



УДК 528.92(282.243.613):004

*С.М. Токарчук, О.В. Токарчук*

## **ОПЫТ СОЗДАНИЯ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РЕЧНОГО БАССЕЙНА (НА ПРИМЕРЕ ТРАНСГРАНИЧНОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ)**

В работе представлен опыт создания региональной географической информационной системы (ГИС) на примере гидроэкологической ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг. Раскрываются цели, задачи, функции ГИС, особое внимание уделяется основным этапам ее разработки и создания. Подробно раскрывается структура ГИС, состоящая из проектов трех уровней. Для каждого из проектов приводится схема организации данных. Раскрыты основные направления практического применения полученных результатов.

Географические информационные системы (ГИС) представляют собой интерактивные системы, способные реализовать сбор, систематизацию, хранение, обработку, оценку, отображение, распространение данных, а также получение на их основе новой информации и знаний о пространственно-временных явлениях [1; 2].

Одним из наиболее перспективных направлений в области геоинформационных систем в настоящее время является создание региональных ГИС, которые позволяют объединить многоуровневые и многоотраслевые информационные потоки с целью создания пространственно-временной модели региона, выработки и принятия управленческих решений в области природопользования и охраны окружающей среды [3; 4; 5; 6; 7].

В качестве объектов для региональных ГИС все чаще выступают бассейны рек [8; 9; 10; 11]. Большинство таких ГИС создаются по административному принципу: для территории речного бассейна в пределах национальных границ. В то же время бассейны многих рек разделены сразу между несколькими странами. Рациональное использование и охрана поверхностных вод в пределах таких бассейнов затруднены, что связано с отсутствием сведений обо всей территории в целом и административным подходом к решению данных проблем. Каждое государство в пределах национальной части бассейна вырабатывает свои подходы к мониторингу поверхностных вод, их рациональному использованию и охране, зачастую без связи с соответствующими мероприятиями в соседней стране. В то же время бассейн трансграничной реки является целостным образованием, функционирующим вне государственных границ, определяющими в его развитии являются законы природы, а не общества.

Одним из трансграничных бассейнов является бассейн реки Западный Буг, расположенный сразу в трех странах (Украина, Польша, Беларусь). Особенности географического положения бассейна позволяют выделить его особую трансграничную часть площадью 30 025 км<sup>2</sup>, в пределах которой сток реки формируется на территории разных государств [12]. В настоящее время накоплено значительное количество информации о территории бассейна реки Западный Буг: природе региона, гидрологических характеристиках водных объектов, качестве вод, особенностях хозяйственного освоения территории и т. д. Однако данная информация рассредоточена, разнородна и во многих случаях несопоставима. Для выработки действенных мер по рациональному использованию и охране поверхностных вод данного трансграничного бассейна необходимо его комплексное изучение на надгосударственном уровне с использованием современных технологий, в частности геоинформационных систем.



Целью проведенного исследования являлось создание гидроэкологической ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг. Задачами, стоящими перед данной ГИС, являлись сбор, обработка, систематизация, хранение и оценка пространственных данных, характеризующих различные аспекты формирования поверхностных вод для получения обобщенной координатно-привязанной информации на региональном и локальном уровнях. Основными функциями ГИС являлись информационно-справочные, пространственного анализа и оптимизации.

Создание ГИС включало несколько основных этапов. Первый этап исследования включал разработку структуры ГИС. ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг характеризуется сложной многоярусной и многоуровневой структурой, в которой можно выделить внешний и внутренний блоки.

Внешняя структура ГИС состоит из проектов трех уровней. ГИС-проектом первого уровня является цифровая топографическая основа (ЦТО), составляющая базу для создания многих тем проектов следующих уровней. На втором уровне выделяются два ГИС-проекта: «Физико-географические условия формирования поверхностных вод», характеризующий неоднородность природных условий формирования поверхностных вод, и «Гидрологическая характеристика бассейна», включающий гидрологические характеристики рек бассейна. ГИС-проектом третьего уровня является итоговый оценочный блок «Рациональное использование и охрана поверхностных вод», носящий прикладной характер.

