

УДК 574.633.21

С. К. Рындевич¹, А. О. Лукашук², А. В. Земоглядчук³, О. В. Токарчук⁴, В. М. Байчоров⁵¹Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Министерство образования Республики Беларусь, ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи, Республика Беларусь, ryndevichsk@mail.ru, ³zemoglyadchuk@mail.ru²Государственное природоохранное учреждение «Березинский биосферный заповедник», Управление делами Президента Республики Беларусь, ул. Центральная, 3, 211188 д. Домжерицы Лепельский р-н, Витебская обл., Республика Беларусь, lukashukao@tut.by⁴Учреждение образования «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина», Министерство образования Республики Беларусь, б-р Космонавтов, 21, 224016 Брест, Республика Беларусь, oleg.v.tokarchuk@mail.ru⁵Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам», ул. Академическая, 27, 220072 Минск, Республика Беларусь, vbaitch@gmail.com

НАСЕКОМЫЕ-БИОИНДИКАТОРЫ (INSECTA: EPHEMEROPTERA, ODONATA, PLECOPTERA, HEMIPTERA, COLEOPTERA, MEGALOPTERA, TRICHOPTERA) И КРИТЕРИИ НЕНАРУШЕННЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ БЕЛАРУСИ

В статье рассматриваются гидроландшафтные и гидробиологические критерии ненарушенных естественных водных объектов (родников, ручьев, рек, стариц, озер, болот). В качестве биоиндикаторов ненарушенных водных экосистем предложен 21 вид водных и амфибиотических насекомых: 14 видов — индикаторов ненарушенных естественных водотоков (поленка *Siphonurus lacustris* (Eaton), стрекозы *Cordulegaster boltonii* (Donovan) и *Ophiogomphus cecilia* (Fourcroy), веснянки (*Leuctra digitata* (Kempny), *Nemoura cambrica* (Stephens), *Taeniopteryx nebulosa* (Linnaeus)), клоп *Velia saulii* Tamanini, жуки *Deronectes latus* (Stephens), *Hydraena gracilis* Germar, *Nebrioporus assimilis* (Paykull) и *Oreodytes sanmarkii* (Sahlberg), вислокрылка *Sialis nigripes* Pictet, ручейники *Chaetopteryx villosa* (Fabricius) и *Odontocerum albicorne* (Scopoli), индикатор ненарушенных рек, стариц, озер и болот — стрекоза *Brachytron pretense* (O.F. Müller), индикатор ненарушенных дистрофных озер — ручейник *Agrypnia obsoleta* Hagen, индикатор ненарушенных болот и водотоков, протекающих по болотным массивам или имеющих исток в болотах *Gerris sphagnetorum* Gaunitz, индикатор ненарушенных верховых болот и дистрофных озер на болотах *Glaenocoris propinqua* (Fieber), три индикатора ненарушенных верховых и переходных болот (жук *Ilybius wasastjernae* (Sahlberg), стрекозы *Aeshna subarctica* Walker и *Somatochlora arctica* (Zetterstedt)).

Ключевые слова: биоиндикаторы; Odonata; Ephemeroptera; Plecoptera; Trichoptera; Megaloptera; Hemiptera Coleoptera; критерии ненарушенных водных экосистем.

Рис. 16. Табл. 3. Библиогр.: 37 назв.

S. K. Ryndevich¹, A. O. Lukashuk², A. V. Zemoglyadchuk³, O. V. Tokarchuk⁴, V. M. Baitchorov⁵¹Education Institution “Baranovichi State University”, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21 Voykova St., 225404 Baranovichi, the Republic of Belarus, ryndevichsk@mail.ru, ³zemoglyadchuk@mail.ru²State Environmental Institution “Berezinsky Biosphere Reserve”, 3 Tsentralnaya St., 211188 Domzheritsy, Lepel dist., Vitebsk reg., Belarus, lukashukao@tut.by⁴Education Institution “Brest State A.S. Pushkin University”, 21 Kosmonavtov Blvd, 224016 Brest, the Republic of Belarus, oleg.v.tokarchuk@mail.ru⁵State Scientific and Production Association “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Bioresources”, 27 Akademicheskaya St., 220072 Minsk, the Republic of Belarus, vbaitch@gmail.com

INSECTS-BIOINDICATORS (INSECTA: EPHEMEROPTERA, ODONATA, PLECOPTERA, HEMIPTERA, COLEOPTERA, MEGALOPTERA, TRICHOPTERA) AND CRITERIA FOR INTACT OF WATER ECOSYSTEMS OF BELARUS

In the article the hydro-landscape and hydrobiological criteria of intact natural water bodies (springs, streams, rivers, old river-beds, lakes, bogs) are considered. Twenty one species of water and amphibiotic insects were proposed as bioindicators of intact natural water ecosystems: 14 species-indicators of intact natural watercourses (mayfly

Siphonurus lacustris (Eaton), dragonflies *Cordulegaster boltonii* (Donovan, 1807) and *Ophiogomphus cecilia*, stonefly *Leuctra digitata* (Kempny), *Nemoura cambrica* (Stephens), *Taeniopteryx nebulosa* (Linnaeus), bugs *Velia saulii* Tamanini, 1947, beetles *Deronectes latus* (Stephens), *Hydraena gracilis* Germar, *Nebrioporus assimilis* (Paykull) and *Oreodytes sanmarkii* (Sahlberg), alderfly *Sialis nigripes* Pictet, 1865, caddisflies *Chaetopteryx villosa* (Fabricius) and *Odontocerum albicorne* (Scopoli), an indicator of intact rivers, old river-beds, lakes and bogs (dragonfly *Brachytron pretense* (Müller, 1764)), an intact dystrophic lakes indicator (caddisfly *Agrypnia obsoleta* Hagen, 1864), three indicators of intact upland and transitional bogs (beetle *Ilybius wasastjernae* (Sahlberg, 1824), dragonflies *Aeshna subarctica* Walker, 1908 and *Somatochlora arctica* (Zetterstedt, 1840)).

Key words: bioindicators; Odonata; Ephemeroptera; Plecoptera; Trichoptera; Megaloptera; Hemiptera; Coleoptera; criteria for intact water ecosystems.

Fig. 16. Table 3. Ref.: 37 titles.

Введение. Современная экологическая обстановка характеризуется глобальной деградацией природных сообществ и сокращением количества ненарушенных экосистем. Естественные водные экосистемы, являясь одними из самых богатых по числу видов организмов, выступают в качестве ключевых природных территорий с точки зрения сохранения биоразнообразия. Общеизвестно, что эти водные объекты выступают своеобразными резерватами сохранения ряда редких и исчезающих видов животных, в том числе насекомых. Водные экосистемы играют значительную роль при формировании фауны и флоры прилегающих территорий, являясь своеобразными экологическими коридорами, которые живые организмы используют при миграциях и расселении.

Антропогенное воздействие на водные объекты приводит к изменению сообществ гидробионтных организмов. Экологическое состояние водных объектов является интегральным показателем общего экологического состояния локальной территории. Основными направлениями трансформации сообществ водных и амфибиотических насекомых в естественных водных экосистемах при антропогенном воздействии являются: обеднение таксономического состава (сокращение количества таксонов различного ранга от отряда до вида); уменьшение видового богатства сообществ насекомых; упрощение экологической структуры экосистем, в первую очередь за счет исчезновения реофильных и реобионтных видов веснянок, поденок, ручейников и жесткокрылых; сокращение числа стенобионтных видов, к которым относятся и виды — индикаторы чистоты воды, индикаторы ненарушенности естественных экосистем [1].

В настоящее время во всем мире распространены подходы определения качества поверхностных вод с помощью биоиндикации, в то же время оценка ненарушенности экосистем, особенно в региональном контексте, является слабо разработанным и, в принципе, новым направлением в сфере экологии. Этим объясняется небольшое число публикаций, посвященных данной тематике [2—4]. Основное внимание зарубежными учеными уделялось выделению видов-индикаторов и характерных видов для некоторых наземных экосистем. Так, в работе латвийских и шведских специалистов [5] были выявлены характерные виды и виды — индикаторы ненарушенности ключевых лесных биотопов среди трютовиков, сосудистых растений, мхов и насекомых. Ксилофильные жесткокрылые рассматриваются в качестве индикаторов ненарушенности лесных экосистем в работе У. Вилаиниса и соавторов [6].

Вопросу использования методов биоиндикации для установления воздействия антропогенных факторов на природу, определения экологического состояния как наземных, так и водных экосистем уделяется достаточно большое внимание как в Беларуси [7—15], так и за рубежом [16; 17]. Однако используемые в Национальной системе мониторинга окружающей среды Республики Беларусь методы сапробиологического анализа Пантле и Букка в модификации Сладечека, методы биотических индексов (по видовому разнообразию

и показательным значениям таксонов) и Гуднайта—Уитлея (по относительной численности олигохет) не позволяют выявлять ненарушенные водные экосистемы.

