

УДК 911.2: 502.51 (285)

В.А. Мартынюк

канд. геогр. наук, доц., проф. каф. экологии, географии и туризма
Ровненского государственного гуманитарного университета (Украина)
e-mail: martynyukVO@gmail.com

МОДЕЛЬ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРНО-БАССЕЙНОВОЙ СИСТЕМЫ

Обосновывается модель геоэкологического состояния озерно-бассейновой системы. В качестве ключевого объекта геоэкологических исследования предложена озерно-бассейновая система оз. Заозирье (Волинское Полесье, Украина). Приведены оригинальная батиметрическая карта озера и основные морфометрические, гидрологические и гидрохимические параметры озерно-бассейновой системы. Показана схема-модель соотношения максимальной глубины водоема и максимальной толщи донных осадков, а также некоторые геохимические показатели озерных отложений по радиальному профилю. Разработаны ландшафтные карты природно-аквального комплекса озера и его водосбора с выделением морфологических единиц ранга акваурочище, аквафация и сухопутных урочищ. Осуществлена ландшафтометрическая и пространственно-типологическая оценка озерно-бассейновой системы оз. Заозирье, включающая расчеты площадей земельных угодий, природных комплексов, ряда коэффициентов. Предлагается использовать данную модель геоэкологического состояния озерно-бассейновой системы в качестве базовой для ландшафтного планирования локальных территорий и сбалансированного природопользования антропогенно-трансформированных озерных водоемов Полесья.

Введение

Существенное возрастание роли техногенного фактора на озерные системы побуждают многих исследователей к разработке действенных механизмов по оценке их геоэкологического состояния, прогнозирования и развития в условиях природных и антропогенных трансформаций. Актуальность геоэкологических исследований озерно-бассейновой системы (ОБС) мы связываем с реализацией Рамочной директивы Европейского союза в сфере водной политики [1], выполнением Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер [2], Парижского пакта по воде и адаптации к изменению климата в бассейнах рек, озер и водоносных горизонтов [3], а также воплощением в жизнь национальных проектов по устойчивому развитию регионов и бассейновых систем.

Материалы и методы

Под озерными системами мы понимаем целостные природные образования – «озеро – водосбор», формирование, эволюция и современное состояние которых проходит в парагенетическом единстве. Поэтому познание геоэкологических аспектов их динамики и развития мы рассматриваем в системной связи. Анализируя озерно-бассейновую систему с ландшафтных позиций, мы используем геокомплексную терминологию, т.е. выделяем локальные природно-территориальные комплексы (ПТК) водосбора и природно-аквального комплекса (ПАК) самого водоема [4]. В методическом плане нам близки геоэкологические подходы в оценке озерных систем Б. Власова и др. [5; 6], Н. Грищенко [7], Л. Ильина [8], которые способствовали разработке модели геоэкологического состояния ОБС. Предлагаемая модель геоэкологического состояния ОБС состоит из нескольких блоков, в частности гидролого-морфометрического, гидрохимического и геохимического, ландшафтного и ландшафтометрического, сбалансированного природопользования. Под «геоэкологическим состоянием» бассейновой системы мы понимаем соотношение количественных и качественных параметров структуры и функционирования ландшафтной ОБС в конкретный интервал времени. Отдельные аспекты

по оценке геоэкологического состояния ОБС Украинского Полесья нами приведены в работе [9].

Цель исследования – раскрыть особенности модели геоэкологического состояния ОБС (на примере бассейна оз. Заозирье) для целей сбалансированного природопользования. Частично в работе использованы материалы по донным отложениям Киевской ГРЭ.

Результаты и их обсуждение

Бассейновая система оз. Заозирье сформировалась в пределах трансграничного Верхнеприпятского физико-географического района Волынского Полесья Украины и приурочена к местности борových террас на аллювиальных переувлажненных водно-ледниковых супесях, подстилаемых меловыми породами. Озеро представляет водоем карстового происхождения овальной формы, вытянутый с северо-востока на юго-запад.

Гидролого-морфометрический блок. В середине февраля 2017 г. нами были проведены гидрологические промеры глубин озера с закладкой пяти поперечников и 169 лунок. Максимальная глубина озера, по нашим исследованиям, составила 5,2 м, а средние глубины – 2,4–2,7 м. Глубины озера возрастают ближе к осевой части водоема. Используя материалы по гидрологическому профилированию водоема, мы построили цифровую батиметрическую модель оз. Заозирья (рисунок 1).

