

15. Kahl A. Urtiere oder Protozoa. Wimpertiere oder Ciliata (Infusoria). In Dahl F.: Die Tierwelt Deutschlands. — Jena: G. Fischer, 1930–35. — B. 18, 21, 25, 30. — 860 s.
16. Klein B. Ergebnisse mit einer Silbermethode bei Ciliaten // Arch. Protistenk. — 1926. — B. 56. — S. 243–279.

ІНФУЗОРІЇ РИБНИЦЬКИХ ВОДОЙМ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ I. ПЛАНКТОН

А.А. Ковальчук

Протягом 1988–1989 рр. вивчали планктонні вільноживучі інфузорії (Ciliophora) рибницьких водойм — рибницькі стави та одна водойма комплексного призначення (Київська обл.). Виявлено 102 види і варієтети вільноживучих планктонних інфузорій, 3 з яких виявилися новими для України. Вивчено сезонну динаміку чисельності, біомаси, видового складу, а також продукції і деструкції органічної речовини угрупованнями цих найпростіших.

CILIATES IN FISH-BREEDING RESERVOIRS OF KYIV REGION I. PLANKTON

A. Kovalchuk

In 1988–1989 the free-living ciliates (Ciliophora) of plankton of fish waters (the Dnieper basin, Kyiv Province) were investigated. Two fish ponds and one reservoir of complex assignment were better investigated. In these waters 102 species and varieties of ciliates were found, three of which were new for Ukraine. Seasonal dynamic of quantity and biomass, as well as production and destruction of organic substances by ciliates were studied. The average data of quantity and biomass of ciliates, and partially their functional activity in fish ponds differ from the reservoir of complex assignment statistically reliable (are significantly higher).

УДК 574.5 (09)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ВОСПРОИЗВОДСТВА АБОРИГЕННЫХ РЫБ В БАССЕЙНАХ МАЛЫХ РЕК

И.В. Гриб¹, В.В. Сондак², В.И. Козлов³

¹Институт гидробиологии НАН Украины,

²Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

Исследованы условия формирования ихтиоценоза Стырь-Горынского и Припятского гидроэкологических коридоров, бассейна р. Днепр. Оценена значимость составляющих воспроизводства рыб: качества воды, температуры, гидрологического режима, состояние популяций рыб и кормовой базы в различные периоды затопления поймы. Рассмотрены возможные пути реабилитации мегаэкосистемы р. Припять и ее притоков.

Оздоровление речных бассейнов в современных условиях является одной из основных проблем сохранения ихтиоценозов. Ключом для их решения является комплексный анализ влияния на водную среду природных и антропогенных факторов на основе пространственного

экомаркера. Академик В.И. Вернадский, разрабатывая концепцию ноосферы — биосферы, преобразованной научной мыслью и хозяйственной деятельностью человека, утверждал, что процесс преобразования природной среды необратим, связан с развитием общества, порождает

изменения во внешней среде [6, 7], причем изменения могут нести как положительные, так и отрицательные, а в некоторых случаях даже катастрофические последствия [27]. В связи с этим важно найти обобщающие числовые характеристики для определения лимитирующих факторов этого влияния.

Обычно нарушения в водных экосистемах мы определяем по качеству водной среды, биоразнообразию и продуктивности, которые связаны между собой функциональной зависимостью:

$$I_{\text{разнообр}} = f\left(\Delta K_{\text{эк}}, \frac{\sum I_n}{n}, \Delta n, N, St, \tau\right), \quad (1)$$

где $\Delta K_{\text{эк}}$ — трансформация поверхности водосбора; $\sum I_n/n$ — средние значения учитываемых индексов состояния гидробиоценозов и водной среды

$$\sum I_n/n = \frac{Ia.\text{max} + Ib.\text{max} + Ic.\text{max}}{n}; \quad \Delta n —$$

изменения численности или видового состава ихтиофауны за счет интродукции, восстановления или исчезновения чувствительных видов; N — количество пограничных (промежуточных) зон-эктонов; St — наличие стрессовых ситуаций; τ — период затопления поймы.

Рассматриваемая нами концепция комплексной оценки условий воспроизводства аборигенной ихтиофауны развита на основании и в развитие бассейнового принципа функционирования водных экосистем и соединяющих их гидроэкологических коридоров [24, 30].

Ранее было определено, что гидроэкологический коридор (ГЭК) — это территориальный элемент экологической сети, соединенный с водными объектами, которые являются миграционными каналами движения флоры, фауны, энергии и вещества [11, 24, 27, 30].

Параметры экосистемы реки изменяются в зависимости от времени года, уровня и периода весеннего затопления ее поймы. В период паводка речная вода на пойме отстаивается и очищается, в ней развивается зоопланктон для молоди рыб, а повышение температуры воды до +10–12°C обеспечивает нерест и развитие зародышей. Далее осуществляется скат подростой молоди в основное русло реки. В паводковый период возрастает количе-

ство пограничных зон-эктонов, благодаря которым обеспечивается укрытие рыб или их миграция при неблагоприятных условиях среды (нарушении кислородного режима или отсутствии кормовой базы при плохом качестве воды) до притоков первого и второго порядка придаточной сети, затапливаемых понижений рельефа (фантомных озер-нерестилищ, родников). В конечном итоге происходит обмен энергией и веществом между поймой и руслом реки (рис. 1, 2) [8, 30, 31].

Цель работы — определение оценочных критериев динамики развития речных бассейнов: разработка матрицы состояния, лимитирующих факторов влияния, путей восстановления и реабилитации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования — гидроэкологические коридоры участков бассейнов рек и территорий Украины: Припятский и Стырь-Горынский с притоками первого порядка. Для сравнения приводятся ГЭКи бассейнов рек Азовского моря и Днепровской устьевой области.

В период исследований облавливали зимовальные ямы неводами и ставными орудиями лова перед становлением льда (ноябрь, декабрь) с использованием общепринятых методик наряду с опросом рыбаков-любителей [1, 10, 17, 18]. Для этого были получены разрешения на специальный лов рыб и других водных живых ресурсов (002 от 17.08.2007 г., 007 от 18.03.2008 г., РГ 006 от 20.06.2009 г.), выданные Государственным Комитетом рыбного хозяйства Украины. Суммарно было отобрано 6582 экз. разных видов рыб, камеральная обработка которых дала возможность выявить современный видовой состав и состояние ихтиоценоза исследуемых речных бассейнов. Сравнивали их с известными данными 50–70-летней давности.

Динамику гидрологического режима исследовали, используя ежегодники гидрометеослужбы Полесского региона (1922–2005 гг.). Обработку данных осуществляли с помощью разработанной нами математической программы в редакторе Delphi.

В современных исследованиях, согласно экологической классификации, качество воды измеряют по 50 показателям.