Водные и амфибиотические насекомые широко применяются в биоиндикации водных экосистем [9—16; 18]. Это касается водных насекомых, к которым относятся представители ряда семейств жесткокрылых (Coleoptera: Haliplidae, Noteridae, Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrogaenidae, Helophoridae, Hydrophilidae, Dryopidae) и клопов (Hemiptera: Heteroptera: Corixidae, Notonectidae, Pleidae, Nepidae, Naucoridae, Aphelocheiridae, Mesoveliidae, Hebridae, Hydrometridae, Veliidae, Gerridae), а также таких амфибиотических насекомых, как поденки (Ephemeroptera), стрекозы (Odonata), веснянки (Plecoptera), ручейники (Trichoptera), большескрылые (Megaloptera), некоторые семейства жуков (Scirtidae, Chrysomelidae (Donacinae), Curculionidae). Это послужило причиной рассмотрения возможности использования представителей этих групп животных в качестве биоиндикаторов ненарушенных естественных водных объектов.

В ряде работ ранее были рассмотрены критерии ненарушенности некоторых типов естественных водных экосистем (рек, озер и стариц), таксономический состав водных и амфибиотических насекомых ненарушенных водных экосистем на особо охраняемых природных территориях (далее — ООПТ) Беларуси (Березинского биосферного заповедника, Национального парка «Припятский» и республиканского ландшафтного заказника «Стронга») и нарушенных естественных экосистем на этих ООПТ, а также предложены некоторые виды — индикаторы ненарушенности для рек, озер и стариц [1; 22—25]. Определение статуса ненарушенности водной экосистемы основывалось на результатах проведенных исследований с использованием гидроландшафтных и гидробиологических критериев, которые рассмотрены ниже. Это позволило разработать оригинальный методологический алгоритм определения статуса ненарушенности водных экосистем. Дополнительные исследования позволили конкретизировать критерии ненарушенности естественных водных экосистем Беларуси и расширить список видов-биоиндикаторов.

Материал и методы исследования. Материалом для настоящей работы в основном послужили сборы водных и амфибиотических насекомых, проведенные в 2017—2020 годах на территории Березинского биосферного заповедника, Национального парка «Припятский» и республиканского ландшафтного заказника «Стронга». Изучение энтомофауны ненарушенных естественных водных экосистем на данных ООПТ проводилось в 40 локалитетах. Большинство стационаров проведения исследования на ООПТ Беларуси были рассмотрены ранее [1; 19—25], за исключением рек Жортайка и Ушача (Березинский биосферный заповедник).

В качестве модельных групп использовались представители 7 отрядов: Odonata, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera, Hemiptera, Coleoptera. В данной работе не рассматриваются амфибиотические виды отряда двукрылые (Diptera).

Для идентификации видовой принадлежности насекомых использовались стереомикроскопы Nikon SMZ745T, Optica SZO-6 и бинокулярный микроскоп МБС-10, а также специальная определительная литература [18; 26—31].

Экологическое состояние водных экосистем оценивалось при использовании метода биоиндикации на основании анализа таксономического состава беспозвоночных [18]. Сбор беспозвоночных осуществлялся по стандартной методике при помощи гидробиологического сачка Бальфура—Брауна [13; 28].

Для максимальной объективности выявления таксономического состава беспозвоночных при отборе проб производились взмахи и по дну водного объекта вне зависимости, есть

там макрофиты или нет, так как в донном грунте обитает ряд видов, которые важны для оценки экологического состояния водных экосистем.

Стандартная проба состояла из 10 взмахов в одной станции водного объекта. Проба просматривалась в ванночке с водой. Беспозвоночные либо учитывались визуально (если их возможно идентифицировать в полевых условиях), либо фиксировались в 70 %-ном спирте для последующего определения в лабораторных условиях. Кроме того, использовался ручной сбор беспозвоночных с плавающих предметов, корней макрофитов, метод вытапывания и другие методы ручного сбора беспозвоночных.

Количество точек отбора проб зависело от размеров водоема или водотока и поставленной цели исследования (необходимо оценивать экологическое состояние всего водного объекта или его части и т. д.). Число точек отбора проб на водотоке или водоеме базировалось на соответствии площади водоема или протяженности створа ручья или реки. Для небольшого или среднего по площади водоема пробы отбирались обычно в 3—5 точках. Для крупного озера выбиралось до 10 точек отбора проб вдоль береговой линии. В створе крупной реки закладывалось до 10 точек отбора проб с учетом разнообразия экологических характеристик станций (скорость течения, наличие и состав донных отложений, глубина, степень зарастания макрофитами и т. д.). Обычно для водотока исследовался створ протяженностью не менее 100 м. Это позволяло оценить экологическое состояние реки или ручья на данном участке русла. Пробы отбирались в максимально разнообразных станциях экосистемы, например на участках с макрофитами, заиленных участках, участках с чистым песчаным дном и т. д. Если водоем или водоток был небольшого размера (пруд, ручей), то пробы отбирались вдоль всей береговой линии. Отбор проб гидробиологическим сачком производился до того момента, пока в пробах встречались виды (морфотипы) беспозвоночных, не отмеченные в предыдущих разовых пробах.

Для определения класса качества воды, степени загрязнения и экологического состояния водной экосистемы на основе анализа таксономического состава беспозвоночных следует использовать следующий алгоритм:

1) организмы в пробе идентифицировать по группам в соответствии с таблицей 1, данные внести в таблицу (каждая обнаруженная группа — в столбце 2);

2) для каждой группы определять число видов (морфотипов) организмов, результаты указать в столбце 3;

3) подсчитать общее число видов (морфотипов) в столбце 3, результат записать в выделенную ячейку нижней части столбца;

4) на основании числа видов (морфотипов) в группе определить разряд для каждой группы организмов, разряды отметить плюсами в столбце 5;

5) определить высший из отмеченных разрядов, соответствующий латинской букве с наименьшим порядковым номером в алфавите высший разряд записать в выделенную ячейку в нижней части столбца 5;

6) класс качества воды определить по таблице 2 на основе данных по общему числу видов (морфотипов) и высшему разряду, продвигаясь слева направо по строке, соответствующей высшему разряду, до столбца с указанием общего числа видов. Римские цифры обозначают класс качества воды в водном объекте;

7) по таблице 3 определить степень загрязнения воды по большему порядковому числу, присужденному классу качества воды (если в пробах отсутствуют виды-биоиндикаторы).

Т а б л и ц а 1. — Расчёт входных параметров для таблицы 2

T a b l e 1. — Calculation of input parameters for table 2

Группа организмов	Обнаруженные в пробе группы организмов	Число видов организмов в группе	Определение высшего разряда	
			Сравнение числа видов организмов в группе	Разряд
1	2	3	4	5
Личинки веснянок			2 и более 1	A B
Широкопалый рак				B
Плавунчик брихиус, плавунцы деронектес и ореодитес, сумеречная вертячка и их личинки			2—4 1	B C
Личинки поденок			3 и более 2 1	B C Не влияет
Личинки ручейников четоптерикса и одонтоцерума			2 и более 1	B C
Личинки других видов ручейников			4 и более 1—3	B C
Губки			1—2	C
Бокоплавы			2 и более 1	C Не влияет
Узкопалый рак				C
Личинки вислоккрылок				D
Водяной ослик				D
Пиявки				D
Поденка казнис				D
Водожук бурый и его личинка				D
Личинка стрекозы болотной				D
Трубочник и другие кольчатые черви				E
Личинки комаров-звонцов				E
Личинки львинок				E
Личинки журчалок				E
Личинки бабочек				
Личинки других двукрылых				
Личинки других стрекоз				
Клопы				
Другие жуки и их личинки				
Кишечнополостные				
Мшанки				
Плоские черви				
Круглые черви				
Моллюски				
Другие ракообразные				
Водные клещи и другие паукообразные				
Общее число видов			Высший разряд	

Т а б л и ц а 2. — Определение класса качества вод

T a b l e 2. — Defining water quality class

Высший разряд	Общее число видов			
	0—1	2—8	9—15	16 и более
A	—	II	I—II	I
B	III	II—III	II	I—II
C	III—IV	III	II—III	II
D	IV	III—IV	III	II—III
E	V	IV—V	III—IV	III

Т а б л и ц а 3. — Определение степени загрязнения по классу качества воды

T a b l e 3. — Determining the degree of pollution by the class of water quality

Класс качества воды	Степень загрязнения
I	Очень чистые
II	Чистые
III	Умеренно грязные
IV	Загрязнённые
V	Грязные
VI	Очень грязные

В качестве индикаторов экологического состояния водного объекта использовались:

– индикаторы чистоты воды (широкопалый рак *Astacus astacus* (Linnaeus), жуки (*Deronectes latus* (Stephens), *Oreodytes sanmarkii* (Sahlberg), *Brychius elevatus* (Panzer), *Orectochilus villosus*, ручейники (*Chaetopteryx villosa* (Fabricius, 1798), *Odontocerum albicorne* (Scopoli, 1763)), нахождение которых, согласно данному методу, позволяет присвоить воде разряд B. Нахождение в пробах видов — индикаторов чистоты воды среди веснянок (например, *Taeniopteryx nebulosa* (Linnaeus, 1758)) не вынесено в отдельную строку в таблице 1, так как любой вид представителей этого отряда позволяет присвоить воде разряд B;

– индикаторы умеренного органического загрязнения (поденки каэнис (*Caenis* sp.), личинки стрекозы болотной *Leucorrhinia pectoralis* (Charpentier) и водожук бурый *Hydrobius fuscipes* (Linnaeus) — разряд D;

– индикаторы сильного органического загрязнения и заиления (личинки мух-журчалок (Syrphidae), личинки мух-львинок (Stratiomyidae), личинки комаров-звонцов (Chironomidae) и др.) — разряд E.