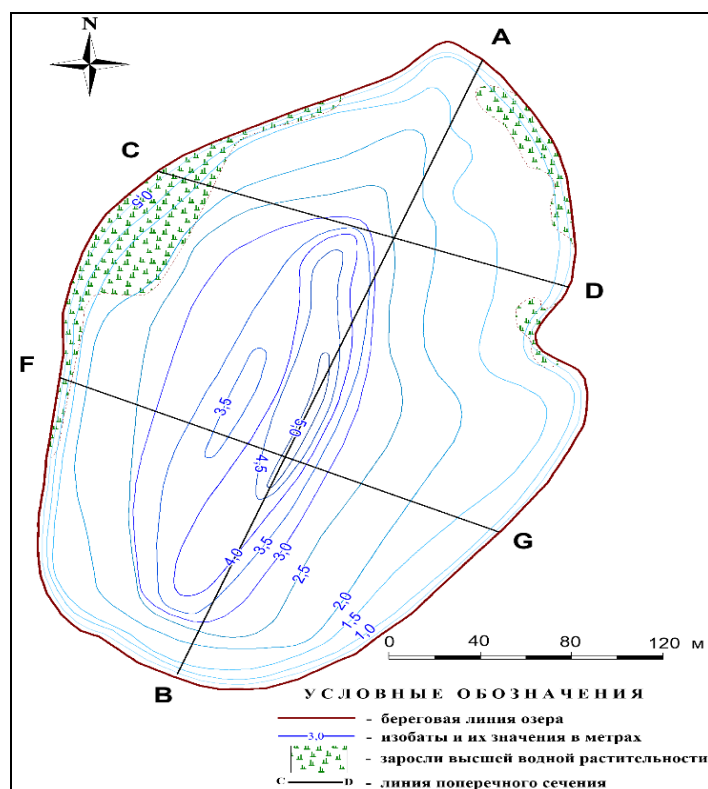


Рисунок 1. – Батиметрическая модель оз. Заозирья

Северо-западная и локально северо-восточная части литоральной зоны озера покрыты зарослями макрофитов, которые отчетливо дешифрируются на аэрофотоснимке. Собранный базис данных полевых лимнологических поисков и картометрических исследований средствами ГИС позволили составить целостную картину морфометрических и гидрологических параметров бассейна оз. Заозирья (таблица 1). Площадь озера составляет 0,06 км². Длина озера 0,37 км, ширина максимальная – 0,24 км, а средняя –

0,17 км. Длина береговой линии водоема 0,97 км. Береговая линия изрезана слабо, выражена четко. Озеро бессточное. Объем водных мас озера составляет 170,7 тыс. м³. Основной источник питания – атмосферные осадки. Показатель площади равен 0,18, а удельного водосбора – 5,52. Некоторые коэффициенты озера и гидрологические показатели целостной ОБС приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Морфометрические и гидрологические параметры бассейна оз. Заозирья

F, км ²	H _{абс.} , м	h _{ср.} , м	h _{мах.} , м	L, км	B _{мах.} , км	B _{ср.} , км	l, км	K _{изв.}	K _{удл.}
0,063	140,6	2,71	5,20	0,374	0,238	0,168	0,967	0,614	2,226
K _{ёмк.}	K _{откр.}	K _{гл.}	V _{оз.} , тыс. м ³	K	ΔS, км ²	W _{пр.} , тыс. м ³	a _{вод.}	Δa _{вод.} , мм	A _{сл.} , мм
0,521	0,023	0,016	170,7	0,181	5,524	439,00	2,572	0,389	490,517

Гидрохимический и геохимический блок. Проведенные нами исследования по химическому анализу воды оз. Заозирья были сгруппированы по трем блокам: солевой, трофо-сапробиологический и токсического влияния (таблица 2).