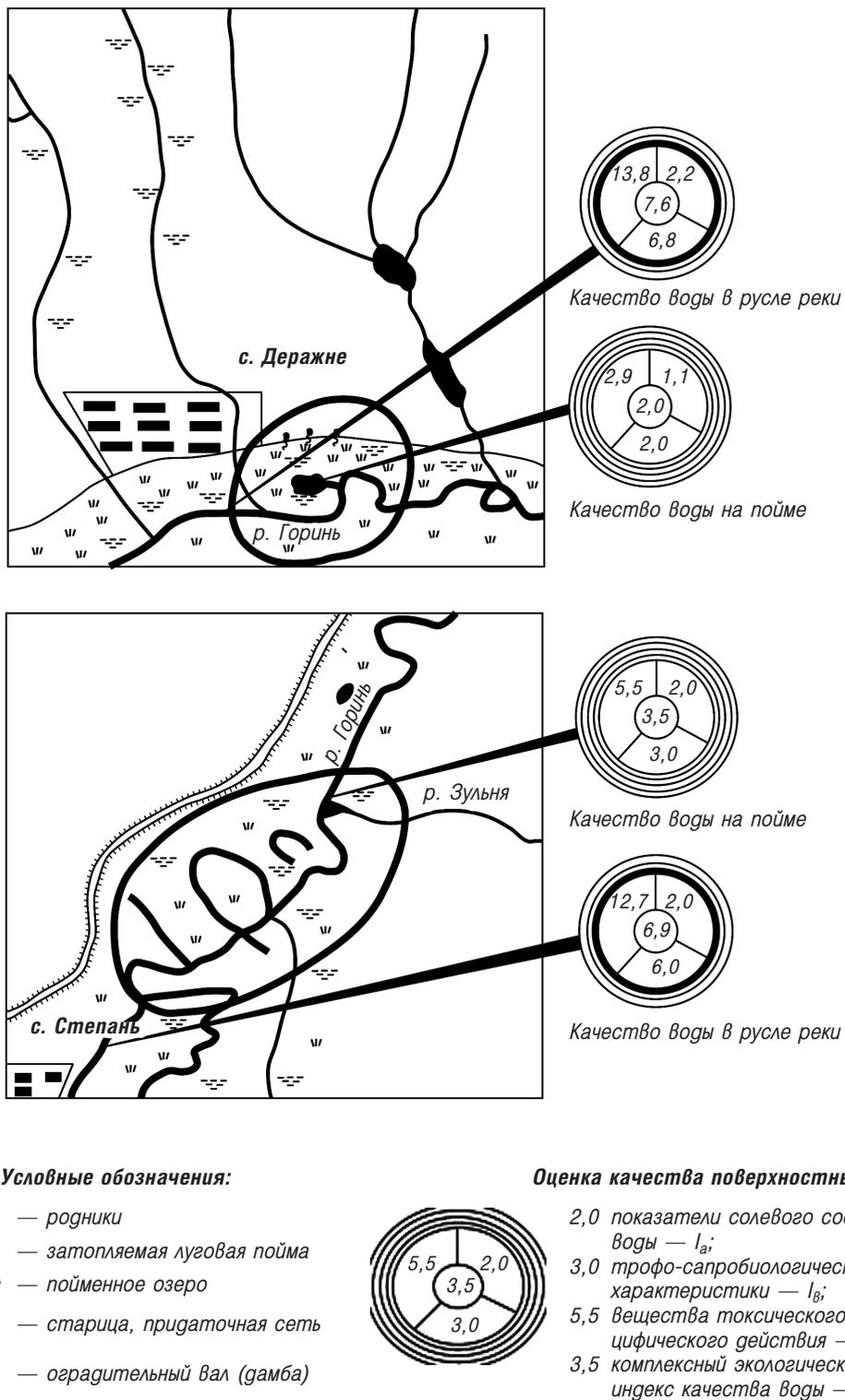


Рис. 1. Локальные пойменно-русловые рыбовосстановительные территории в бассейне р. Горинь [8, 24, 30]

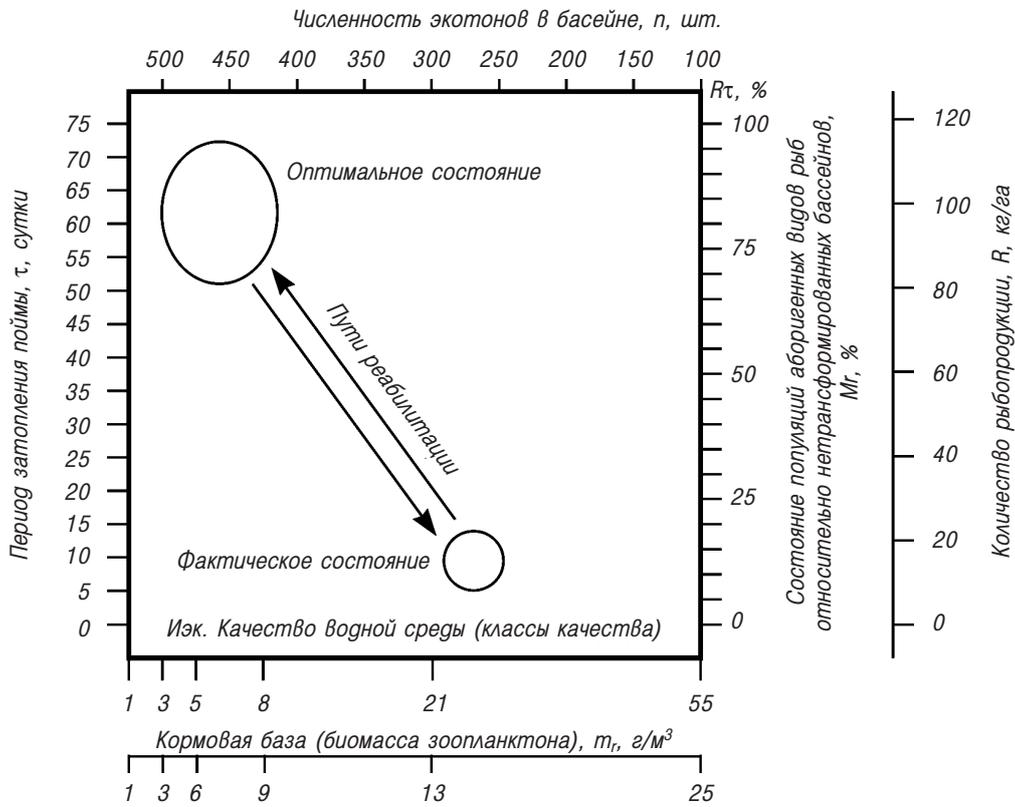


Рис. 2. Экомаркер оценки ихтиоэкологического состояния Стырь-Горынского рыбовосстановительного комплекса

В то же время на состояние экосистемы в большей или меньшей степени оказывают влияние другие факторы.

В своих исследованиях по факторам влияния различали: **внешние факторы** — гидрологический режим, температура, атмосферные осадки, численность пограничных зон-экотонів, влияние и состояние поверхности водосбора — поверхностный сток, биомасса синтезированного органического вещества; **внутренние факторы** — интенсивность водообмена, цветение, зарастание, степень “старения” водоема; **факторы управления** — очистка поверхностного стока, состояние пойменных лугов, наличие биоплата, вэтлендов, выкашивание и удаление высшей водной растительности, вселение рыб-биомелиораторов (белого и пестрого толстолобиков, белого и черного амура).

Водную среду рассматривали как “черный ящик” с входящей и выходящей информацией. При входе в водный

объект изучали наличие антропогенного влияния по состоянию жабр, чешуи, интенсивности дыхания, характеру движения, органолептических характеристик водной среды (цвету, запаху, прозрачности воды, пенообразованию). На выходе из водного объекта регистрировали результаты хронического антропогенного воздействия на рыб, если не было заморозов, по искривлению позвоночника, интенсивности роста, наличию молоди рыб (воспроизводству). Вели сравнительную оценку состояния, определяли предлагаемые индексы (табл. 1).