Предложенные виды-индикаторы достаточно хорошо идентифицируются по внешнему виду [13].

При оценке экологического состояния водного объекта учитывалось присутствие в пробах конкретных видов-биоиндикаторов. Это позволяло более точно определить класс качества воды. Так, наличие в пробах индикаторов чистоты воды или индикаторов органического загрязнения в случае (согласно обозначенной выше методике) промежуточного

класса качества (например II—III) позволяет более точно определить класс качества воды. Присутствие индикатора загрязнения воды предполагает снижение класса качества воды (например, при II—III классе, согласно таблице 2, до III). В противном случае при наличии в пробе индикатора чистоты воды класс качества воды определяется как II.

Использовалась следующая градация степеней экологического состояния водного объекта:

- экологическое состояние хорошее — I класс качества воды и степень загрязнения «очень чистые»;
- экологическое состояние удовлетворительное — II класс качества воды и степень загрязнения «чистые»;
- экологическое состояние неудовлетворительное — III—VI классы качества воды и степень загрязнения «умеренно грязные», «загрязнённые», «грязные», «очень грязные».

Для выявления видов — индикаторов ненарушенности водных экосистем был использован следующий алгоритм:

1) составление перечня видов насекомых модельных групп, отмеченных только в естественных экосистемах (родниках, ручьях, реках, старицах рек (старичных озерах), озерах и болотах (П1)). Данный перечень составлялся на основе литературных данных (в том числе и зарубежных) и собственных исследований;

2) составление перечня видов, отмеченных в ненарушенных водотоках и водоемах на ООПТ (П2). Данный перечень состоял из таксономических списков водных и амфибиотических насекомых для каждой конкретной ООПТ;

3) составление перечня видов, отмеченных в нарушенных (реки, ручьи, болота, озера, старицы) и искусственных (пруды, каналы) водотоках и водоемах на особо ООПТ (П3). Данный перечень также состоял из таксономических списков водных и амфибиотических насекомых для каждой конкретной ООПТ;

4) исключение из перечня П1 видов, присутствующих в перечне П3;

5) исключение из перечня П2 видов, присутствующих в перечне П3;

6) сравнение преобразованных перечней П1 и П2 для выявления общих видов, которые были отмечены только в естественных водных экосистемах и только в ненарушенных водоемах и водотоках на ООПТ в ходе реализации данного исследования;

7) общие виды для перечней П1 и П2 получали статус индикаторов ненарушенных естественных водных экосистем, а остальные виды из перечня П1 — статус потенциальных индикаторов ненарушенных естественных водных экосистем.

Метод определения экологического состояния водных экосистем на основе анализа таксономического состава беспозвоночных не рекомендуется применять для определения экологического состояния всех типов водных объектов зимой, так как отсутствие активности в этот период большинства видов беспозвоночных не позволит получить объективные данные. Существует определенная сложность при использовании данного метода при исследовании родниковых экосистем. Это касается в первую очередь лимнокренов, диаметр так называемой «ванны» не превышает 3 м, которые отличаются достаточно специфическими экологическими условиями. Такие родники могут быть не заселены беспозвоночными как в определённые периоды года, так и вообще (из-за размеров, характера дна, антропогенной трансформации и других причин). Кроме того, это одни из самых бедных водных экосистем по видовому составу беспозвоночных среди всех водных экосистем Беларуси. При таких условиях применение указанного выше метода не позволит правильно определить класс качества воды и степень загрязнения. Не рекомендуется применение метода для определения экологического состояния временных водоемов (луж) в силу их ограниченного срока существования как экосистемы.

При обосновании гидроландшафтных критериев был использован геосистемно-гидрологический подход, основывающийся на комплексном анализе условий формирования поверхностных вод в разрезе водосборных бассейнов [32—36].

Для выявления ненарушенных водных экосистем были сформулированы критерии ненарушенности водотоков и водоемов Беларуси. При формулировке критериев также был использован бассейново-ландшафтный подход [36].

Фотографии насекомых были сделаны при помощи фотокамеры (Nikon D5100 digital camera with attached Nikon 60 mm 1:2.8G macro lens и Meike Macro Extension Tube Set. Рисунки и фотографии были обработаны в программе Adobe Photoshop CS5®).

Результаты исследования и их обсуждение. В ходе проведенных исследований был разработан оригинальный методологический алгоритм определения статуса ненарушенности водных экосистем с использованием насекомых-биоиндикаторов. Присвоение водоему или водотоку статуса «ненарушенный» должно основываться на принципе баланса гидроландшафтных и гидробиологических критериев.

Первым этапом метода определения статуса ненарушенности водных экосистем должен стать анализ соответствия водоема или водотока на какой-либо территории гидроландшафтным критериям. Данные критерии касаются исключительно антропогенного воздействия на экосистемы, исключая естественное влияние (например наводнение или деятельность бобров).

Гидроландшафтные критерии ненарушенности экосистем естественных водотоков (рек и ручьев). Реки Беларуси традиционно делятся на большие, средние и малые. Чаще всего группировка производится по длине рек (к большим относятся реки длиной более 500 км, средним — от 100 до 500 км, малым — менее 100 км, к ручьям — менее 10 км). Помимо этого, в Республике Беларусь применяется типизация естественных водотоков по площади водосбора, согласно которой к очень большим отнесены водотоки с площадью водосбора более 10 000 км², большим — 1 000—10 000, средним — 100—1 000, малым — менее 100 км².

В настоящее время сложно говорить о ненарушенности той или иной речной экосистемы, в первую очередь это касается больших и средних рек. Это связано, с одной стороны, с различной степенью хозяйственного влияния (прямого и косвенного) на условия формирования их вод, с другой — со значительной территориальной неоднородностью такого влияния. Более правильно говорить о ненарушенности речных экосистем элементарных и сопоставимых по размерам водосборов — структур бассейнового строения (рисунок 1).

К критериям ненарушенности в данном случае будут относиться:

- естественное состояние русла реки, меандрирование русла;
- лесистость водосбора не менее 50 %;
- естественное состояние поймы (в том числе соответствие динамики уровня почвенно-грунтовых вод поймы сезонной динамике основных метеофакторов и уровню воды в реке как следствие отсутствия либо значительной удаленности гидромелиоративных систем от рассматриваемого участка);
- отсутствие обустроенных мест рекреации и необустроенных мест массового отдыха;
- отсутствие построек и коммуникаций в пойме и прибрежной зоне;
- отсутствие прямого сброса вод мелиоративных каналов в пределах участка;
- отсутствие водорегулирующих сооружений и искусственных водоемов в русле реки;
- наличие видов — индикаторов ненарушенных речных и ручьевых экосистем.