Таблица 2. – Гидрохимические показатели оз. Заозирья (по состоянию на 04.04.2016)

№ п/п	Показатели	ПДК*	Результаты измерений
А. Показатели солевого состава			
1	Сухой остаток, мг/дм ³	<300	345
2	Хлорид-ионы, мг/дм ³	300	21,3
3	Сульфаты, мг/дм ³	100	26,1
Б. Трофо-сапробиологические показатели			
1	Взвешенные вещества, мг/дм ³	25	6,5
2	Прозрачность, м	>1,5	1,2
3	pH	6,5-8,1	7,1
4	NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³	0,5	0,00
5	NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	40	0,215
6	NO ₂ ⁻ , мгN/дм ³	0,08	0,12
7	PO ₄ ³⁻ , мгP/дм ³	2,14	0,09
8	Растворенный кислород, мгO ₂ /дм ³	≥6	9,23
9	% насыщения	>85	Не определялся
10	БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³	3	5,05
С. Специфические показатели токсического влияния			
1	Медь, мг/дм ³	0,001-0,01	0,0012
2	Цинк, мг/дм ³	0,01	0,2969
3	Кадмий, мг/дм ³	0,005	0,0024
4	Кобальт, мг/дм ³	0,01	0,0048
5	Марганец, мг/дм ³	0,01	0,0054
6	Свинец, мг/дм ³	0,01	0,0194
7	Железо, мг/дм ³	0,1	0,149

Примечание – * – предельно допустимые концентрации учитывались по [10].

По солевому показателю гидрохимических проб воды мы выявили превышение ПДК только по сухому остатку. Результаты исследований по трофо-сапробиологическим показателям озерной воды показали незначительное превышение нормативных значений по нитратам, а также низкий показатель прозрачности воды.

По блоку специфических показателей токсического влияния анализировалось присутствие семи химических элементов воды озера. Нами выявлено очень высокое содержание цинка (0,2969 мг/дм³) в подвижной форме, которое превышает нормативы

почти в 30 раз. Превышающие нормативные показатели наблюдаются также для железа общего и свинца. Более детально гидрохимические характеристики озера приведены в таблице 2.

Важной составной в оценке геоэкологического состояния ОБС есть литологические особенности и мощность озерных отложений, а также их геохимические характеристики. Донные отложения оз. Заозирье, по данным Киевской ГРЭ, представлены в основном органо-силикатными и карбонатными разновидностями сапропеля.

Площадь сапропеля в пределах озера 5,4 га. Максимальная мощность сапропелевой толщи озера составляет около 10,0 м, а средняя – 6,94 м. Запасы сапропеля по категории С₂ 374,8 тыс. м³, а в пересчете на условную 60 % влажность – 52,1 тыс. т. Глубина пелогена составляет 0,2–0,3 м.

Нами построена схема-модель разреза озерной котловины, а также графики распределения соединений кальция, железа и кислотности на разных горизонтах донных отложений (рисунок 2). Соединения Fe₂O₃ на данной точке зондирования варьируют от 0,82 % (4,5 м глубины) до 6,78 % (9,0 м глубины), средний показатель – 1,5 %. Диапазон распределения соединений CaO в толще отложений находится в пределах от 0,75 % (5,0 м) до 2,84 % (13,0 м), средний показатель – 1,5 %. Показатель кислотности озерного сапропеля варьирует от слабокислой 5,2 (на глубине 5,5–6,0 м) до нейтральной – 6,74 (на глубине 13,0 м) степени.