Предложенный нами комплексный индекс состояния экосистемы бассейна реки ($B_{эк}$) рассчитывается по отношению его фактических характеристик к их оптимальным значениям:

$$\sum B_{эк} = \frac{t_{i \text{ факт.}}}{t_{i \text{ опт.}}} + \frac{n_{i \text{ факт.}}}{n_{i \text{ опт.}}} + \frac{m_{Ri \text{ факт.}}}{m_{Ri \text{ опт.}}} + \frac{M_{Ri \text{ факт.}}}{M_{Ri \text{ опт.}}} + \frac{R_{i \text{ факт.}}}{R_{i \text{ опт.}}} \leq 5,0. \quad (2)$$

Таблица 1. Сравнительная оценка состояния поверхностных вод

Класс качества, состояние	Индексы					
	Индекс качества воды по синтезу перв. орг. в-ва, $I_{эк}$	Индекс по уровню трофности $I_{трф.}$	Индекс сапробности по фитопланктону, $I_{фп.}$ Пантле и Букка	Индекс сапробности по зообентосу $I_{зб.}$ Вудивисса	Ихтиологический индекс, $I_{ихт}$ Сондака	Пространственный индекс, $V_{эк}$ Гриба-Сондака
I — очень чистая	1,0	1,0	$\leq 1,0$	10,0–9,0	100,0	5,0
II — чистая	3,0	2,0	1,0–1,5	8,0	70,0	4,0
III — загрязненная	8,0	3,0 4,0 5,0	1,6–2,0 2,1–2,5 2,6–3,0	7,0 6,0 5,0	60,0 50,0 40,0	3,0
IV — грязная	21,0	6,0	3,1–3,5	4,0–3,0	30,0	2,0
V — очень грязная	55,0	7,0	$> 3,5$	2,0–1,0	$< 10,0$	1,0

Пространственный экомаркер состояния водной среды представляет собой прямоугольную матрицу, в которой каждая сторона отвечает исследуемому показателю состояния водной среды и величине урбанизации водосбора (см. рис. 2).

Оценочные показатели ($I_{эк}$) качества воды и ($K_{эк}$) состояния поверхности водосбора — величины постоянные и уже классифицированы по 5 классам качества. Переменными, входящими в состав пространственного экомаркера, являются период затопления поймы (τ), численность пограничных зон-экотонов (n) исследуемого участка русла реки (км), уровень развития кормовой базы по биомассе зоопланктона (m_r), состояние популяций аборигенных видов рыб относительно не-трансформированных бассейнов (M_R) и количество рыбопродукции (R) [8, 30].

Если взять отношение фактической величины каждого показателя к оптимальной, получим по каждому показателю значение 1,0, что суммарно составляет $V_{эк} \leq 5,0$. Если принять $V_{эк} \leq 5,0$ как оптимум — I класс, $V_{эк} = 4,0$ как удовлетворительное состояние — II, $V_{эк} = 3,0$ за переходную зону — III, а $V_{эк} = 2,0$ как зону стагнации — IV, деградация экосистемы будет наблюдаться при значении $V_{эк} < 1,0$ и полная деградация — при $V_{эк} \leq 0,1$ (V), что соответствует значительной трансформации поверхности водосбора, где превышение площади нарушенных территорий над естественно

сформированными составляет 7,0–7,5 раз (85,0%), а количество рыбопродукции не превышает 5–10 кг/га (табл. 2).

Таким образом, используя безразмерный пространственный индекс ($V_{эк}$) для исследования бассейна реки, мы сможем унифицировать оценку его состояния по 5 классам, соответственно 5-классной системе оценки качества воды по синтезу первичного органического вещества ($I_{эк}$), индексам сапробности по фитопланктону ($I_{фп.}$), зоопланктону ($I_{зп.}$), зообентосу ($I_{зб.}$), ихтиологическому индексу ($I_{ихт}$) и индексу состояния поверхности водосбора ($K_{эк}$) исследуемого бассейна (см. табл. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на то, что гидробиологическая наука на разных этапах своего развития уделяла большое внимание проблеме изучения видового состава гидробионтов и оценке качества воды [17, 19–21, 29, 34], до настоящего времени этот вопрос является открытым как на глобальном, так и на региональном уровне, а состояние речных бассейнов — тому свидетельство (рис. 3–7).

Припятский гидроэкологический коридор

Хозяйственная деятельность человека коренным образом изменила режим функционирования Припятского гидроэкологического коридора, составляющего

Таблица 2. Современное состояние популяций рыб правобережных притоков р. Припять — рек Стырь, Горынь, Случ (2007–2009 гг.)

Вид рыб	Место обнаружения		Состояние популяции по сравнению с данными IX–XX вв.
	сред. течение	устье	
Щука <i>Esox lucius</i>	+	+	Популяции относительно стабильны
Плотва <i>Rutilus rutilus</i>	+	+	„—“
Уклейка <i>Alburnus alburnus</i>	+	+	„—“
Густера <i>Blicca bjoerkna</i>	+	+	„—“
Окунь <i>Perca fluviatilis</i>	+	+	„—“
Лещ <i>Abramis brama</i>	+	+	„—“
Пескарь обыкновенный <i>Gobio gobio</i>	+	+	„—“
Овсянка <i>Leucaspicus delineatus</i>	+	+	Популяции сформированы на 70%
Красноперка <i>Scardinius erythrophthalmus</i>	+	+	„—“
Горчак <i>Rhodeus sericeus</i>	+	+	„—“
Карась серебристый <i>Carassius auratus gibelio</i>	+	+	„—“
Ерш обыкновенный <i>Gymnocephalus cernuus</i>	+	+	„—“
Линь <i>Tinca tinca</i>	+	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Горынь, Случ, на 100% сформированы популяции в Хринницком водохранилище
Колюшка трехиглая <i>Gasterosteus aculeatus</i>	+	+	Незначительная численность в реках Стырь, Случ, Горынь, ≥50% сформированность популяций относительно „нормы“
Жерех <i>Aspius aspius</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, сформированность популяций <30% относительно „нормы“
Голавль <i>Leuciscus cephalus</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, сформированность популяций <30% относительно „нормы“
Язь <i>Leuciscus idus</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, сформированность популяций <30% относительно „нормы“
Вьюн <i>Misgurnus fossilis</i>	+	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Горынь, Случ, сформированность популяций <30% относительно „нормы“, кроме заторфованных мелиоративных каналов
Белоглазка <i>Abramis sapa</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, сформированность популяций <30% относительно „нормы“
Сом обыкновенный <i>Silurus glanis</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, сформированность популяций <30% относительно „нормы“
Бычок песочный <i>Neogobius fluviatilis</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, сформированность популяций <30% относительно „нормы“