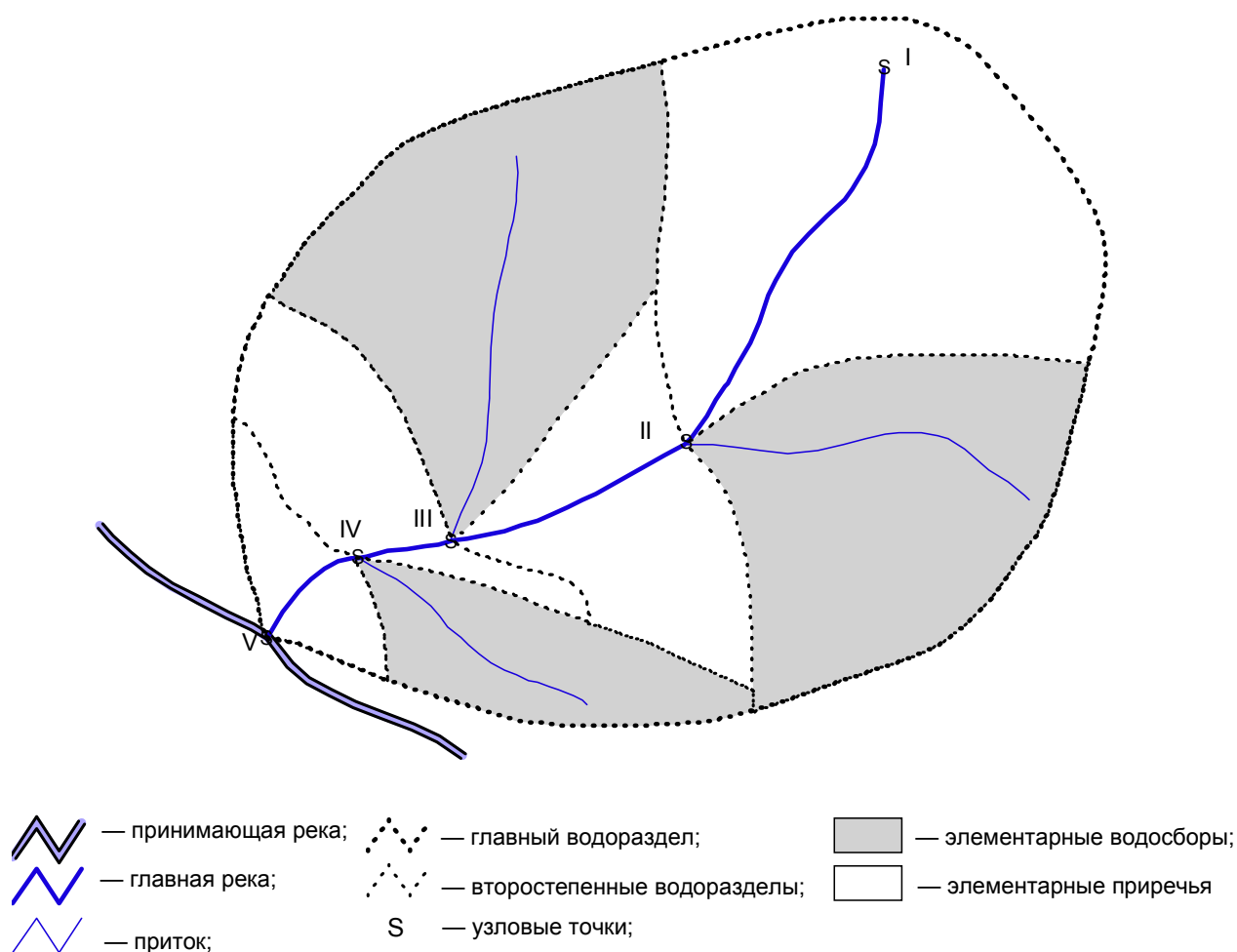


Рисунок 1. — Базовая модель соотношения структур бассейнового строения на уровне водотоков

Figure 1. — The basic model of the ratio between the structures of the basin structure at the level of watercourses

В то же время допускается выявление локальных ненарушенных участков речных экосистем в случае наличия нарушений (спрямлений) береговой линии, соединения с мелиоративными системами или сбросными каналами, присутствия водорегулирующих сооружений, прудов или водохранилищ. При этом предполагается учет расстояния от обозначенных выше объектов по руслу водотока. Для ручьев такое расстояние должно быть не менее 1 км, малых рек — 3—5 км (при ширине русла в межень до 10 м — 3 км, при ширине больше 10 м — 5 км), средних — 10 км, крупных — 50 км.

Гидроландшафтные критерии ненарушенности экосистем естественных выходов подземных вод (родников). Их предполагается выделять в качестве ультралокальных элементов в принятой структуре бассейнового строения территории.

По признакам выхода подземных вод на поверхность родники делятся на три основных типа: реокрен, лимнокрен и гелокрен. Реокрен изливает свои воды на склонах или у основания холмов, на склонах речных долин или иных эрозионных врезах. Сравнительно узкий и быстрый родниковый ручей течет по склону и обычно впадает в другой более крупный водный объект. Лимнокрен при выходе образует небольшой проточный водоем — «ванну», из которой вытекает ручей. Гелокрен характеризуется множественными небольшими выходами подземных вод на относительно ровную поверхность, в результате чего образуется топкое, заболоченное место. Обычно из гелокрена берут начало один или несколько ручьев. Некоторые родники имеют смешанные или промежуточные формы, сочетающие признаки разных типов родников.

К критериям ненарушенности предполагается относить:

- отсутствие обустройства родника и прилегающей территории (на удаленности до 10 м);
- отсутствие распашки и гидротехнической мелиорации территории, примыкающей к роднику и вытекающего из него ручья (ручьев), и поймы на расстоянии не менее 1 км в радиусе от родника;
- отсутствие водозаборных сооружений в зоне питания родника.

Гидроландшафтные критерии ненарушенности экосистем озер. Данная группа критериев была определена с учетом специфики хозяйственного использования озер в Республике Беларусь. Преобладающим видом хозяйственного использования озер в стране является рыбное хозяйство (рыболовство и рыбоводство) — до 92 % от общего числа озер. В качестве источников водоснабжения используется около половины озер (основными направлениями использования воды являются хозяйственно-бытовое (52 %) и сельскохозяйственное (13 %)). Для рекреационных целей используется не более 32 % от общего числа озер. В системах гидротехнической мелиорации используется около 9 % озерного фонда страны. Незначительная часть озер используется для добычи сапропелей [37].

С учетом отмеченной специфики в качестве критериев ненарушенности предполагается рассматривать:

- отсутствие нарушения берегов (спрямления берегов, наличия обустроенных стоянок для водного транспорта с использованием железобетонных конструкций и т. д.);
- лесистость водосборов более 50 %;
- отсутствие распашки и участков гидротехнической мелиорации в пределах приозерной поймы;
- сохранность естественного гидрологического режима водоемов — отсутствие искусственных водорегулирующих сооружений в проточных и сточных озерах, сброса воды в озеро или спуска из него в бессточных;
- отсутствие в пределах водосбора систем гидротехнической мелиорации, которые наряду с водорегулирующими плотинами определяют уровень почвенно-грунтовых вод в приозерной пойме;
- отсутствие обустроенных мест для рекреации, необустроенных мест массового отдыха, построек и сети коммуникаций в прибрежной зоне (за исключением грунтовых дорог без насыпи).

Для озер значительных размеров (имеют притоки), а также озер, имеющих тесную гидрологическую связь с реками и ручьями, предполагается использовать концептуальную модель соотношения структур бассейнового строения озерно-бассейновых систем [36], учитывающую связь формирования отдельных водных масс озер (гидрологически определяют состояние экосистемы озера на определенном участке) с участками их поверхностного водосбора (рисунок 2).