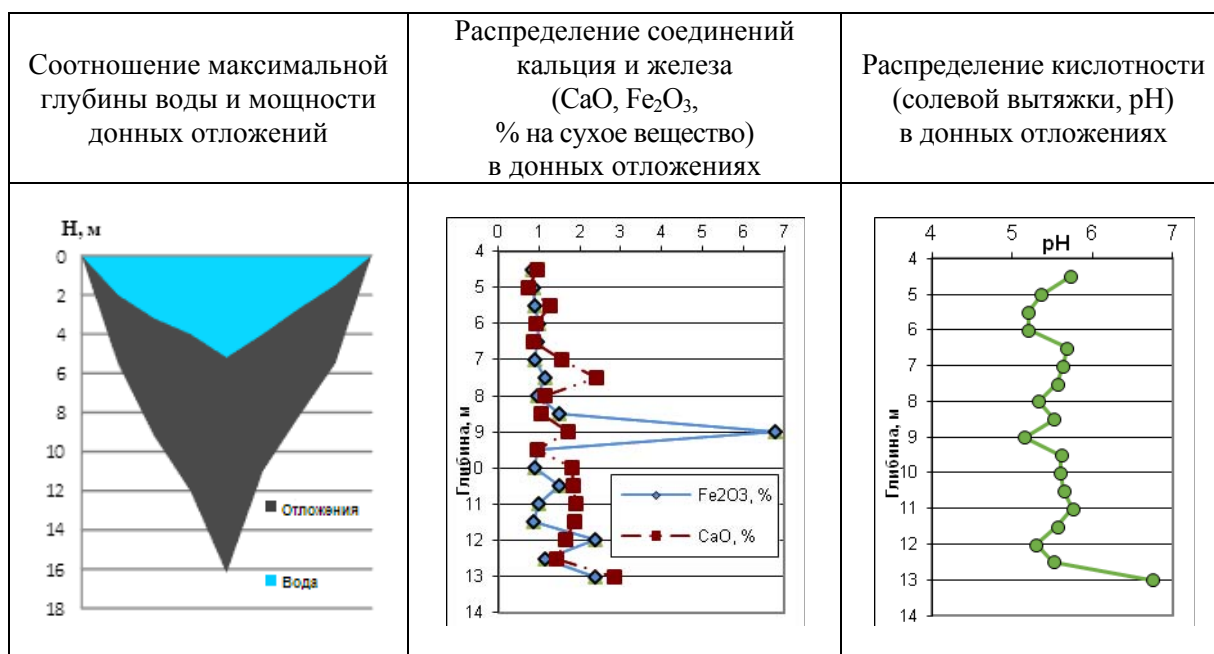
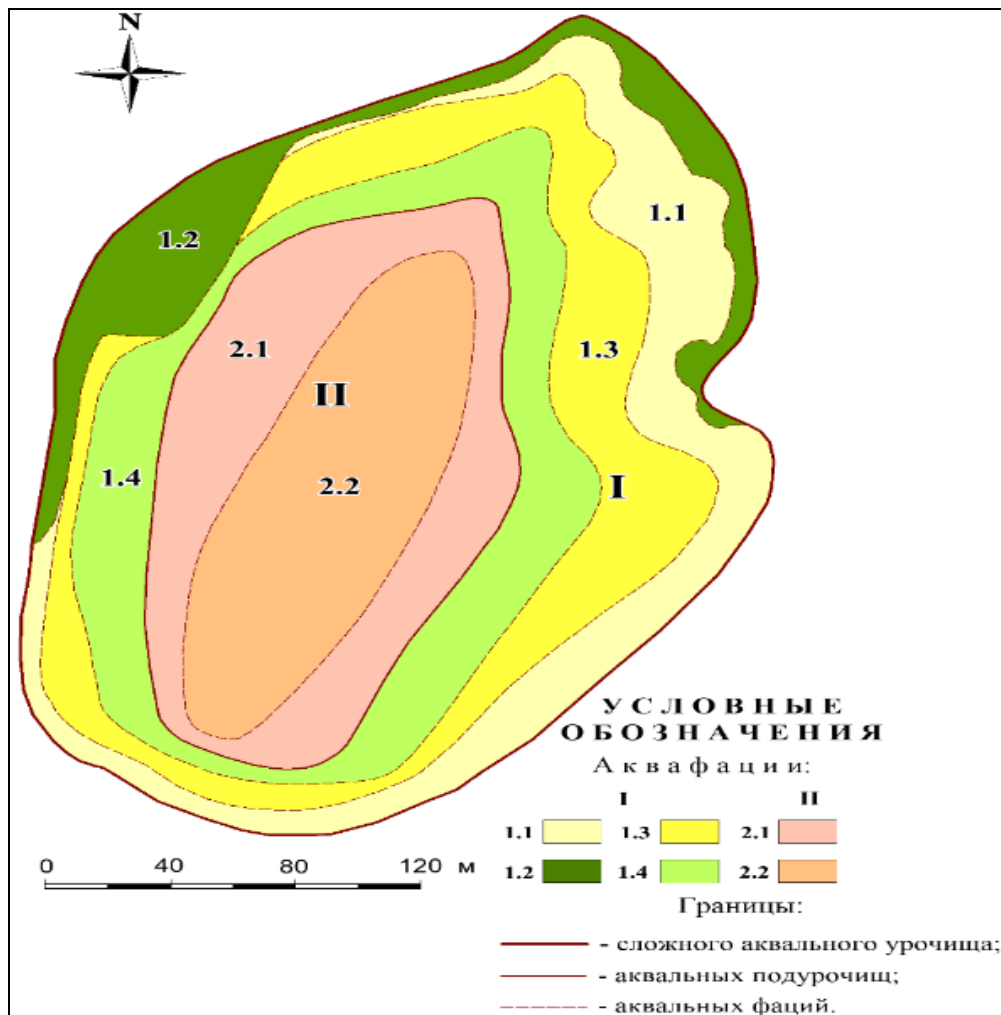