Вид рыб	Место обнаружения		Состояние популяции по сравнению с данными IX–XX вв.
	сред. течение	устье	
Налим <i>Lota lota</i>	+	+	Одиночные экземпляры в реках Стырь, Горынь, сформированность популяций <10% относительно „нормы“. Известны в районе подземных источников в реках Стубла, Случ
Усач днепровский <i>Barbus barbuborysthenicus</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, сформированность популяций <10% относительно „нормы“
Подуст обыкновенный <i>Chondrostoma nasus</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, сформированность популяций <10% относительно „нормы“
Форель ручьевая <i>Salmo trutta</i>	–	–	*Незначительные группировки в истоках рек Стырь, Горынь, Случ, уровень сформированности популяций <10% сравнительно с „нормой“
Судак <i>Stizostedion lucioperca</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, сформированность популяций <10% относительно „нормы“
Рыбец <i>Vimba vimba</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, сформированность популяций <10% относительно „нормы“
Карась обыкновенный <i>Carassius carassius</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, сформированность популяций <10% относительно „нормы“
Толстолобик белый <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, <10%, интродукционный вселенец
Толстолобик пестрый <i>Aristichthys nobilis</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, <10%, интродукционный вселенец
Амур белый <i>Ctenopharingodon idella</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, <10%, интродукционный вселенец
Угорь европейский <i>Anguilla anguilla</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, <10%, реинтродуцированный вселенец
Сомик карликовый <i>Ameiurus nebulosus</i>	–	+	Одиночные экземпляры в устьях рек Стырь, Случ, Горынь, <30%, интродукционный вселенец
Ротан-головешка <i>Percottus glenii</i>	+	+	Одиночные экземпляры в реках Стырь, Горынь, Случ, сформированы популяции в реках урбанизированных территорий — р. Устье, инвазионный вселенец

вместе с Шацким поозерьем уникальное природное водно-болотно-суходольное образование, которое, в свою очередь, является связующим звеном между Черноморским и Балтийским водными бассейнами.

Формирование продукции в экосистеме р. Припять базируется на дрефте аллохтонного вещества с правобережных участков, расположенных в Малой

Лесостепи (Волыно-Подольская возвышенность) при участии Стырь-Горыньского гидроэкологического коридора, с их дальнейшим депонированием на луговой пойме Полесской низменности, затапливаемой более чем на двухмесячный период. Это веками обеспечивало очистку талых вод, развитие живого корма и воспроизводство аборигенной ихтиофауны в регионе (см. рис. 1).

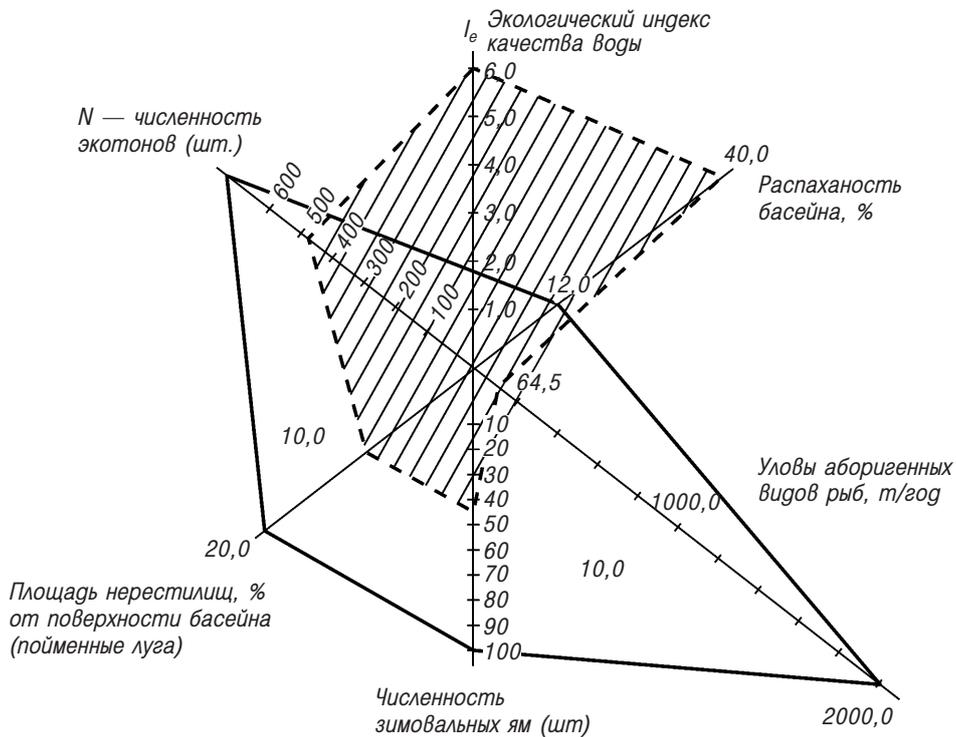


Рис. 3. Динамика антропогенных изменений устьевой области р. Припять за последние 50 лет (заштрихованная часть — современное состояние)

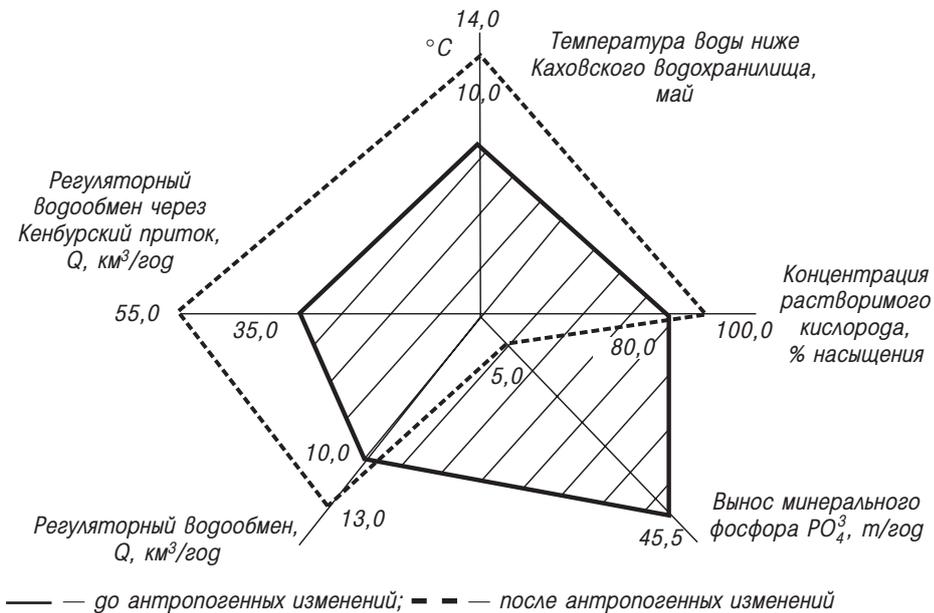


Рис. 4. Динамика функционирования Днепровско-Бугского гидроэкологического коридора

Примечание. В летнюю межень 2010 г. параметры качества воды по содержанию растворенного кислорода и температуре существенно ухудшились — температура воды возросла до +23°C, а содержание растворенного кислорода при этом не превышало 40% насыщения.