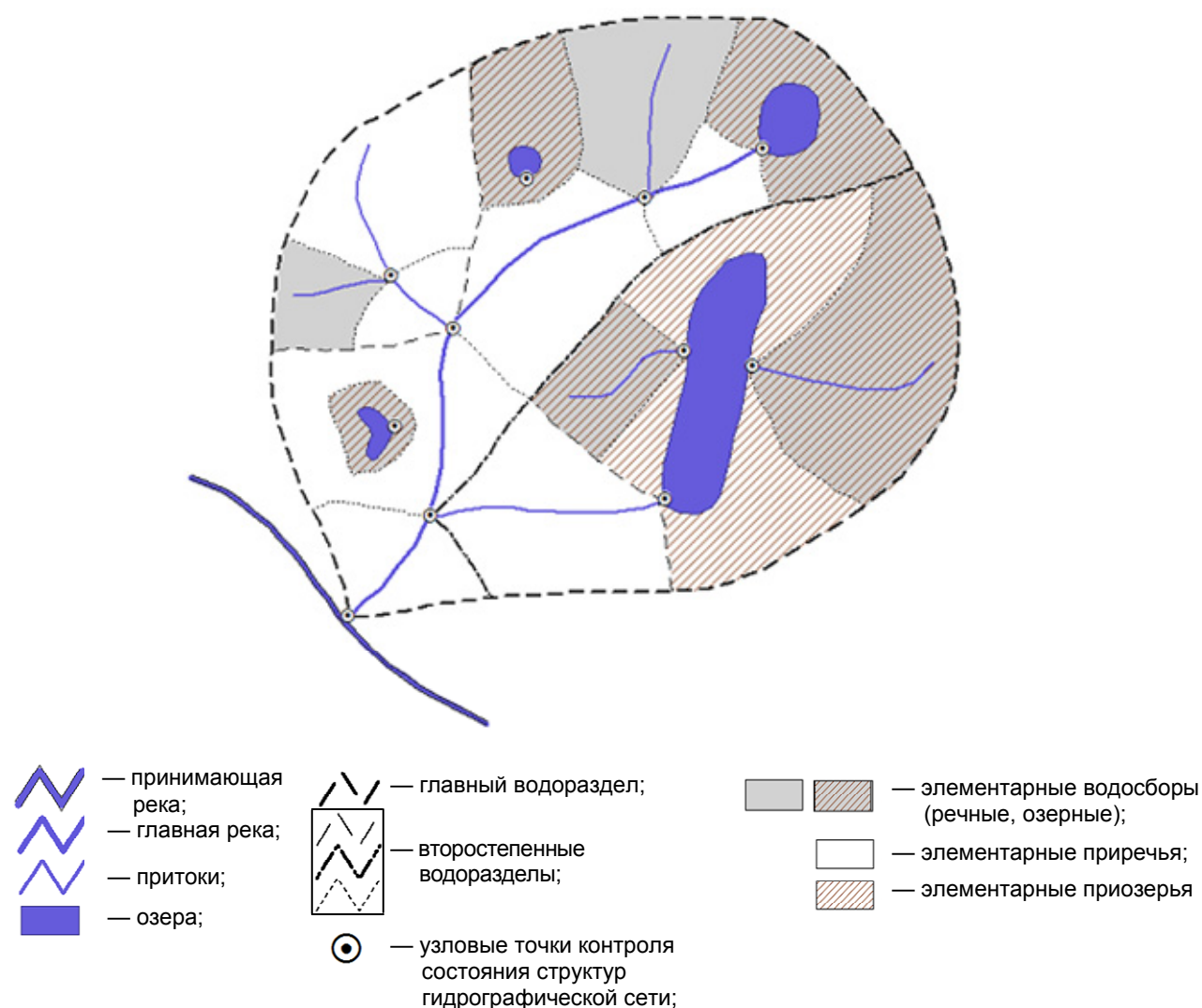


Рисунок 2. — Принятая концептуальная модель соотношения структур бассейнового строения озерно-бассейновой системы

Figure 1. — The adopted conceptual model for the ratio between the structures of the basin structure of the lake-basin systems

Гидроландшафтные критерии ненарушенности экосистем стариц. Для стариц (старичных озер) критерии совпадают с таковыми для озер, за исключением критерия «лесистость водосборов более 50 %». Данный критерий неприемлем для данного типа водоемов, особенно для стариц в поймах крупных рек. В качестве дополнительного критерия ненарушенности предполагается рассматривать отсутствие распашки и систем гидротехнической мелиорации участка речной поймы (на участке элементарного приречья) в пределах расположения старичного водоема.

Гидроландшафтные критерии ненарушенности экосистем болот. Эти экосистемы предлагается выделять в качестве локальных элементов (имеющих свои водосборы) в при-

нятых моделях структур бассейнового строения исследуемой территории (см. рисунки 1, 2). В качестве критериев ненарушенности предлагается рассматривать:

- отсутствие мероприятий гидротехнической мелиорации в пределах хорошо дренируемых эвтрофных (низинных) болот (как правило, мелкозалежных) либо незначительное осушение (не более 10 % от занимаемой площади) олиготрофных (верховых) болот;
- сохранность уровня почвенно-грунтовых вод в олиготрофном болоте в меженные периоды не ниже 25 см от дневной поверхности и не ниже 50 см в эвтрофных (соответствует таковым уровням в аналогичных типах болот в нетронутым состоянии);
- отсутствие лесомелиоративных мероприятий и вырубок прилегающих к болоту переувлажненных лесов.

Как и в случае с реками, в крупных болотных массивах возможно выделение ненарушенных участков при условии соблюдения гидроландшафтных критериев.

К гидробиологическим критериям ненарушенности водоемов и водотоков относятся:

- хорошее или удовлетворительное экологическое состояние водного объекта; экологическое состояние хорошее — I класс качества воды и степень загрязнения «очень чистые»; экологическое состояние удовлетворительное — II класс качества воды и степень загрязнения «чистые»;
- присутствие видов — индикаторов ненарушенности водных экосистем.

Анализ таксономической и экологической структуры (биотопического распределения) водных и амфибиотических насекомых при использовании рассмотренного выше алгоритма позволил выделить 21 вид — индикатор ненарушенности водных экосистем Беларуси (5 видов жесткокрылых, 4 вида стрекоз, по 3 вида веснянок, клопов и ручейников, по 1 виду поденок и веснянок). Ниже приводится перечень видов-индикаторов.

Отряд Ephemeroptera — Поденки

Siphonurus lacustris (Eaton 1870) — индикатор ненарушенных естественных водотоков (рисунок 3).

Отряд Odonata — Стрекозы

Aeshna subarctica Walker, 1908 — индикатор ненарушенных верховых и переходных болот (рисунок 5).

Brachytron pratense (O. F. Müller, 1767) — индикатор ненарушенных рек, стариц, озер и болот (рисунок 6).

Cordulegaster boltonii (Donovan, 1807) — индикатор ненарушенных естественных водотоков (рисунок 4).

Ophiogomphus cecilia (Fourcroy, 1785) — индикатор ненарушенных естественных водотоков.

Somatochlora arctica (Zetterstedt, 1840) — индикатор ненарушенных верховых и переходных болот (см. рисунок 3).

Отряд Plecoptera — Веснянки

Leuctra digitata (Kempny 1899) — индикатор ненарушенных естественных водотоков.

Nemoura cambrica (Stephens 1836) — индикатор ненарушенных естественных водотоков.

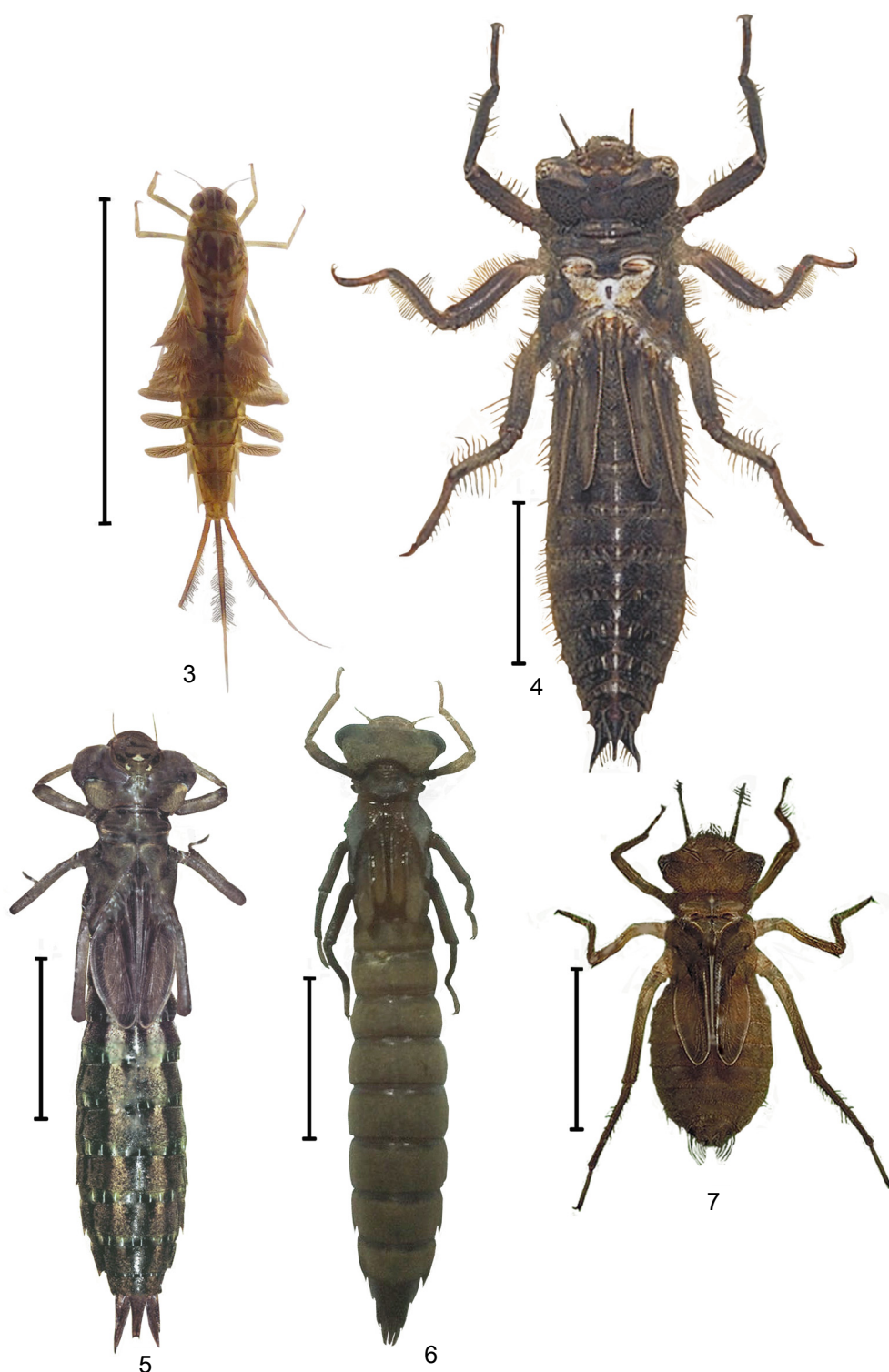
Taeniopteryx nebulosa (Linnaeus 1758) — индикатор ненарушенных естественных водотоков.

