж проводились);
- для подземных вод, в случае превышения

ПДК загрязнителей, только участки выхода их на глубину 1.2 м и выше (глубина проникновения большинства видов сельскохозяйственных культур) — и здесь данные ДЗЗ, полученные в инфракрасном диапазоне съемки либо в результате радиолокации являются самыми точными применительно к большим территориям.

Для территориальной оценки поврежденности почв токсикантами учитываются только участки с превышением ПДК подвижных форм загрязнителей. К таким же участкам относятся и все земли, выбывшие из хозяйственного и сельскохозяйственного оборота.

Таким образом, оценивается территория с точки зрения пригодности ее для устойчивого существования экосистемы в условиях, возникших под воздействием техногенной деятельности в прошлом, с учетом данных ДЗЗ.

Следующий этап оценки — определение текущей техногенной нагрузки на территорию.

Она отражает тенденцию возможного воздействия территориальной организации хозяйственной деятельности на загрязнение окружающей среды. Она должна также учитывать текущие трансграничные переносы загрязнителей с соседних территорий — что практически невозможно сделать без контроля космическими средствами наблюдения.

Применительно к атмосфере целесообразно учесть потребление кислорода на технологические цели как изъятие ресурса и дополнитель-

ную нагрузку на окружающую среду. Для гидросферы это будет водоотведение и водопотребление, а для литосферы — текущее изъятие и выбытие земель из природного и сельскохозяйственного оборота. Полученная таким образом оценка текущего вредного воздействия на качество окружающей среды должна быть скорректирована путем уменьшения этого воздействия за счет природной и техногенной защищенности ее компонентов.

На последнем этапе производится оценка защищенности окружающей среды.

Для атмосферы — это:

- способность к очищению (разбавлению, выносу) от загрязнителей за счет метеорологических и рельефных условий (по анализу данных ДЗЗ);
- поглощение токсикантов растительностью и выработкой ими кислорода (определение площадей и видов растительности проводится по информации со спутников ДЗЗ);
- ввода новых мощностей по очистке выбросов стационарных и нестационарных техногенных источников.

Для гидросферы это:

- наличие возможностей для разбавления сбросов;
- способность фитопланктона и высших растений к поглощению и переработке токсикантов (концентрация фитопланктона определяется ДЗЗ);

Таблица 2. Унифицированная измерительная шкала для оценок показателей системы и принятия управленческих решений

| Состояние          | Диапазон оценок | Признаки принятия управленческих решений              |                                       |  |
|--------------------|-----------------|---|---------------------------------------|--|
|                    |                 | Срочность принятия решения                            | Радикальность изменений               | Виды управленческих решений                                      |
| Эталонное          | 1.0—0.8         | ограничений во времени принятия решений не существует | естественные незначительные изменения | периодический контроль ситуации                                  |
| Благоприятное      | 0.8—0.6         | время принятия решений контролируется                 | умеренные изменения                   | нормирующие решения  |
| Удовлетворительное | 0.6—0.4         | ограничения во времени принятия решений значительные  | значительные изменения                | тактические регулирующие решения                                 |
| Угрожающее         | 0.4—0.2         | критическое ограничение во времени принятия решений   | существенные изменения                | плановые изменения тактики и стратегические регулирующие решения |
| Критическое        | 0.2—0.0         | неотложные действия с мобилизацией всех ресурсов      | принципиальные (тотальные) изменения  | плановые изменения стратегии                                     |