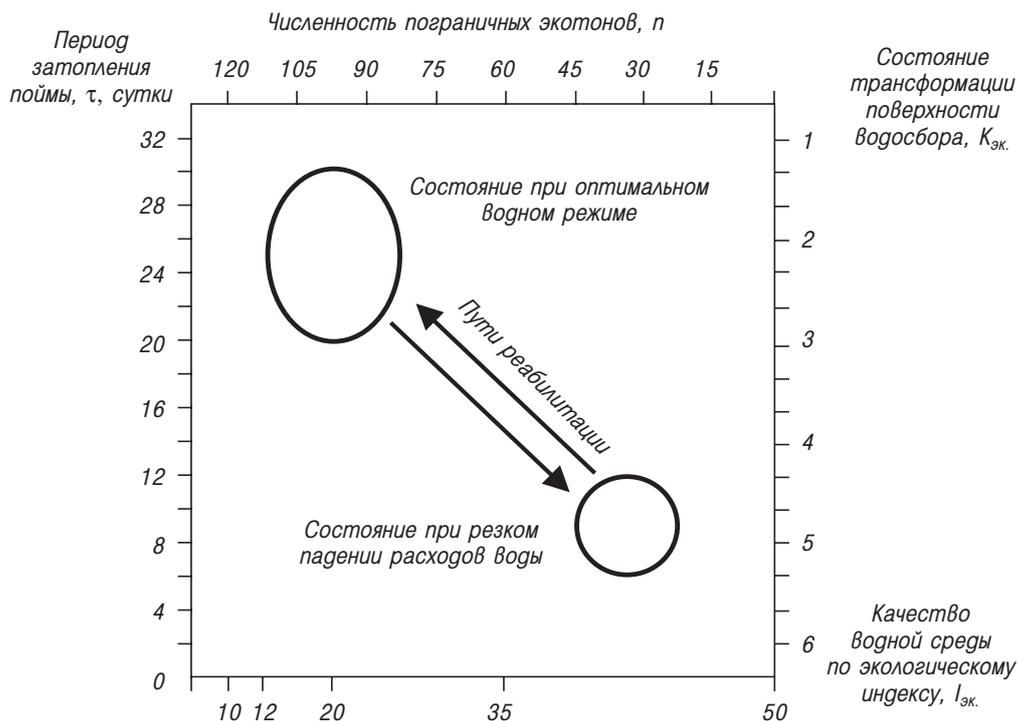


Рис. 5. Экомаркер Днепровско-Бугского гидроэкологического коридора

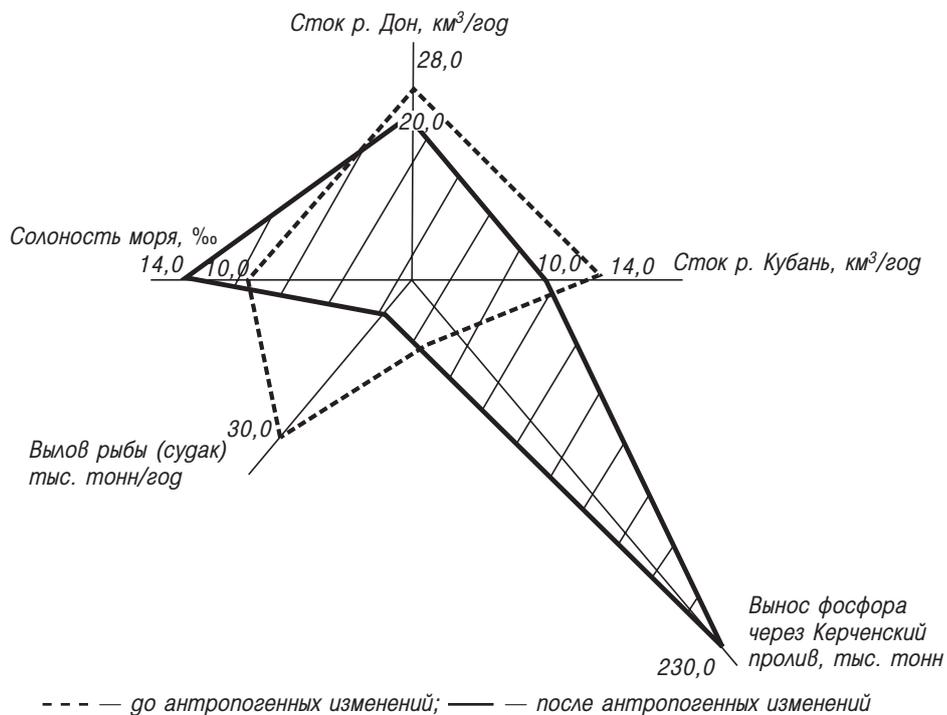


Рис. 6. Динамика функционирования Азовского гидроэкологического коридора

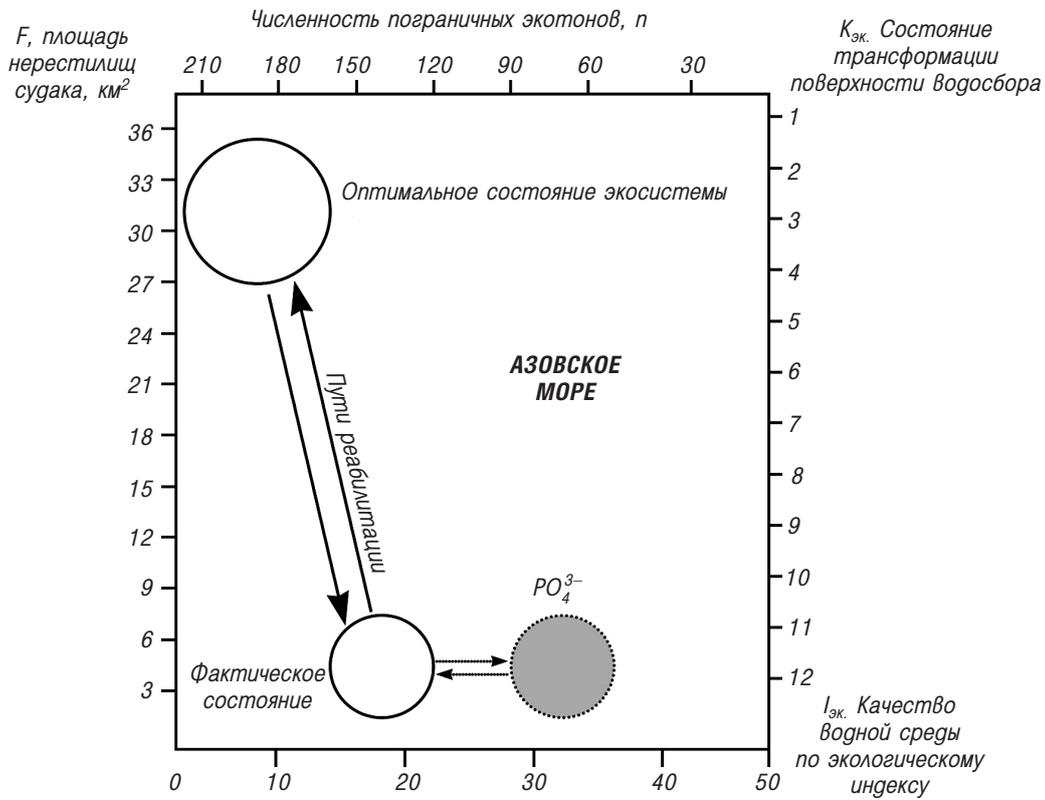


Рис. 7. Экомаркер Азовского гидроэкологического коридора

Формализованная нами схема функционирования Припятского гидроэкологического коридора показывает, насколько нерационально шло его освоение. Распаханность водосборной площади возросла с 12,0% до 40,0%, площадь пойменных нерестовых территорий из-за освоения бассейнов малых рек снизилась с 20,0% до 7,8%. Соответственно, число зимовальных ям уменьшилось с 80 до 30 единиц, при этом ухудшилось их состояние: произошло заиление, а дефицит кислорода в период зимней межени способствует гибели производителей рыб. Общая численность учтенных пограничных зон-экотонов снизилась на 40%. Следствием такого состояния бассейна стало снижение на порядок количества рыбопродукции, сократился и видовой состав аборигенной ихтиофауны (табл. 2, рис. 3).