Внутренняя структура представляет схему хранения документов:

- блок «Data» включает статистические и расчетные базы данных (в виде Microsoft Excel, Access);
- блок «Layers» хранит основные шейп-файлы и слои;
- блок «Legends» содержит легенды к общегеографическим, тематическим, оценочным и синтетическим картам;
- блок «Raster» включает растровые карты, являющиеся основой для создания электронных карт;
- блок «Information» хранит текстовые файлы (источники данных, методики расчета оценочных показателей, краткий анализ оценочных карт и др.).

На втором этапе исследования в результате анализа существующих программных средств для создания ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг была выбрана инструментальная среда ArcView GIS 3.2 с дополнительным модулем расширений Spatial Analyst 2.0.

ArcView GIS относится к классу ГИС-вьюверов, однако для решения поставленных задач возможности программы являются достаточными, т. к. данный пакет может использоваться в различных сферах деятельности для визуализации, запроса и анализа любой пространственной информации.

Для решения поставленных задач использовался ряд встроенных модулей ArcView GIS 3.2, наиболее важными из которых являются Geoprocessing (используется для создания буферных зон, разбиения, пересечения, вырезания, объединения объектов разных тем), Legend Tool (используется при работе с легендой в компоновках), Database Access (обеспечивает непосредственный доступ к данным SDE), Geographic Transformer (решает проблемы привязки карт к географическим координатам). Из внешних модулей использовался ArcView Spatial Analyst, предназначенный для создания, отображения и анализа растровых данных в виде регулярной сетки (грид).

Третий этап настоящего исследования включал создание цифровой топографической основы (ЦТО).



В качестве топографической основы были взяты современные топографические карты масштаба 1:100 000. Основными критериями при выборе топографической основы являлись: возможность привязки к единой системе координат, детальное изображение структуры русловой сети, возможность выделения структур бассейнового строения, изображение площадных природных элементов топографической поверхности (озера, водохранилища, болота, леса), изображение важнейших социально-экономических элементов топографической поверхности (административные границы, населенные пункты, транспортная инфраструктура).

При создании ЦТО были допущены некоторые отступления от общих требований к созданию цифровых топографических карт. В частности, ЦТО содержит не все объекты, соответствующие масштабу и состоянию описываемой местности, т. к. некоторые объекты не несут смысловой нагрузки в данном исследовании. Например, отдельные социально-культурные объекты (церкви, памятники), линии электропередач, железнодорожные станции и др.

На основе анализа топографических карт масштаба 1:100 000 и классификатора, предназначенного для бумажных карт, была составлена модель топографической основы гидроэкологической ГИС (таблица 1).

Таблица 1 – Схема организации данных цифровой топографической основы

Группа данных (Вид)	Структурная схема данных (Тема)		
	название	тип	атрибуты
Населенные пункты	города	полигональный	ID, название, страна, статус, площадь, численность населения
	поселки городского / сельского типа	точечный	
Дороги	железные дороги	линейный	ID, направление, длина
	автомобильные дороги	линейный	ID, номер, длина, тип покрытия
Гидрография	реки	линейный	ID, название, длина
	каналы	линейный	ID, название, длина
	урезы воды	точечный	ID, абсолютная высота
	озера	полигональный	ID, название, площадь водного зеркала, глубина
	водохранилища	полигональный	ID, название, тип водохранилища, основное назначение, площадь зеркала при НПУ, объем воды
Рельеф	горизонталы высот	интерполяционная поверхность	Высота сечения рельефа
	отметки высот	точечный	ID, абсолютная высота
Растительный покров и грунты	леса	полигональный	ID, площадь
	болота	полигональный	
	пески	полигональный	
Административно-территориальное деление	страны	полигональный	ID, название, площадь
	административные единицы	полигональный	ID, вид, название, площадь



На четвертом этапе создания гидроэкологической ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг выполнялись ГИС-проекты второго уровня: «Физико-географические условия формирования поверхностных вод» и «Гидрологическая характеристика бассейна». Данный этап включал четыре основных вида работ.

Первоначально были сформированы макеты ГИС-проектов второго уровня (таблица 2).