Рисунок 2. – Схема-разрез озерной котловины и некоторые геохимические характеристики донных отложений оз. Заозирье (построено по материалам Киевской ГРЭ)

Ландшафтно-географический и ландшафтометрический блоки занимают центральное место в данной модели. Гидролого-батиметрические и гидрогеохимические исследования, проведенные нами, послужили базовой основой для составления цифровой ландшафтной карты ПАК озера (рисунок 3).



I. Литоральное акваподурочище на аллювиальных песках и органо-силикатных сапропелевых отложениях с видовым разнообразием надводных и подводных макрофитов.

Аквафации: 1.1. Литоральные аккумулятивно-абразионные песчаные, осоково-рогозовые, без температурной стратификации. 1.2. Литоральные абразионно-аккумулятивные песчано-илистые, осоково-рогозово-тростниковые, без температурной стратификации. 1.3. Литоральные транзитно-аккумулятивные органо-песчанистые сапропелевые маломощные (до 3,0 м), роголистниково-харовые, без температурной стратификации. 1.4. Литоральные аккумулятивные органо-глинистые сапропелевые среднемощные (3,0–6,0 м), с полностью погруженной водной растительностью, без температурной стратификации.

II. Сублиторальное акваподурочище на карбонатных сапропелевых отложениях, сформировавшихся на аллювиальных песках.

Аквафации: 2.1. Сублиторальные аккумулятивно-транзитные глинисто-известняковые сапропелевые мощные (6,0–9,5 м), разреженных свободно плавающих водорослей, без температурной стратификации. 2.2. Сублиторальные аккумулятивные ложа озерной котловины известняково-сапропелевые, с линзами органо-железистых сапропелей, мощные (9,5–11,0 м), с видовой растительной бедностью и незначительной амплитудой температурных колебаний летом.

Рисунок 3. – Ландшафтная структура природно-аквального комплекса оз. Заозирье

Рассматривая оз. Заозирье как сложное акваурочище, мы выделили в нем литоральное и сублиторальное акваподурочища, а также шесть видов аквафаций. Литораль-

ное акваподурочище занимает наибольшую площадь (64,48 %) ПАК; здесь нами выделено четыре вида аквафаций (таблица 3). Наибольших природно-антропогенных трансформаций испытывают литоральные абразионно-аккумулятивные песчано-илистые аквафации (п 1.2). Они покрыты обилием макрофитов, представленных осоково-рогозово-тростниковыми сообществами. Сублиторальное акваподурочище занимает центральную глубоководную часть ПАК, оно незначительное по площади (33,33 %) и видовом разнообразии аквафаций. Детальная оценка ландшафтометрических характеристик ПАК озера приведена в таблице 3.

Таблица 3. – Ландшафтометрическая оценка ПАК оз. Заозирье

Вид ПАК		Площадь вида ПАК, га		% площади вида от общей площади		Количество контуров вида фаций в пределах ПАК	% от общего количества	Средняя площадь вида аквафаций, га	Индекс дробности ландшафтных контуров	Индекс ландшафтной сложности	Индекс ландшафтной раздробленности
Акваподурочище	Аквафация, n	Акваподурочище	Аквафация	Акваподурочище	Аквафация						
I		4,037		64,48		4	66,67	1,010	0,991	3,960	0,750
	1.1		1,018		16,26						
	1.2		0,631		10,08						
	1.3		1,186		18,94						
	1.4		1,202		19,20						
II		2,224		35,52		2	33,33	1,112	0,899	1,799	0,500
	2.1		1,153		18,42						
	2.2		1,071		17,11						
Всего		6,261	6,261	100,00	100,00	6	100,00	1,044	0,958	5,747	0,833

Подсистемой второго порядка, или, с позиций экосистемного подхода, «домом», «средой», в ОБС выступает водосбор. Площадь водосбора оз. Заозирье незначительна и составляет 0,35 км² (таблица 4).