При оценке изменений в экосистеме р. Припять по пространственным биомаркерам обнаружено резкое ухудше-

ние среды обитания, особенно условий воспроизводства рыб — в направлении от эталонных характеристик по качеству воды. Причинами являются сокращение периода затопления поймы, числа пограничных зон-экотонов и, в целом, превращения реки в одамбированный сбросной канал, что приводит к полной деградации ее экосистемы (рис. 4).

Данные К.Ф. Кесслера, И.Н. Фалеева, В.С. Пенязя, проводивших исследования р. Припять, взяты нами за некий “эталон” благополучия состояния рыбного населения. Сравнительный анализ состояния ихтиоценозов речных систем Стырь-Горынского рыбопроизводительного комплекса относительно “эталонных” нетрансформированных участков показал, что более или менее полноценные для воспроизводства популяции, сформированность которых составляет 70–100% “нормы”, характерны для 13 форм, в т.ч. для 6 промысловых (*Esox lucius*, *Rutilus rutilus*, *Tinca tinca*,

Blicca bjoerckna, *Abramis brama*, *Carassius auratus gibelio*), 7 видов в обловах отсутствовали — *Lamperta mariae*, *Alburnoides bipunctatus*, *Pelecus cultratus*, *Leuciscus leuciscus*, *Phoxinus phoxinus*, *Barbatulus barbatulus*, *Cobitis taenia*, появилось 6 видов-вселенцев (*Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*, *Ctenopharogodon idella*, *Ameiurus nebulosus*, *Percottus glenii*), а также реакклиматизант *Anguilla Anguilla*), а 16 видов и подвидов встречались как одиночные экземпляры только в устьях рек Стырь, Горынь, Случ, в т. ч. *Barbus barbus boristhenicus*, *Carassius carassius*, *Lota lota* из Красной книги Украины (табл. 2).

Обращает на себя внимание тот факт, что у 7 аборигенных видов рыб уровень сформированности популяций составляет <10%. Не случайно эти формы (*Salmo trutta*, *Chondrostoma nasus*, *Barbus barbus borysthenicus*, *Vimba vimba*, *Carassius carassius*, *Lota lota*, *Stizostedion lucioperca*) встречаются как одиночные экземпляры. Локальные улучшения могут иметь место в створах: “русло р. Припять — оз. Нобель”, “русло р. Припять — оз. Любязь”, устьевые участки рек Стырь, Горынь. Однако элементы деградации наблюдаются и здесь — эвтрофирование и, как следствие, цветение воды, появление заморных явлений, недостаток нерестилищ и зимовальных ям. Нами ведутся исследования по интродукции некоторых видов

рыб — биомелиораторов для отдельных изолированных участков р. Стоход.

Оздоровление реки исходя из сложившегося экомаркера — пространственная оптимизация подсистем бассейна до оптимальных показателей через восстановление численности пограничных зон-экотонов и качества воды хотя бы частично (рис. 8).

Днепровско-Бугский гидроэкологический коридор — устьевая область

Состояние Днепровско-Бугского лимана — самой продуктивной экосистемы бассейна Черного моря тесно связано с объемом стока, насыщением биогенными соединениями, прохождением воды через каскад водохранилищ, расположенных на реках выше по течению, совпадением нерестовых температур воды ниже Каховского водохранилища с половодьем и насыщенности воды растворенным кислородом. При нарушении хотя бы одного из этих показателей происходит разбалансировка экосистемы. Летний замор рыбы в меженный период 2010 г. подтверждает эту концепцию.

Для контроля за состоянием экосистемы Днепровско-Бугского лимана предлагается использовать формулы (3), (4) и (5). Показатель оптимального функционирования водной экосистемы за часовым режимом Р прямо пропорционален массе растворенного в воде кислорода

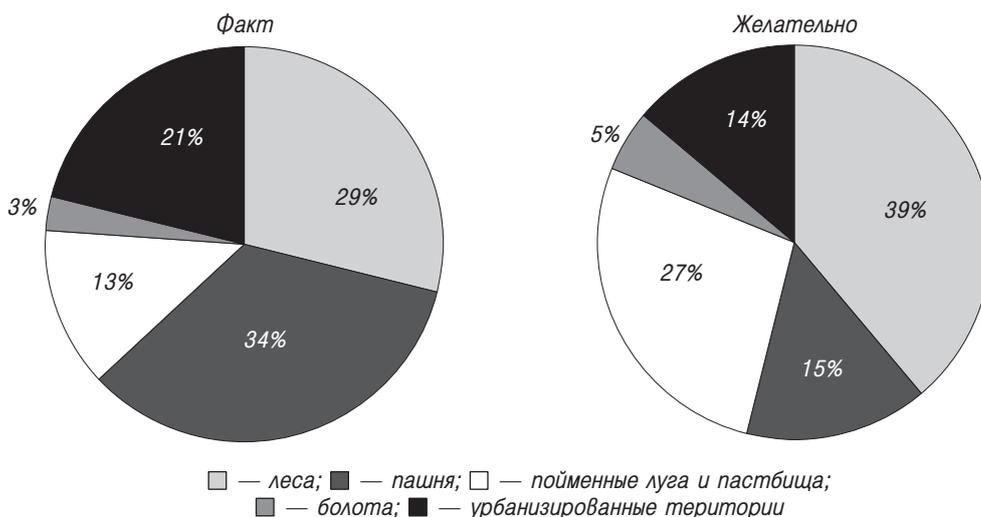


Рис. 8. Оптимизация структуры ландшафта в бассейне р. Припять как элемента управления состоянием мегаэкосистемы

и обратно пропорционален его потреблению при условии, что падение его содержания не будет ниже экологического минимума — 4,0 мг O₂/дм³:

$$P = \frac{QK(\theta)}{K^{\wedge}L} \geq 4,0, \quad (3)$$

где Q — расход воды (м³/с); θ — содержание растворенного кислорода (мг O₂/дм³); K — коэффициент реаэрации при штилевой погоде, принят 1,0; K[^] — коэффициент потребления растворенного кислорода (мг O₂/дм³), принят 0,2; L — биохимическое потребление растворенного кислорода (мг O₂/сут), принят для вод I–II кл. — 2,5(мг O₂/сут).

В период снижения фотосинтеза при поглощении растворенного кислорода высшими водными растениями в ночное время суток формула (3) будет иметь вид:

$$P = \frac{QK^I(\theta)}{KLQ + (K^{II}B + K^{III}T + K_mR)} \geq (\theta - 4,0), \quad (4)$$

где QK^I(θ) — масса растворенного кислорода (мг O₂/дм³), KLQ — потребление кислорода органическими веществами, растворенными в воде (мг O₂/дм³), K^{II}B — потребление кислорода биомассой высших водных растений при отсутствии фотосинтеза в ночное время (мг O₂/дм³), K^{III}T — потребление растворенного кислорода верхним (0,05 м) слоем донных отложений (мг O₂/дм³), K_mR — потребление растворенного кислорода на дыхание рыб (мг O₂/кг).