Отряд Hemiptera — Полужесткокрылые, подотряд Heteroptera — Клопы

Gerris sphagnetorum Gaunitz, 1947 — индикатор ненарушенных болот и водотоков, протекающих по болотным массивам или имеющих исток в болотах (рисунок 10).

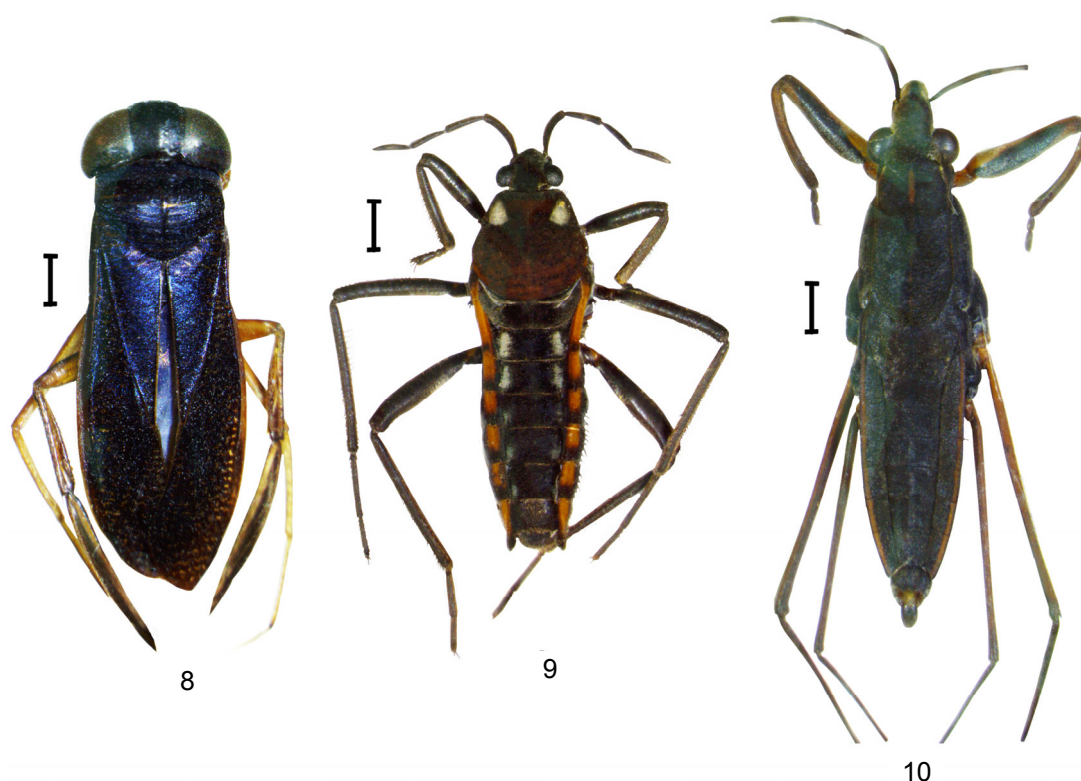
Glaenocoris propinqua propinqua (Fieber, 1860) — индикатор ненарушенных верховых болот и дистрофных озер на болотах (рисунок 8).

Velia saulii Tamanini, 1947 — индикатор ненарушенных естественных водотоков с быстрым течением (рисунок 9).



Рисунки 3—7. — Биоиндикаторы ненарушенных водных экосистем: 3 — *Siphonurus lacustris* (личинка); 4 — *Cordulegaster boltonii* (личинка); 5 — *Aeshna subarctica* (личинка); 6 — *Brachytron pretense* (личинка); 7 — *Somatochlora arctica* (личинка). Длина масштабной линейки 10 мм

Figures 3—7. — Bioindicators of intact water ecosystems: 3 — *Siphonurus lacustris* (larva); 4 — *Cordulegaster boltonii* (larva); 5 — *Aeshna subarctica* (larva); 6 — *Brachytron pretense* (larva); 7 — *Somatochlora arctica* (larva). Scale bar: 10 mm



Рисунки 8—10. — Биоиндикаторы ненарушенных водных экосистем: 8 — *Glaenocoris propinqua propinqua* (имаго); 9 — *Velia saulii* (имаго); 10 — *Gerris sphagnetorum* (имаго). Длина масштабной линейки 1 мм

Figures 8—10. — Bioindicators of intact water ecosystems: 8 — *Glaenocoris propinqua propinqua* (imago); 9 — *Velia saulii* (imago); 10 — *Gerris sphagnetorum* (imago). Scale bar: 1 mm

Отряд Coleoptera — Жуки

Oreodytes sanmarkii (Sahlberg, 1826) — индикатор ненарушенных естественных водотоков (рисунок 13).

Deronectes latus (Stephens, 1829) — индикатор ненарушенных естественных водотоков (рисунок 11).

Nebrioporus assimilis (Paykull, 1798) — индикатор ненарушенных естественных водотоков (рисунок 12).

Ilybius wasastjernae (Sahlberg, 1824) — индикатор ненарушенных верховых и переходных болот (рисунок 14).

Hydraena gracilis Germar, 1824 — индикатор ненарушенных естественных водотоков (рисунок 15).

Отряд Megaloptera — Большекрылые (вислокрылки)

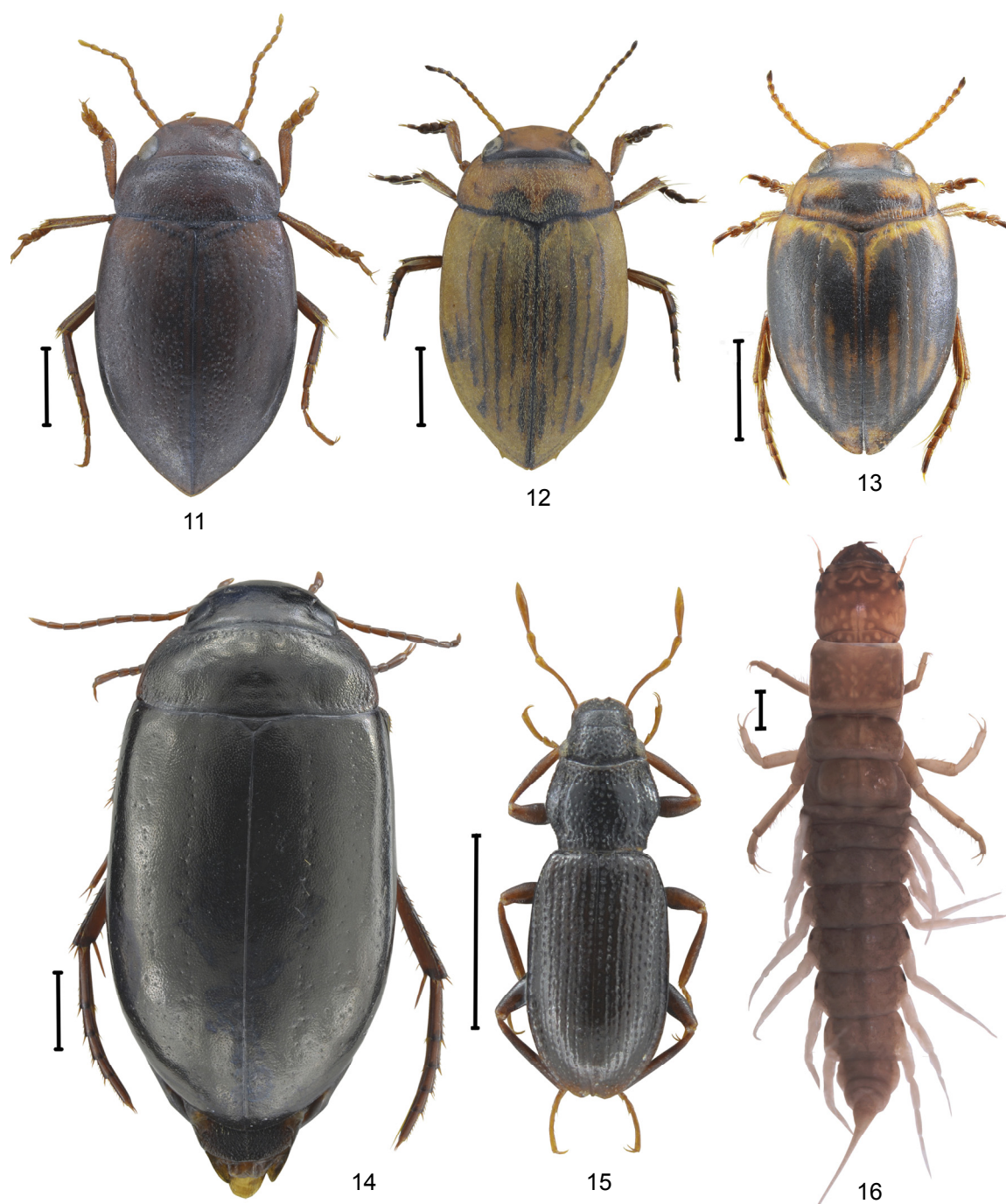
Sialis nigripes Pictet, 1865 — индикатор ненарушенных естественных водотоков (рисунок 16).