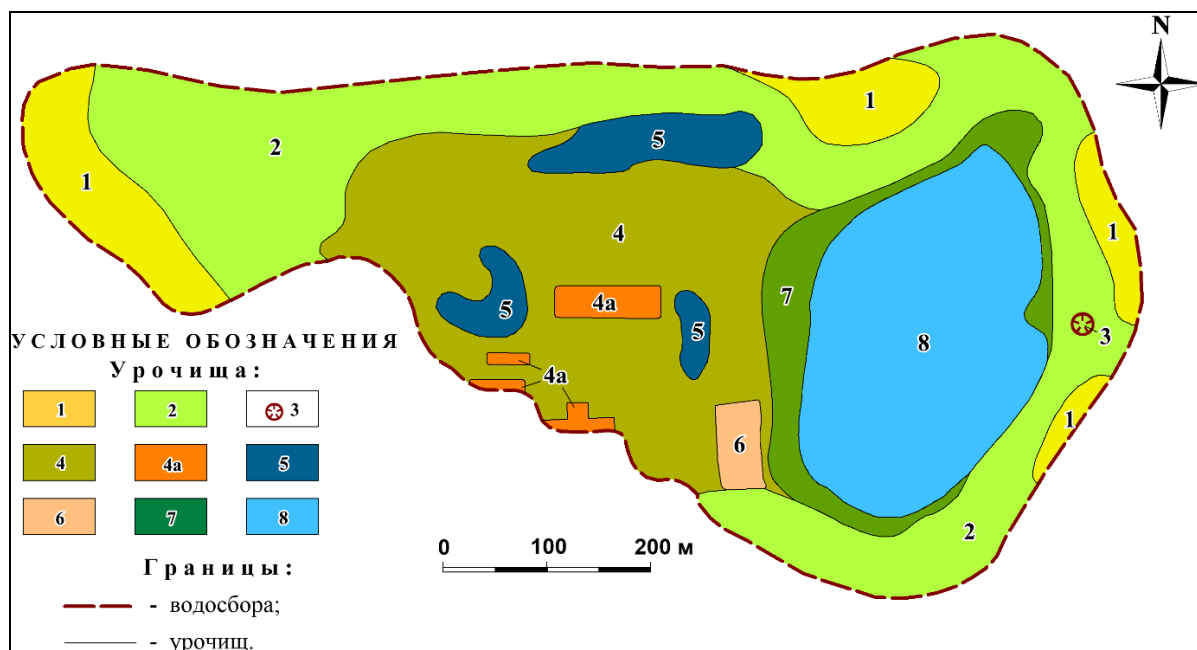
Таблица 4. – Структура земельных угодий водосбора оз. Заозирья (рассчитано по картам)

$S,$ $км^2$	$P,$ $км^2$	m	Площадь угодий										$S_{обр.}/$ $S_{необр.},$ %
			$F_{оз.}$		$f_{лес.}$		$f_{пески.}$		$f_{малопрод.з.}$		$f_{с.з.}$		
			$км^2$	%	$км^2$	%	$км^2$	%	$км^2$	%	$км^2$	%	
0,3482	2,794	1,335	0,06261	17,98	0,1401	40,24	0,0088	2,53	0,12779	36,70	0,0089	2,56	2,63

Примечание – S – площадь водосбора; P – периметр водосбора; t – коэффициент изрезанности линии водосбора; F_{оз.} – площадь озера; f_{лес.} – залесенность; f_{пески.} – открытые пески; f_{малопрод.з.} – малопродуктивные земли; f_{с.з.} – селитебные земли; S_{осв.} – показатель хозяйственного освоения водосбора.