Кризисная ситуация возникает и связана с падением среднесуточного или среднедекадного расхода воды при повышении температуры воздуха. Вместе с дефицитом растворенного в воде кислорода возрастает накопление токсических веществ, образующихся при продуцировании и разложении органических соединений, что и становится причиной заморных явлений для гидробионтов, в т.ч. рыбного населения:

$$Q_{\text{факт}} K^{\wedge}(\theta) \leq Q_{95\%} KL, \quad (5)$$

где Q_{факт} — фактический расход воды в створе наблюдений; (Q_{95%} обесп.) — 95% обеспеченность; K[^] — коэффициент реаэрации (принят 1,0 при штилевой погоде); θ — фактическое содержание растворенного кислорода в слое ниже 20 см от по-

верхности водного зеркала, (мг O₂/дм³); L — БПК₅ речной воды, (мг O₂/дм³).

Расчеты показывают, что при регулярном суммарном сокращении стока и расходов воды до 23,0 км³ в течение года (оптимум 58,0 км³/год), невысоком качестве воды и ограниченной численности пограничных экотонных для укрытия рыбы, кризисные ситуации в Днепровско-Бугском лимане могут возникать систематически (рис. 4, 5).

Азовское море как модель для составления экомаркера

Площадь Азовского моря составляет 38 000 км², объем воды — 320 км³. Море мелководное, средняя глубина — 8,4 м при максимальных глубинах до 13,6 м. Фактически Азовское море является эстуарной областью рек Дон и Кубань, в т.ч. малых рек Юга Украины.

Снижение объемов пресноводного поверхностного стока до 50–70% вследствие развития ирригационных систем в период отсутствия весеннего половодья привело к ликвидации миграционных путей для ихтиофауны к нерестилищам, нарушению формирования гидрохимического режима рек и условий воспроизводства для ценных видов рыб. В то же время возросла нагрузка от биогенных элементов, что способствовало цветению воды, особенно в Таганрогском заливе. Вместе с нерациональным промыслом снизилась продуктивность моря.

Сокращение площадей обводненных лиманов и природных нерестилищ для проходных рыб в бассейнах Дона и Кубани привело к нарушениям условий воспроизводства. Искусственное воспроизводство промысловых рыб при ничтожно малом промысловом возврате не оставляет шансов для восстановления былой значимости Азовского моря. Среди полупроходных рыб особенно интенсивно происходит сокращение запасов судака *Sander lucioperca* (рис. 6, 7).

Состояние исследованных экосистем исходя из комплексного экомаркера оценивается как зона стагнации — IV класс качества.

Частичное улучшение определяемых показателей в устье р. Припять наблюдается за счет улучшения водного режима, условий нереста и качества водной среды (табл. 3).

Таблица 3. Обобщенные характеристики количественной оценки ихтиоэкологического состояния водных мегаэкосистем

Водный объект	Определяемый показатель					
	период затопления пойм, τ	количество экотонов, n	состояние кормовой базы, m	рыбопродуктивность, Mg	качество водной среды, $I_{эк}$	пространственный индекс, $V_{эк}$
Стырь-Горынский ГЭК	0,16	0,50	0,50	0,25	0,25	1,71
Устье р. Припять	0,60	0,30	0,30	0,50	0,40	2,10
Днепроовско-Бугский лиман	0,50	0,50	0,33	0,25	0,33	1,91
Азовское море	0,10	0,10	0,50	0,20	0,40	1,30

Главную роль в восстановлении ихтиоценозов играет качество среды в период затопления поймы. Высокая рыбопродуктивность ихтиоценозов достигается при оптимальных значениях биомассы зоопланктона ($r = +0,80-0,99$). Наивысшая концентрация живого корма наблюдается в периоды наиболее длительного затопления поймы ($r = +0,88-0,96$) [30].

Оптимум кормовой базы нами определен следующими показателями: биомасса фитопланктона — до $30,0 \text{ г/м}^3$, зоопланктона — до $7,0 \text{ г/м}^3$, мягкого зообентоса — до $5,0 \text{ г/м}^2$. Фактическая биомасса кормовых гидробионтов исследуемых водоемов оказалась ниже: биомасса фитопланктона — до $7,5 \text{ г/м}^3$, зоопланктона — до $1,8 \text{ г/м}^3$, мягкого зообентоса — до $2,8 \text{ г/м}^2$.

Результаты исследования дают возможность утверждать об информативности предлагаемого комплексного экологического подхода для изучения речных бассейнов и указывают на необходимость защиты локальных рыбовоспроизводительных участков при реабилитации аборигенной ихтиофауны.

Общими направлениями реабилитации ихтиоценозов в бассейнах рек Полесского региона Украины являются увеличение площади лесов; сокращение площади под отвалами, карьерами и другими деградированными землями; реабилитация болот на месте деградированных торфяников; возрождение малых рек и миграционных путей для аборигенной ихтиофауны; увеличение площади пойменных лугов; сокращение площади

пахотных земель вдоль охранной зоны береговой полосы.

ВЫВОДЫ

Задачами восстановительной гидроэкологии при современной антропогенной трансформации бассейнов рек являются исправление ошибок, допущенных при развитии народного хозяйства в сфере использования и охраны поверхностных вод, реабилитация нарушенных речных и озерных экосистем и их планомерное восстановление как обязательных составных элементов — “пленок жизни” планеты Земля.

Восстановительная гидроэкология как биологическая наука, базирующаяся на достижениях гидробиологии, должна обеспечить общество знаниями для менее болезненного перехода водных экосистем в преобразованную хозяйственной деятельностью человека “ноосферу”, определив при этом пути реабилитации нарушенных экосистем и предложив средства для управления их состоянием.

Для мониторинга водных экосистем целесообразно использование пространственного экомаркера, включающего характеристики качества воды, биоразнообразия ихтиоценозов, состояние поверхности водосбора и наличие пограничных зон-экотонов, т. е. оценочных показателей биотопов.

Необходимо упорядочить структуру пойменных лугов и прибрежных защитных полос речной сети путем посадки лесов на непродуктивных и деградированных землях.