Отряд Trichoptera — Ручейники

Chaetopteryx villosa (Fabricius 1798) — индикатор ненарушенных естественных водотоков.

Odontocerum albicorne (Scopoli 1763) — индикатор ненарушенных естественных водотоков.

Agrypnia obsoleta Hagen, 1864 — индикатор ненарушенных дистрофных озер.



Рисунки 11—16. — Биоиндикаторы ненарушенных водных экосистем: 11 — *Deronectes latus* (имаго); 12 — *Nebrioporus assimilis* (имаго); 13 — *Oreodytes sanmarkii* (имаго); 14 — *Ilybius wasastjernae* (имаго); 15 — *Hydraena gracilis* (имаго); 16 — *Sialis nigripes* (личинка). Длина масштабной линейки 1 мм

Figures 11—16. — Bioindicators of intact water ecosystems: 11 — *Deronectes latus* (imago); 12 — *Nebrioporus assimilis* (imago); 13 — *Oreodytes sanmarkii* (imago); 14 — *Ilybius wasastjernae* (imago); 15 — *Hydraena gracilis* (imago); 16 — *Sialis nigripes* (larva). Scale bar: 1 mm

При проведении гидробиологических исследований отправной точкой для изучения водной экосистемы на предмет соответствия статуса ненарушенной может стать нахождение в водотоке или водоеме соответствующего вида-индикатора. Определение гидроландшафтных показателей и сравнение их с критериями ненарушенности позволят точно установить его статус. Другими словами, выявление ненарушенных водных экосистем может начинаться и от обратного — нахождения вида-индикатора.

Вид-индикатор не является, естественно, настолько узкоспециализированным, что его экологической преференцией является обитание исключительно в ненарушенных водотоках или водоемах. Его приуроченность складывается из целого ряда экологических преференций (скорость течения, наличие донных отложений, степень зарастания, кислотность воды и т. д.), которым могут удовлетворять и нарушенные и в некоторых случаях старые искусственные водные объекты. Следовательно, единичные или случайные находки видов-индикаторов в таких водоемах и водотоках не могут служить поводом для исключения вида из списка индикаторов. На наш взгляд, если число таких находок в водных объектах не превышает 10 % от общего числа локалитетов, в которых фиксировался вид, и его относительное обилие в нарушенных и искусственных объектах не выше 10 %, то вид может быть отнесен к категории биоиндикаторов ненарушенных водных экосистем.

Соответствие водоема или водотока всем перечисленным выше критериям позволяет его причислить к ненарушенным естественным экосистемам и придать охранный статус.

Однако существуют некоторые дискуссионные моменты в предложенной методике определения статуса ненарушенности, которые могут быть устранены только при дальнейших исследованиях в данном направлении.

Во-первых, это использование видов-индикаторов. Предложенный перечень видов — индикаторов ненарушенных естественных водных экосистем не является окончательным и статичным. Некоторые виды могут быть исключены из этого перечня, если будут найдены в значительном числе (более 10 %) в нарушенных и искусственных водных объектах. Этот перечень может быть расширен за счет «потенциальных индикаторов ненарушенности», недостаток информации об экологических преференциях которых не позволил причислить их к биоиндикаторам. Кроме того, необходимо рассмотреть возможность использования в качестве индикаторов ненарушенных экосистем других групп беспозвоночных (двукрылые, ракообразные и т. д.).

Установление для ряда водоемов и водотоков второго гидробиологического критерия ненарушенности может быть затруднено из-за кратковременности изучения конкретного объекта. В момент однократного отбора проб виды-индикаторы могут быть не зафиксированы из-за особенностей жизненного цикла или их малочисленности. Поэтому присуждение статуса ненарушенной водной экосистемы должно базироваться на исследованиях в течение весны—осени не менее 2 лет.

Во-вторых, придание статуса ненарушенной экосистемы рекам. Нами предложено считать ненарушенными участки рек, учитывая сильный антропогенный пресс на речные экосистемы в последнее столетие на территории нашей страны. К сожалению, даже на ООПТ не удалось выявить ненарушенные участки для крупных рек, чтобы они полностью соответствовали гидроландшафтным критериям. Возможно, это не позволило сделать кратковременность реализуемого исследования и ограниченность перечня изученных речных экосистем. В дальнейшем следует обратить внимание на другие крупные реки (например, такие как Западная Двина), ряд средних рек, которые протекают не только по территории ООПТ.

В-третьих, вероятно, рассматривать болотную систему в качестве ненарушенной более целесообразно не только как водную, а как водно-наземную. Это влечет за собой необходимость выявления наземных видов-индикаторов.

В-четвертых, нельзя, вероятно, исключать возможность выделения ненарушенных участков в крупных озерах. Исходя из сформулированных критериев, даже небольшой населенный пункт на берегу крупного озера не позволяет отнести эту экосистему к категории ненарушенных.

В-пятых, возникает вопрос о долговременности и сроке воздействия на экосистему человека. Так, следует ли рассматривать как нарушенные те экосистемы (например болотные и речные), которые ранее подвергались антропогенному влиянию (мелиорирование прилегающей территории, спрямление русла и т. д.) в незначительной степени, и уже долгое время (более 50—100 лет) это влияние отсутствует (в случае, если такая экосистема находится на ООПТ)? Учитывая способность экосистем к самовосстановлению, экосистема за этот период времени будет возвращаться постепенно к первоначальному состоянию, но только при сохранении определенных возможностей к этому (отсутствие антропогенного пресса, достаточная площадь экосистемы, наличие соответствующего биоразнообразия и т. д.). На данный момент мы такие системы не рассматривали в качестве ненарушенных.

Заключение. Разработан перечень критериев ненарушенности для всех типов водных объектов Беларуси: родников, ручьев, рек (малых, средних и крупных), стариц рек, озер и болот (низинных, переходных и верховых). Разработан оригинальный методологический алгоритм определения статуса ненарушенности водных экосистем и рекомендации по использованию видов-индикаторов. На основании анализа экологической и таксономической структуры водной и амфибиотической энтомофауны предложен список биоиндикаторов ненарушенных водных экосистем, включающий 21 вид (5 видов жуков, 5 видов стрекоз, по 3 вида веснянок, клопов и ручейников, по 1 виду поденок и веснянок).

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении исследований на территории Березинского биосферного заповедника заместителю директора заповедника по научно-исследовательской работе кандидату сельскохозяйственных наук В. С. Ивковичу, начальнику отдела природных комплексов, лесопользования и охотхозяйства Национального парка «Припятский» Н. Н. Бамбизе за помощь в организации исследований на территории парка. Работа была выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Б20В-004).

Список цитируемых источников

1. Рындевич, С. К. Энтомофауна (Insecta: Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Hemiptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera) ненарушенных водных экосистем некоторых особо охраняемых природных территорий Беларуси / С. К. Рындевич // Вестн. БарГУ. Сер. «Биологические науки (общая биология). Сельскохозяйственные науки (агрономия)». — 2019. — Вып. 7. — С. 98—107.
2. Karström, M. Indicator species as a biological inventory method. In Indicator species for the identification of natural forests in the province of Norrbotten, Sweden / G. A. Olsson and M. Gransberg, eds. / Swedish Environmental Protection Agency Report 4276. — 1993. — P. 19—96.
3. Möller, P. F. Biodiversity in natural forests in Denmark. A comparison between natural and planted forests / P. F. Möller / Udarbejdet for WWF Verdensnaturfonden. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 1997/41. — 1997. — 209 pp. [in Danish], Symank A. Indikatorarten der fauna für historisch alte Wälder / A. Symank / NNA-Berichte. — 1994. — Vol. 7 (3). — P. 134—141.
4. Thor, G. Red-listed lichens in Sweden: habitats, threats, protection, and indicator value in boreal coniferous forests / G. Thor / Biod. and Cons. — 1998. — Vol. 7. — P. 59—72.
5. Ek, T. Inventory of woodland key habitats. Methodology / T. Ek, U. Suško, R. Auziņš. — Riga, 2002. — 73 p.
6. A review of latvian saproxylic beetles from the European red list / U. Valainis [et al.]. // Acta Biol. Univ. Daugavp. — 2014. — Vol. 14 (2). — P. 217—227.
7. Абакумов, В. А. Гидробиологический мониторинг пресных вод и пути его совершенствования / В. А. Абакумов, М. Л. Сущеня // Экологические модификации и критерии экологического нормирования : тр. Междунар. симпозиума. — Л. : Гидрометеиздат, 1991. — С. 41—51.