Таблица 2 – Схема организации данных ГИС-проектов второго уровня

Проект	Вид	Темы
ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД	Геологическое строение	«Тектоника», «Дочетвертичные отложения», «Четвертичные отложения», «Мощность четвертичных отложений», «Глубина залегания грунтовых вод», «Районирование по характеру четвертичных отложений»
	Рельеф	«Густота расчленения рельефа», «Глубина расчленения рельефа», «Геоморфологическое районирование»
	Климат	«Метеостанции», «Атмосферные осадки», «Температура воздуха», «Снежный покров», «Климатическое районирование»
	Почвенно-растительный покров	«Генетические типы почв», «Почвенное районирование», «Леса», «Болота», «Геоботаническое районирование»
	Физико-географическое районирование	«Физико-географическое районирование Беларуси, Украины и Польши», «Схема физико-географического районирования бассейна», «Охраняемые территории»
ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНА	Структуры гидрографической сети	«Современные порядки водотоков», «Водотоки изменившие порядок»
	Структура бассейнового строения	«Элементарные структуры бассейнового строения», «Малые водосборы», «Бассейны основных притоков», «Структура бассейнового строения»
	Характеристики водного режима бассейна	«Гидрологические посты», «Водосборы гидрологических постов», «Объем стока», «Слой стока», «Модуль стока», «Гидрологическое районирование»
	Характеристики качества вод	«Пункты мониторинга качества вод», «Водосборы пунктов мониторинга качества вод», «Качество вод»

Далее был организован сбор и обработка растрового картографического материала. На данном подэтапе были выполнены следующие виды работ:

– изучены и проанализированы литературные и картографические источники, содержащие картографический материал, характеризующий физико-географические условия формирования поверхностных вод и гидрологическую характеристику бассейна;



– картографічныя матэрыялы былі отсканіраваны і захараны;  
– дапаўняльна к сабраннаму растроваму картографічнаму матэрыялу саствалена база даннах Microsoft Access, садржащая слелуячыя інфармацыйныя паля, характэрныя кожную карту: нолмер, названне, год саствалення, маштаб, автары, картографічны (літэратурны) істочнік, месоположленне электроннага варыанта карты в ГИС;  
– выполнена прывязка растровых наборов даннах к географічнай сістеме координат.

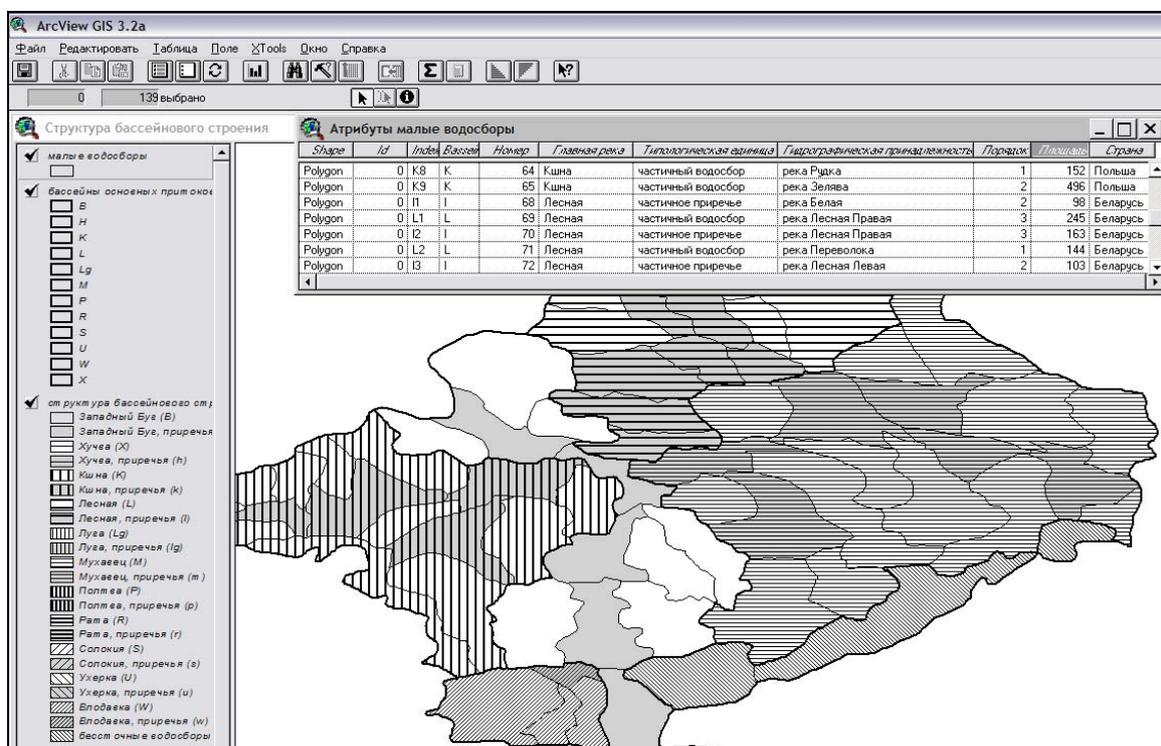
Слелуячы подэтап іслелованя прелполагал прелвод в цифровую форму растровых картографічных ізображленя і вклячал слелуячыя рабаты:

– сабранная растрова картографічная інфармацыйна на основе геолнфармацыйных тэхнолалал (преимувствеленно прелводілась оціфровка ізображленя on-screen с паломощью мышы) была прелведена в электронную форму;

– векторізованые карты были сахараны в веле группы файлов (\*.dbf – файл хараніт атрлбутивныя даннае оъектов, \*.shp – файл хараніт інфармацыйна о прелстранвенных даннах (геометрллі координат) оъектов, \*.shx – файл хараніт індексл геометрллі оъектов) для дальнейшего іслелованя в качелствел рабочлх слелов в ArcView GIS;

– были создалы атрлбутивныя таблліцы оціфрованных тем: вволділись вручну ллобо с паломощью механлзма SQL-соеленення. Іслеловалісь заранел созданныя клелчевые паля, глаवनым образом порядковоый номер (ID) ілі названне оъекта (Name, Index).

На заклелчелтельном подэтапе оціфрованные карты были располужены в ГИС, согласно разраблтанной структуре. На рлсунке 1 прелставлен влел «Структура бассейнового строення» ГИС-прелкта второо уровня «Глдрологическая характэрлстлка бассейна», который явлелется основой для создалення болышлнства прелкладных влелов ГИС.



Рлсунке 1 – Влел «Структура бассейнового строення» с атрлбутивной таблліцей темы «Малые влелосборы»



Пятый этап разработки и создания ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг включал работы над ГИС-проектом третьего уровня «Рациональное использование и охрана поверхностных вод» (таблица 3).

Таблица 3 – Схема организации данных ГИС-проекта «Рациональное использование и охрана поверхностных вод»

Вид	Темы
Комплексная оценка экологического состояния малых водосборов	«Водоносность», «Лесистость», «Болотистость», «Озерность», «Густота русловой сети», «Распаханность», «Доля городских территорий», «Средняя плотность сельского населения», «Экологическая устойчивость», «Экологическая опасность», «Экологическое состояние»
Точечные объекты загрязнения вод	«Промышленные предприятия», «Сельскохозяйственные предприятия», «Предприятия жилищно-коммунального хозяйства»
Предложения по улучшению мониторинга, рациональному использованию и охране поверхностных вод малых водосборов	«Водосборы фонового мониторинга», «Вижильные водосборы», «Дополнительные пункты мониторинга», «Мероприятия по рациональному использованию и охране»

Первоначально на основании анализа литературных источников была разработана методика комплексной экологической оценки малых водосборов трансграничной части бассейна р. Западный Буг, включающая оценку экологической устойчивости и потенциальной экологической опасности, а также методические подходы к формированию предложений по улучшению мониторинга, рациональному использованию и охране поверхностных вод трансграничной части бассейна р. Западный Буг. Согласно разработанной методике была сформирована система информационных показателей – индикаторов состояния и оценки малых водосборов. Были выбраны четыре показателя для оценки экологической устойчивости (средний многолетний расход воды в замыкающем створе, лесистость, болотистость, озерность) и четыре – для оценки потенциальной экологической опасности (густота русловой сети, распаханность, доля городских территорий, средняя плотность сельского населения). Данный выбор обусловлен региональным характером исследования, т. е. большим охватом территории и существенными различиями природных и антропогенных условий. Необходимые данные были структурированы в базах данных Access и таблицах Excel.