Выражаем искреннюю благодарность академику НАН Украины, д-ру биол. наук, профессору В.Д. Романенко за консультативную помощь в подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев С.А., Ляшенко А.В., Зорина-Сахарова Е.Е., Романенко Е.А. Фитофильная макрофауна как показатель экологического состояния водных объектов Килийской дельты Дуная // Гидробиол. журн. — 2008. — Т. 44, № 2. — С. 3–14.
2. Афанасьев С.А. Развитие европейских подходов к биологической оценке состояния гидроекосистем в мониторинге рек Украины // Гидробиол. журн. — 2001. — Т. 37, № 5. — С. 3–18.
3. Алимов А.Ф. Разнообразие, сложность, стабильность, выносливость экологических систем // Журн. общей биологии. — 1994. — Т. 55, № 3. — С. 285–302.
4. Барина С.С., Медведева А.А., Анисимов О.В. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. — М.: ВНИИ природы, 2000. — 150 с.
5. Балущина Е.В. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ // Реакция озерных экосистем на применение биотических и абиотических условий. — СПб., 1997. — С. 266–292.
6. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Книга 2. Научная мысль как планетарное мышление. — М.: Наука, 1917. — 191 с.
7. Вернадский В.И. Биосфера. — Л.: Науч. хим.-техн. изд-во, 1926. — 146 с.
8. Відновна їхтіоекологія / за ред. Й.В. Гриба, В.В. Сондака. — Рівне: Волинські береги, 1997. — 638 с.
9. Войтишина Д.Й. Регіональні еколого-економічні особливості природокористування на території Західного Полісся // Природно-ресурсний комплекс Західного Полісся: історія, стан, перспективи розвитку, частина I. — Березне, 2008. — С. 22–23.
10. Вудивисс Ф. Биотический индекс р. Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. — Л.: ГМ Изд-во, 1977. — С. 132–161.
11. Гриб Й.В., Клименко М.О., Сондак В.В. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем. — В 2-х т. — Рівне: Волинські береги, 1999. — 546 с.
12. Гриб Й.В., Сондак В.В., Волкошовець О.В. До питання токсичності стічних і природних вод // Вісник НУВГП. — Рівне, 2006. — Ч. I. Вип. 4 (36). — С. 294–304.
13. Гриб Й.В., Куньчик Т.Н., Сондак В.В., Войтишина Д.И. Оцінка локальних загроз і критеріїв збереження біорізноманіття водних екосистем // Водне господарство України. — 2007. — № 2. — С. 25–31.
14. Гриб И.В. Анализ заморных явлений в малых реках Западного Полесья Украинской ССР // Гидробиол. журн. — 1972. — Т. 11, № 2. — С. 42–48.
15. Драчев С.М. Борьба с загрязнением рек, озер и водохранилищ промышленными и бытовыми стоками. — М.: Наука, 1964. — 272 с.
16. Козлов В.И. Экологическое прогнозирование ихтиофауны пресных вод в связи с сохранением видового биоразнообразия и созданием устойчивых рыбных сообществ: автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра биол. наук / Козлов В.И. — СПб., 1995. — 48 с.
17. Мартышев Т.Т. Традиционные и перспективные направления в решении основных проблем водной экологии // Современные проблемы гидробиологии. Перспективы и методы решения: Материалы междунар. конф. — Херсон, 2008. — С. 17–22.
18. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіюк О.П. — К.: Символ, 1998. — 28с.
19. Методика гідроекологічних досліджень / за ред. В.Д. Романенка. — К.: Береги, 2008. — 201 с.
20. Оксіюк О.П., Зимбалева Л.Н., Протасов А.А. и др. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. Бентос, перифитон и зоопланктон // Гидробиол. журн. — 1994. — Т. 30, № 4. — С.31–35.
21. Оксіюк О.П., Давыдов О.А. Оценка экологического состояния водных объектов по фитопланктону и фитобентосу (на примере укр. уч. р. Дунай) // Гидробиол. журн. — 2009. — Т. 40, № 2. — С. 3–13.
22. Протасов А.А. Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикология. — К., 2002. — 105 с.
23. Протасов А.А. О концентрации емкости среды и экологической емкости // Гидробиол. журн. — 1994. — № 4. — С. 3–13.
24. Реймерс Н.Ф. Надежды на выживание человечества. Концептуальная экология. — М.: Россия молодая, экология, 1992. — 367 с.
25. Романенко В.Д., Гриб И.В., Гродзинский М.Д. Концептуальные подходы при формировании гидроэкологических коридоров // Гидробиол. журн. — 2003. — № 5. — С. 3–20.
26. Романенко В.Д. Основи гідроекології. — К.: Береги, 2001. — 728 с.
27. Романенко В.Д. Актуальні гідроекологічні проблеми в контексті європейської водної політики // Наукові записки НТПУ ім. В. Гнатюка. Серія “Біологія”. — Тернопіль, 2005. — 3(26). — С. 378–382.

28. Романенко В.Д. Учение В.И. Вернадского о природных водах и его роль в развитии современной гидроэкологии // Гидробиол. журн. — 2003. — № 3. — С. 3–10.
29. Сабодаш В.М., Демьяненко К.В. Некоторые экологические закономерности распределения осетра *Acipenser queldenstaedtii* и севрюги *Acipenser stellatus* в Азовском море // Гидробиол. журн. — 1987. — № 1. — С. 14–23.
30. Силаева А.А., Протасов А.А. Биоиндикация качества среды по составу и структуре биотических сообществ // Биоиндикация в экомониторинге пресноводных систем. — Сб, 23–29.10.2006. — 2007. — С. 294–298.
31. Сондак В.В. Відновна іхтіоекологія природних водойм Західного Полісся України. — Рівне: Волинські обереги, 2008. — 330 с.
32. Сондак В.В., Волкошовець О.В. Екологічні та іхтіологічні закономірності відродження аборигенної іхтіофауни у трансформованій річковій мережі Західного Полісся України // Збірник наукових праць II Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю. — Вінниця, 2009. — С. 116–119.
33. Сондак В.В. Особливості формування стресових ситуацій та ризику виживання аборигенної іхтіофауни у поверхневих водах України // Доповіді НАН України. — 2008. — № 7. — С. 191–199.
34. Харченко Т.А. Экологические сукцессии, продуктивность эстуарных экотонных экосистем и глобальные вопросы круговорота углерода в биосфере // Гидробиол. журн. — 1998. — № 1. — С. 3–15.
35. Харченко Т.А., Протасов А.А. О консорциях в водных экосистемах // Гидробиол. журн. — 1981. — Т. 17, № 3. — С. 15–19.
36. Харченко Т.А., Ляшенко А.В., Жукинський В.Н. Экоиндикация и оценка состояния водных экосистем по характеристикам биоразнообразия и качества среды обитания гидробионтов // Гидробиол. журн. — 2009. — Т. 45, № 1. — С. 3–18.
37. Пенязь В.С. Рыбы реки Припяти // Ученые записки. Вып. 33. — Минск: Изд-во Белгосуниверситета им. В.И. Ленина, 1957. — С. 107–146.
38. 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 // Official journal of the European Communities. — L. 327. — 22.12.2000. — 72 p.
39. Streeter H., Wand E., Phelps E. Factor concernend in the phenomena of oxidation and rearution // Bull U.S. Publ.Health. Serw. — 1925. — P. 146.
40. Streeter H. The rate of sewage polluted Streams // Publ. Health. Rep. 1926. — P. 4.

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА УМОВ ВІДТВОРЕННЯ АБОРИГЕННИХ РИБ У БАСЕЙНАХ МАЛИХ РІЧОК

И.В. Гриб, В.В. Сондак, В.И. Козлов

Досліджено умови формування іхтіоценозу Стир'я-Горинського та Прип'ятьського гідро-екологічних коридорів, басейну р. Дніпро. Оцінено значущість складових відтворення риб: якості води, температури, гідрологічного режиму, стану популяції риб і кормової бази у різні періоди затоплення заплави. Розглянуто можливі способи реабілітації мегаекосистем р. Прип'ять та її приток.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE CONDITIONS OF NATIVE FISH REPRODUCTION IN THE BASINS OF SMALL RIVERS

J. Gryb, V. Sondak, V. Kozlov

The evaluation of the state and the direction of Ukrainian water ecosystem development on the basis of complex biomarkers is done. The limiting factors influencing the water environment is defined.