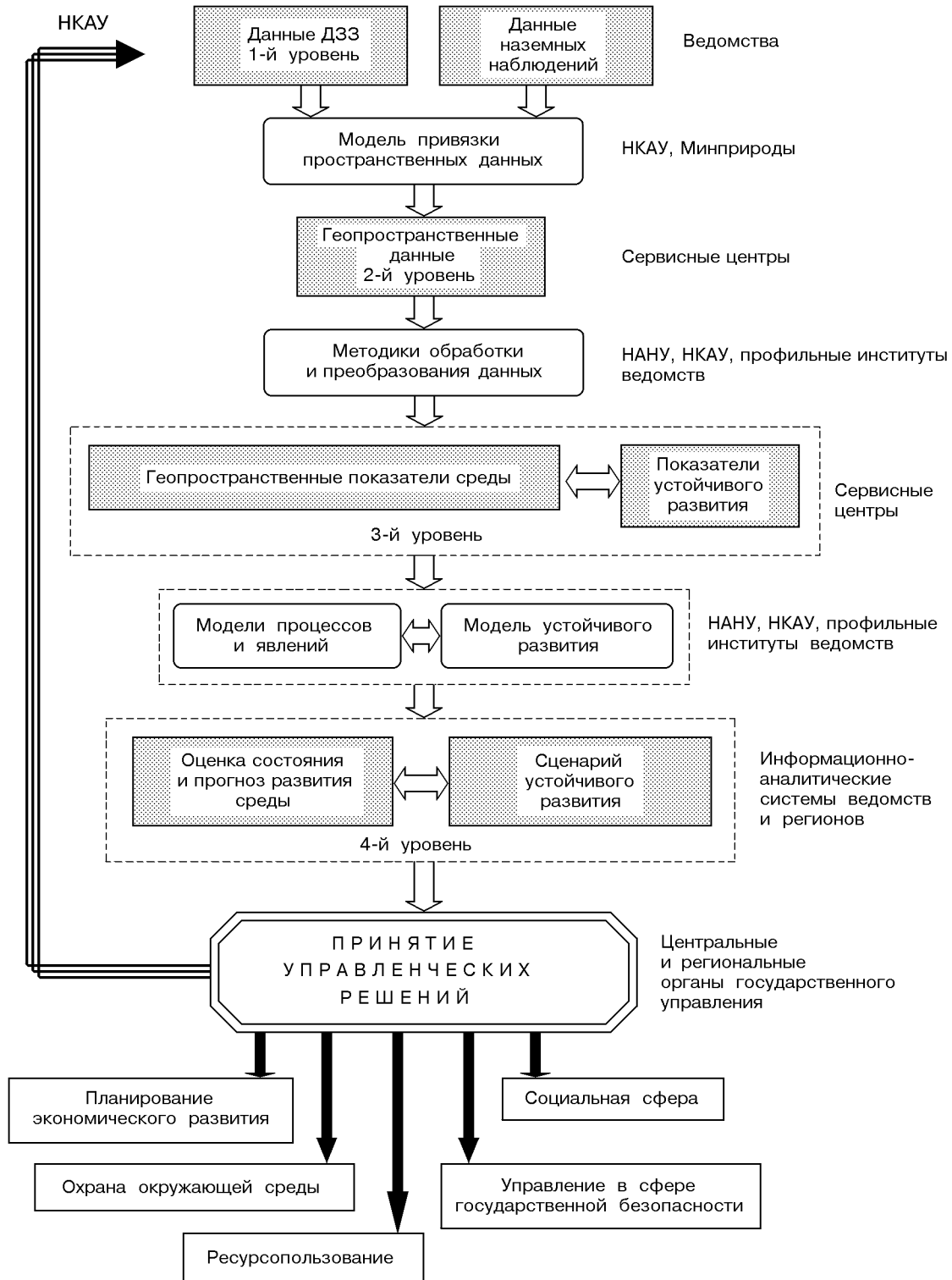


Рис. 3. Национальная инфраструктура пространственных данных для управления устойчивым развитием

- низкие фильтрационные характеристики и наличие водоупоров в почвах;
- очистка техногенных сбросов.

Для почв это:

- наличие условий для естественного или искусственного накопления органики или ее заместителей и предотвращения эрозии;
- способность почв к локализации токсикантов;
- залесенность территории и наличие заказников и заповедников как банка сохранения видового разнообразия экосистем территории для поддержания равновесного состояния и возможного расширения ареала их обитания (площади определяются ДЗЗ);
- проведение мероприятий по восстановлению нарушенных земель и очистке почв для снижения их поврежденности (контроль осуществляется методами ДЗЗ).

Сопоставление текущего техногенного воздействия на компоненты окружающей среды с их защищенностью может служить критерием для определения резерва емкости среды обитания для дальнейшего наращивания объема хозяйственной деятельности.

В случае отсутствия резерва — для выбора приоритетных направлений реструктуризации техногенной деятельности, а также для осуществления первоочередных мероприятий по преодолению кризисной ситуации в окружающей природной среде территории.

Такой подход к оценке качества среды обитания человека позволяет отразить влияние:

- интенсивности и времени техногенного нагружения;
- природно-климатических условий;
- взаимодействия и роли отдельных компонентов среды;
- особенностей массопереноса в различных средах с учетом их защищенности;
- получить объективную общую оценку и найти возможные механизмы влияния на складывающуюся ситуацию для выбора управленческих решений по ее изменению.

Одновременно с оценкой пораженности территории производится и определение ее общей загрязненности токсикантами, включая и неподвижные формы, представляется возможность прогнозировать потенциальную опасность территории с учетом поднятия уровня подземных вод и растворения токсикантов в почве.