Наибольшую площадь (40,24 %) в структуре земельных угодий водосбора занято лесом. Второе место по площади занимают малопродуктивные необрабатываемые земли, которые составляют 36,7 % территории. До 2003 г. на этих угодьях размещался животноводческий комплекс, насчитывавший около 800 единиц поголовья крупного рогатого скота. Сегодня там остались руины и остатки фундаментов от нескольких ферм. Незначительную площадь (2,53 %) занимают открытые пески и селитебные земли (2,56 %); около 18 % угодий приходится на акваторию самого озера. Сегодня показатель хозяйственного освоения водосбора составляет 2,63 %, но в начале 2000-х годов он составлял 64,63 %.

По результатам полевых исследований нами построена ландшафтная карта водосбора оз. Заозирье с выделением морфологических единиц ранга урочище (рисунок 4).



1. Песчаные холмы и дюны с покатыми ($10-15^{\circ}$) склонами, покрытые лишайниково-кустарничковыми и разнотравно-зеленомошными сосновыми борами на дерново-скрытоподзолистых щебнистых песчаных и супесчаных почвах.

2. Слабопокатые ($5-10^{\circ}$) склоны песчаных холмов и дюн, покрытые черничниково-разнотравными и лишайниково-орляковыми сосновыми борами на дерново-скрытоподзолистых и слабоподзолистых щебнистых эродированных песчаных и супесчаных почвах.

3. Карстовые воронки и впадины, покрытые лишайниково-можжевеловыми и разнотравно-зеленомошными березово-сосновыми борами на перегнойно-карбонатных глееватых почвах.

4. Выверенные и слабоволнистые участки озерной террасы, покрытые лишайниково-черничниково-зеленомошными сосновыми и березово-сосновыми борами на дерново-слабоподзолистых глееватых, местами щебнистых песчаных и супесчаных почвах.

4а. Руины бывшего животноводческого комплекса с остатками фундаментов.

5. Локальные замкнутые понижения, покрытые разнотравно-осоково-злаковыми низкорослыми ольхово-березовыми и березово-сосновыми лесами на дерновых глееватых и глеевых лугово-болотных почвах, частично мелиорированных.

6. Разрушенные силосные сооружения (траншеи, ямы) бывшей сельскохозяйственной фермы, заросшие кустарниками и разнотравьем.

7. Приозерные узкие понижения, покрытые мезофитно-злаково-разнотравным и рогозово-осоково-зеленомошным березово-ольхово-ивовым редколесьем.

8. Озерная котловина овальной и удлиненной формы, в литоральной зоне покрыта осоково-ситниково-камышовыми сообществами, а в сублиторали – разреженными плавающими и донными водорослями на сапропелях.

Рисунок 4. – Ландшафтная структура водосбора оз. Заозирье

В пределах водосбора нами выделено семь суходольных ПТК и ПАК ранга сложного акваурочища озера. Песчаные холмы и дюны, а также склоновые участки этих же холмов и дюн опоясывают периферию водосбора, за исключением юго-западной его части. На этом участке в 1960-х гг. природные рубежи водосбора были спланированы под строительство животноводческого комплекса.

Нами проведена ландшафтометрическая оценка геокомплексов водосбора оз. Заозирье (таблица 5). Наибольшую площадь (34,35 %) занимают ПТК склонов песчаных холмов и дюн (п. 2) и выровненные слабоволнистые участки озерной террасы (п. 4 – 24,73 %). Средняя площадь контуров ПТК водосбора составляет 0,020 км². Более детально оценочные характеристики приведены в таблице 5.

Таблица 5. – Оценочные показатели ПТК водосбора оз. Заозирье

Индекс урочищ, п	Площадь вида геокомплекса, км ²	% площади вида от общей площади	Количество контуров вида	% от общего количества	Средняя площадь вида, км ²
1	0,0345	9,91	4	23,53	0,0086
2	0,1196	34,35	1	5,88	0,1196
3	0,0002	0,06	1	5,88	0,0002
4	0,0861	24,73	1	5,88	0,0861
4a	0,0053	1,52	4	23,53	0,0013
5	0,0161	4,62	3	17,65	0,0054
6	0,0036	1,03	1	5,88	0,0036
7	0,0202	5,80	1	5,88	0,0202
8	0,0626	17,98	1	5,88	0,0626
Всего	0,3482	100,00	17	100,00	0,020

Заключение

1. Предлагаемая модель геоэкологического состояния ОБС может стать основой для разработки экологических (геокадастровых) паспортов озер, а также ландшафтного планирования локальных территорий Полесья.