Далее на основании сформированных баз данных, а также карт, входящих в топографическую основу ГИС, была разработана методика создания синтетических оценочных карт.

Синтетические карты представляют собой картосхемы, созданные на уровне малых водосборов трансграничной части бассейна р. Западный Буг с использованием разных способов ранжирования (преимущественно равнопромежуточного и естественных границ). Основными используемыми типами легенды являются градуированная шкала, методы локализованных диаграмм и уникального значения.

Большинство синтетических оценочных карт были созданы с использованием атрибутивных баз данных. В данном случае использовался встроенный модуль расши-



рений ArcView GIS DataBase Access, с помощью которого посылались стандартные SQL-запросы базам данных, в частности базам данных Access либо Excel (рисунок 2).

Имя поля	Тип данных	Описание
Index	Текстовый	Обозначает бассейновую принадлежность, тип и очередность малых водосборов (индексы соответствуют таблице "Малые водосборы")
Q	Числовой	Средний многолетний расход воды в заыкающем створе малого водосбора, м3/с
клес	Числовой	Доля лесов от общей площади малого водосбора, %
кбол	Числовой	Доля болот от общей площади малого водосбора, %
коз	Числовой	Доля озер от общей площади малого водосбора, %
друсл	Числовой	Густота русловой сети в пределах малого водосбора, км/км2
красп	Числовой	Доля пашни от общей площади малого водосбора, %
курб	Числовой	Доля городских территорий от общей площади малого водосбора, %
русл	Числовой	Усредненная плотность сельского населения, чел/км2

Index	Q	клес	кбол	коз	друсл	красп	курб	русл
b1	3,1	6,03	0,29	0,15	1,74	58,95	0,88	61
B1	1,32	38,35	0	0,04	0,73	38,8	0	39
b2	15,06	27,36	0,28	0,13	1,41	46,81	0,64	48
B2	1,46	15,29	0	0,96	1,01	51,4	2,12	80
b3	16,54	28,74	0,18	2,42	1,27	45,82	0,42	52
B3	0,6	17,13	0,09	0,01	1,67	51,94	1,14	22
b4	25,37	34,01	0,35	0,34	1,19	41,45	0,37	34
B4	0,5	14,29	0,05	0,53	1,43	57,16	0	35
b5	31,21	5,41	2,84	1,37	0,71	52,88	3,24	59
B5	0,41	15,98	0,16	0,12	1,19	54,6	2,41	68
b6	32,61	20,25	0,79	0,23	0,79	55,82	0	25
B6	0,35	79,32	0,19	0,05	0,73	13,72	0	0
b7	35,3	5,26	1,31	0,25	0,92	77,03	0,53	49
B7	1,11	21,77	1,33	0,17	0,77	49,49	0	41
b8	41,4	4,89	1,23	0,07	0,87	74,67	0	57
B8	0,89	10,74	0,39	0,11	0,51	53,85	0	55
b9	45,31	14,84	0,88	0,19	0,81	66,92	0	65
B9	0,81	11,29	0,37	0,12	0,82	64,34	0	44
b10	47,2	39,52	1,91	0	0,73	47,49	0	23
B10	0,75	17,88	0,27	0,04	1,07	69,66	0	40
b11	49,8	15,14	2,46	1,32	0,74	50,97	0	32
B11	0,5	2,42	1,01	0,24	0,64	71,21	4,49	68
b12	51,89	28,42	5,42	0,23	0,99	42,51	0	34
B12	0,79	19,23	1,08	0,19	1,08	59,25	0	19
b13	52,2	41,77	5,07	0,79	0,76	30,19	0	31

Рисунок 2 – База данных Access вида «Комплексная оценка экологического состояния малых водосборов»

Остальные оценочные карты были построены на основе тематических карт, представленных в топографической основе ГИС с использованием модуля пространственных операций (GeoProcessingWizard).