Рассмотренная система оценок базируется на методе экспертных определений диапазона значений:

- параметров;
- границ и допустимых их отклонений;
- эталонных объектов.

Необходимо ввести дополнительно оперативные и информативные показатели биоиндикации состояния окружающей среды с применением данных ДЗЗ.

Рассмотренный подход к оценке качества жизни и окружающей среды позволяет перейти к практическим действиям по разработке стратегии устойчивого развития любого региона и выбора кратчайших путей по достижению требуемых показателей.

При этом предварительным ориентиром может служить унифицированная измерительная шкала для оценки показателей системы и принятия управленческих решений, разработанная Институтом проблем природопользования и экологии НАН Украины (табл. 2).

## Выводы

Космические данные дистанционного зондирования Земли можно эффективно использовать в качестве инструмента оценки состояния окружающей среды при внедрении работоспособной структуры, для функционирования которой не потребуется создание дополнительных ведомств, организаций, предприятий (рис. 3) — национальной инфраструктуры пространственных данных для управления устойчивым развитием Украины.

Предлагается структура в виде системы с обратной связью, предусматривающая:

- получение данных ДЗЗ в рамках НКА Украины (1-й уровень);
- получение наземных данных ведомствами;
- привязка данных к пространственной модели (НКАУ и Минприроды);
- формирование геопространственных данных сервисными центрами (2-й уровень);
- обработка и преобразование данных по методикам НАНУ, НКАУ и профильных институтов ведомств;
- формирование геопространственных показателей среды, в которых до 80 % используют



ся данные ДЗЗ, и взаимосвязанных с ними показателей устойчивого развития Украины и ее регионов (3-й уровень);

- оценка состояния и прогноз развития окружающей среды и формирование сценария устойчивого развития Украины информационно-аналитическими системами ведомств и регионов;
- принятие управленческих решений центральными и региональными органами государственного управления, включая — сферу государственной безопасности, планирование экономического развития, социальную сферу, охрану окружающей среды и контроль рационального использования природных ресурсов.

В перспективе такая система может быть адаптирована к внедряемым в настоящее время глобальным системам (INSPIRE, GEOSS) и позволит планировать развитие Украины в сообществе государств на основе достигнутых мировых показателей.

1. Волошин В. И., Бушуев Е. И., Федоров О. П. и др. Принципы построения и функционирования системы геоинформационного космического обеспечения // Космична наука і технологія.—2004.—10, № 5/6.— С. 184—187.
2. Закон України «Про Загальнодержавну (Національну) космічну програму України на 2003—2007 роки» № 203-IV від 24.10.2002 р.
3. Методические подходы к выбору стратегии устойчивого развития территории / Под науч. ред. А. Г. Шапара. — Днепропетровск: ИППЭ НАН Украины, 1996.—Т. 1.—162 с.; Т. 2.—170 с.

4. Методичні підходи до вибору та обґрунтування критеріїв і показників сталого розвитку різних ландшафтних регіонів України / Під наук. ред. А. Г. Шапара. — Дніпропетровськ: ИППЭ НАН України, 1999.—88 с.
5. Программа действий. Повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. — Женева: Центр «За наше общее будущее», 1993.—70 с.
6. Постанова КМУ № 391 від 30.03.1998 р. «Про затвердження положення про державну систему моніторингу довкілля».
7. Building an Information Capacity for Environmental Protection and Security. A contribution to the initial period of the GMES Action Plan (2002—2003). European Commission, Directorate-General for Research Sustainable development, global change and ecosystems. EUR 211109.
8. INSPIRE — work programme Preparatory Phase 2005—2006. Final draft. 05-07-2004 Publisher ESTAT-JRC-ENV.
9. The 2002 CEOS Handbook. ESA, 2002.
10. GEOSS Draft GEOSS 10-year implementation plan - Draft technical blueprint reference document IPTT 201-1. 25 August 2004.

---

**FROM ASSESSMENT OF ENVIRONMENT STATE USING METHODS OF THE EARTH REMOTE SENSING TOWARDS ENSURING SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SOCIETY**

V. I. Voloshyn, E. I. Bushuev, A. S. Levenko, A. G. Shapar, N. A. Yemets, O. K. Tyapkin

We consider the possibility to ensure environment parameters assessment using the Earth remote sensing methods for support of stable natural balance and development of society while not admitting origination of genetic changes in the nature that are destructive for people.