2. Разработка стратегии (данной ОБС или подобных ей) должна проводиться с учетом приоритета сбалансированного природопользования локальных территорий при оптимизированной структуре землепользования и интегрированного управления водными ресурсами. Предлагаем ОБС оз. Заозирье включить в перспективную зону регулируемой рекреации будущего национального природного парка «Нобельский».

3. Перспективы дальнейших исследований ОБС оз. Заозирье будут направлены на гидробиологические поиски ПАК, ведения гидрохимического мониторинга, оценки геохимических процессов в бассейновой системе и экспертную оценку рекреационного природопользования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. DIRECTIVE 2000/60/EC of the European Parliament and of the council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy [Electronic resource]. – Mode of access: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:-5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF. – Date of access: 20.05.2018.

2. Economic Commission for Europe. Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. Second Assessment of transboundary rivers, lakes and groundwaters [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.unigrac.org/-ru/resource/2nd-unece-assessment-convention-protection-and-use-transboundary-watercourses-and->. – Date of access: 20.05.2018.

3. Paris Pact on Water and Adaptation to Climate Change in the Basins of Rivers, Lakes, and Aquifers [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sustainabledevelopment.un.org/partnership/?p=9546>. – Date of access: 20.05.2018.

4. Мартинюк, В. О. Ландшафтно-лімнологічний аналіз басейнової (озерної) геосистеми / В. О. Мартинюк // Наук. Зап. Тернопіл. держ. пед. ун-ту. Сер. Географія. – 1999. – № 2. – С. 29–36.

5. Геоэкологическая оценка природно-ресурсного потенциала озерных геосистем : метод. рекомендации / Б. П. Власов [и др.]. – Минск : БГУ, 2012. – 23 с.

6. Геоэкологическая оценка природно-ресурсного потенциала антропогенно нарушенных озерных бассейнов : метод. рекомендации / Б. П. Власов [и др.]. – Минск : БГУ, 2015. – 44 с.

7. Hryszczankawa, N. D. Geoecological assessment of the natural resources potential in lake geosystems of the Belarusian Poozerye / N. D. Hryszczankawa // Acta Geographica Silesiana. – 2014. – № 17. – P. 17–31.

8. Ільїн, Л. В. Лімнокомплекси Українського Полісся : монографія : у 2 т. / Л. В. Ільїн. – Луцьк : Вежа, 2008. – Т. 2 : Регіональні особливості та оптимізація. – 400 с.

9. Мартынюк, В. А. Конструктивно-географическая модель антропогенно-модифицированной озерно-бассейновой системы озера Карасин (Волыньское Полесье, Украина) / В. А. Мартынюк // Вестн. Брест. ун-та. Сер. 5, Химия. Биология. Науки о земле. – 2014. – № 2. – С. 110–122.

10. Гранично допустимі значення показників якості води для рибогосподарських водойм. Загальний перелік ГДК і ОБРВ шкідливих речовин для води рибогосподарських водойм: [№ 12–04–11 чинний від 09–08–1990]. – Київ : Мін-во рибного го-ва СССР, 1990. – 45 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 11.07.2018

Martyniuk V.A. The Model of Geoecological Condition of the Lake-Basin System

The model of the geoecological state of the lake basin system (LBS) has been substantiated. The LBS of Lake Zaoziryia (Volynskoe Polesye, Ukraine) as the key object of geoecological research has been proposed. The original bathymetric map of the lake and the main morphometric, hydrological and hydrochemical parameters of the LBS have been represented. The scheme-model of the relationship between the maximum depth of the reservoir and the maximum thickness of bottom sediments and some geochemical indicators of lake sediments along the radial profile have been shown. The landscape maps of the natural-aquatic complex of the lake and its catchment area with the allocation of morphological units of grade aquastow, aquafacies and land stows have been developed. The landscape-metric and spatio-typological estimation of the LBS of Lake Zaoziryia, including calculations of areas of land, natural complexes, and the number of coefficients has been done. It has been proposed to use this model of the geoecological state of the LBS as a base for landscape planning of local areas and balanced natural use of anthropogenically transformed lake reservoirs in Polesye.