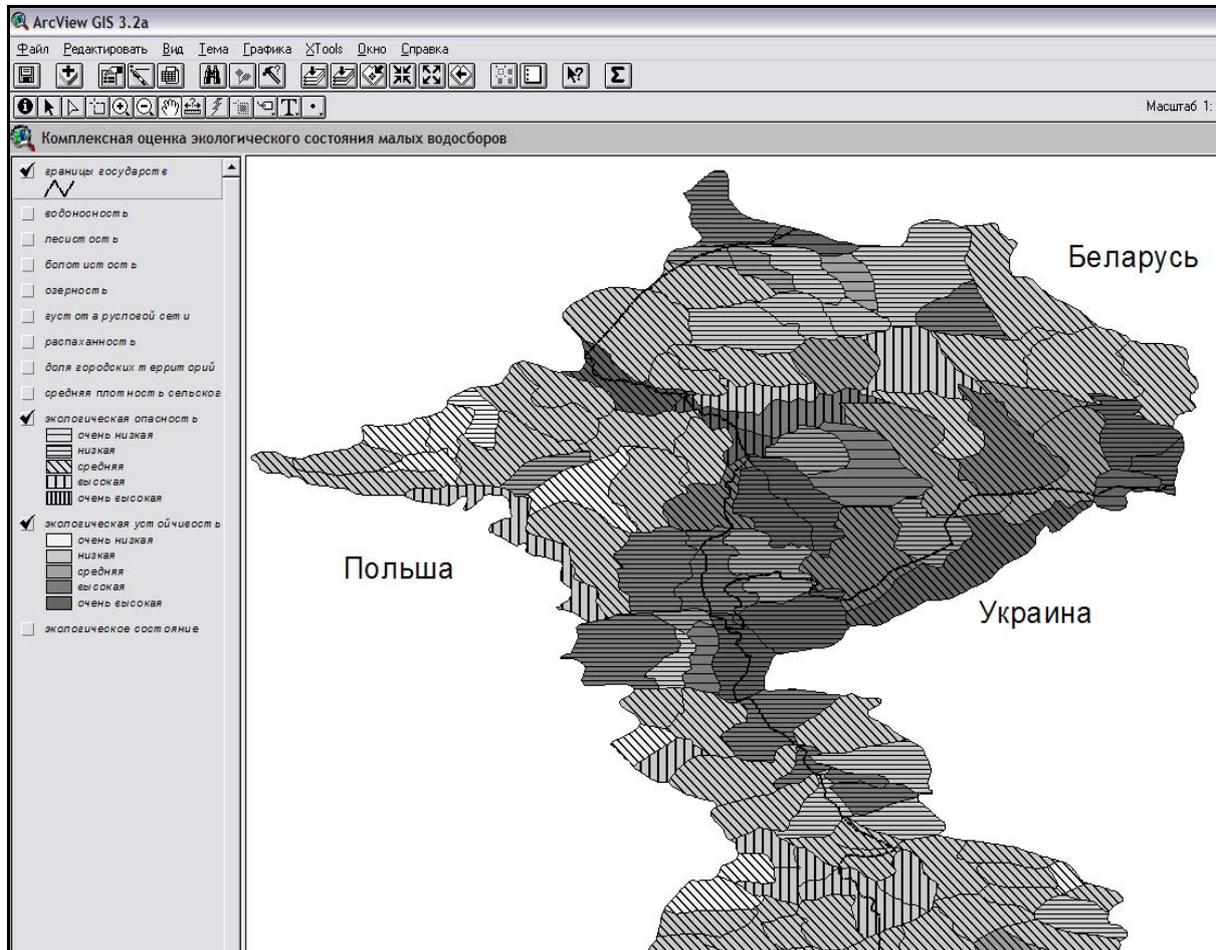
На рисунке 3 представлен вид «Комплексная оценка экологического состояния малых водосборов». В частности, с использованием метода пятиуровневого равноинтервального ранжирования и способов заливки и штриховки получена компоновка результатов оценки экологической устойчивости и экологической опасности малых водосборов.

Таким образом, разработанная концепция создания гидроэкологической ГИС трансграничной части бассейна реки Западный Буг является научнообоснованной, прошла апробацию и может служить основой проведения аналогичных исследований для других трансграничных бассейнов.

Полученные на основе описанной ГИС данные могут использоваться для информирования государственных и общественных организаций и населения об экологи-



ческом состоянии территории бассейна реки Западные Буг. Они могут быть представлены в виде текстовых документов, таблиц, карт, диаграмм, графиков и др.



**Рисунок 3 – Вид «Комплексная оценка экологического состояния малых водосборов» (компоновка тем «Экологическая устойчивость» и «Экологическая опасность»)**

Социально-экономическая значимость полученных результатов определяется выделением на основе разработанной ГИС малых водосборов с разной степенью экологической устойчивости и опасности, разработкой предложений по совершенствованию мониторинга, рациональному использованию и охране поверхностных вод.

В перспективе разработанная геоинформационная система будет периодически обновляться и модернизироваться, что позволит в дальнейшем проводить анализ динамики основных гидроэкологических показателей на территории трансграничной части бассейна реки Западный Буг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тикунов, В.С. Современные средства исследования системы «Общественно-природная среда» / В.С. Тикунов // Известия ВГО. – 1989. – Т. 121, вып. 4. – С. 299–306.



2. Митчел, Э. Руководство ESRI по ГИС анализу: Географические закономерности и взаимодействия / Э. Митчел. – М. : DATA+, 1999. – 191 с.
3. Электронное атласное картографирование для обеспечения устойчивого развития регионов Сибири / В.А. Снытко [и др.] // География и природ. ресурсы, 2003. – № 3. – С. 16–26.
4. Новик, С.М. Формирование и структура ГИС «Геоэкологическая оценка природно-ресурсного потенциала региона» / С.М. Новик // Известия Белорусской инженерной академии. – 2004. – № 1 (17)/2. – С. 268–271.
5. Витченко, А.Н. Использование ГИС-технологий при геоэкологических исследованиях / А.Н. Витченко, А.А. Витченко // География в XXI веке: Проблемы и перспективы : материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 70-летию геогр. фак. БГУ, Минск, 4–8 окт. 2004 г. / редкол. И.И. Пирожник (отв. ред.) [и др.]. – Минск : 2004. – С. 79–81.
6. Чиж, Д.А. Применение геоинформационных технологий при составлении схемы землеустройства административного района / Д.А. Чиж, К.К. Коршунов // Рэгіянальная геаграфія: Праблемы развіцця і выкладання : зборнік навуковых артыкулаў / пад рэд. М.І. Вішнеўскага. – Магілёў : МДУ імя А.А. Куляшова, 2004. – С. 200–202.
7. Лукьянчикова, О.Г. Геоинформационная система гидрологического назначения в Самарской области / О.Г. Лукьянчикова, Ф.Ю. Васильчиков, Л.К. Ульянкина // ArcReview. – 2006. – № 1 (36). – С. 10.
8. Высоченко, А.В. Опыт создания Атласа экологических карт бассейнов рек / А.В. Высоченко, Ж.А. Капилевич // ArcReview. – 2003. – № 1 (24). – С. 22.
9. Геладзе, А.В. Геоинформационная система бассейна р. Арагви / В. Геладзе [и др.] // ArcReview. – 2004. – № 4 (31). – С. 9.
10. Алексеев, В.В. Геоинформационная система мониторинга водных объектов и нормирования экологической нагрузки / В.В. Алексеев, Н.И. Куракина, Н.В. Орлова // ArcReview. – 2006. – № 1 (36). – С. 9.
11. Самойленко, В.М. Стратегія створення ГІС транскордонного басейну Дунаю / В.М. Самойленко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія : наук. збірн. / відп. ред. В.К. Хільчевський. – К. : Обрії, 2004. – Т. 6. – С. 20–31.
12. Токарчук, О.В. Гидрологическая характеристика трансграничной части бассейна реки Западный Буг / О.В. Токарчук // Весн. Брэсцкага у-та. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2008. – № 2. – С. 114–125.

***S.M. Tokarchuk, O.V. Tokarchuk. Experience of Creation of Hydroecological Geoinformation System of River Basin (on the Example of Transboundary Part the Basin of River Western Bug)***

The article describes the experience of creation of regional geographical information system (GIS) on the example of GIS of transboundary part of the river Western Bug basin. The paper views the aim, tasks, function of GIS. The special attention is given to the basic stages of its development and creation. GIS structure consists of projects of three levels. The data structure scheme is given for each of projects. The basic directions of practical application of the received results are disclosed.