8. Зинченко, Т. Д. Гидробиологический мониторинг как основа типологии малых рек Самарской области / Т. Д. Зинченко, В. К. Шитиков // Изв. СамНЦ РАН. — 1999. — Т. 1, № 1. — С. 118—127.
9. Семенченко, В. П. Принципы и системы биоиндикации текущих вод / В. П. Семенченко. — Минск : Орех, 2004. — 125 с.
10. Байчоров, В. М. Экологические риски и оценка состояния водотоков Беларуси / В. М. Байчоров, Г. М. Тишиков, Н. Н. Рощина. — Минск : Белорус. наука, 2005. — 118 с.
11. Рындевич, С. К. Водные жесткокрылые как индикаторы экологического состояния водных объектов / С. К. Рындевич // Навуковий вісник Чернівецького університету. Біологія : зб. навук. праць. — 2008. — Вып. 417. — С. 135—140.
12. Мороз, М. Д. Каталог поденок (Ephemeroptera), веснянок (Plecoptera) и ручейников (Trichoptera) Беларуси / М. Д. Мороз, Т. П. Липинская. — Минск : Беларус. навука, 2014. — 314 с.
13. Рындевич, С. К. Определение экологического состояния водных экосистем на основе анализа видового состава беспозвоночных : практ. рук. / С. К. Рындевич. — Барановичи, 2015. — 27 с.
14. Рындевич, С. К. Видовой состав жесткокрылых (Coleoptera) как показатель экологического состояния водных объектов / С. К. Рындевич // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон : материалы Междунар. конф., 25—27 окт. 2006 г. — СПб. : Изд-во РГГМУ, 2006. — С. 56—57.
15. Рындевич, С. К. Использование показателей биоразнообразия для оценки антропогенного воздействия на естественные водные и околотоводные экосистемы / С. К. Рындевич // Эко- и агротуризм: перспективы развития на локальных территориях : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., 18—19 мая 2011 г., Барановичи, Респ. Беларусь / редкол.: В. Н. Зуев (гл. ред.) [и др.]. — Барановичи : РИО БарГУ, 2011. — С. 202—206.
16. Wassmann, R. Ein neuer praxisbezogener Gewässersekundärschlüssel fuer die Bildungsarbeit- Arbeitsweise und Anwendungsbereich / R. Wassmann, W. E. R. Xylander // Das Kuenanzhaus. — 1986. — № 11. — S. 1—12.
17. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / под общ. ред. Р. Шуберта. — М. : Мир, 1988. — 350 с.
18. Рындевич, С. К. Фауна и экология водных жесткокрылых Беларуси (Haliplidae, Noteridae, Dytiscidae, Gyrinidae, Helophoridae, Georissidae Hydrochidae, Spercheidae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Limnichidae, Dryopidae, Elmidae) : монография : в 2 ч. / С. К. Рындевич. — Минск : Технопринт, 2004. — Ч. 1. — 272 с.
19. Рындевич, С. К. Водные жесткокрылые (Coleoptera: Haliplidae, Noteridae, Dytiscidae, Gyrinidae, Helophoridae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Chrysomelidae) естественных водотоков ландшафтного заказника «Стронга» (Беларусь) / С. К. Рындевич, К. В. Колушенкова // Естественные и математические науки в современном мире : сб. ст. по материалам XLVI Междунар. науч.-практ. конф. № 9 (44). — Новосибирск : СибАК, 2016. — С. 11—16.
20. Рындевич, С. К. Поденки, веснянки и ручейники (Insecta: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) рек Исса и Лохозва в заказнике «Стронга» / С. К. Рындевич, К. В. Колушенкова, О. Ю. Шимчик // Интеграция наук. — 2017. — № 6 (10). — С. 1—6.
21. Рындевич, С. К. Новый для фауны Беларуси вид вислокрылок (Megaloptera: Sialidae) из Березинского биосферного заповедника / С. К. Рындевич, А. О. Лукашук // Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. — 2017. — Вып. 12. — С. 162—164.
22. Водные и амфибиотические насекомые (Insecta: Odontata, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera, Hemiptera, Coleoptera) реки Красногубка как ненарушенной экосистемы / С. К. Рындевич [и др.] // Вестн. БарГУ. Сер. «Биологические науки (общая биология). Сельскохозяйственные науки (агрономия)». — 2018. — Вып. 6. — С. 97—105.
23. Водные и амфибиотические насекомые (Insecta: Odontata, Ephemeroptera, Trichoptera, Hemiptera, Coleoptera) озера Пострежское (Березинский биосферный заповедник, Беларусь) как ненарушенной экосистемы / С. К. Рындевич [и др.] // Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. — 2018. — Вып. 13. — С. 79—89.
24. Рындевич, С. К. Водные и амфибиотические насекомые ландшафтного заказника «Стронга» (Insecta: Ephemeroptera, Odontata, Plecoptera, Hemiptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera) / С. К. Рындевич, А. О. Лукашук // Современные научные исследования и разработки. — 2018. — Т. 2, № 12 (29). — С. 775—787.
25. Водные и амфибиотические насекомые (Insecta: Ephemeroptera, Odontata, Hemiptera, Coleoptera, Trichoptera) ненарушенных экосистем старичных озер в национальном парке «Припятский» / С. К. Рындевич [и др.] // Зоологические чтения — 2019 : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (Гродно, 20—22 марта 2019 г.) / О. В. Янчуревич (отв. ред.) [и др.]. — Гродно : ГрГУ, 2019. — С. 244—246.
26. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под общ. ред. С. Я. Цалолихина. — СПб. : Зоол. ин-т РАН, 1997. — Т. 3 : Паукообразные и низшие насекомые. — 444 с.
27. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под общ. ред. С. Я. Цалолихина. — СПб. : Наука, 2001. — Т. 5 : Высшие насекомые. — 825 с.

28. Рындевич, С. К. Сбор и определение водных и околотоводных жесткокрылых : учеб. пособие / С. К. Рындевич, В. А. Цинкевич. — Минск : БГУ, 2004. — 123 с.
29. Канюкова, Е. В. Водные полужесткокрылые насекомые (Heteroptera: Nepomorpha, Gerrjmorpha) России и сопредельных стран / Е. В. Канюкова. — Владивосток : Дальнаука, 2006. — 297 с.
30. Тесленко, В. А. Определитель веснянок (Insecta: Plecoptera) России и сопредельных стран / В. А. Тесленко, Л. А. Жильцова. — Владивосток : Дальнаука, 2009. — 382 с.
31. Скворцов, В. Э. Стрекозы Восточной Европы и Кавказа / В. Э. Скворцов. — М. : Товарищество науч. изд. КМК, 2010. — 623 с.
32. Коротный, Л. М. Речной бассейн как геосистема / Л. М. Коротный // Доклады Института географии Сибири и Дальнего Востока. — 1974. — Вып. 42. — С. 33—38.
33. Зотов, С. И. Об имитационном моделировании природно-хозяйственной системы «речной бассейн» / С. И. Зотов // География и природ. ресурсы. — 1985. — № 4. — С. 149—154.
34. Апацкий, А. Н. Концепция организации бассейнового управления использованием и охраной водных ресурсов в Беларуси / А. Н. Апацкий, В. С. Усенко, Г. А. Щербаков // Природ. ресурсы. — 1999. — № 2. — С. 24—29.
35. Коротный, Л. М. Бассейновая концепция в природопользовании / Л. М. Коротный. — Иркутск : ИГ СОРАН, 2001. — 163 с.
36. Токарчук, О. В. Подходы к выделению озерно-бассейновых систем Национального парка «Нарочанский» / О. В. Токарчук // Актуальные проблемы наук о Земле : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Году науки в Респ. Беларусь : в 2 ч., Брест, 25—27 сент. 2017 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: А. К. Карабанов [и др.]. — Брест : БрГУ, 2017. — Ч. 1. — С. 206—209.
37. Власов, Б. П. Хозяйственное использование и антропогенные изменения озер Беларуси / Б. П. Власов // Naturalne i antropogenne przemiany jezior. — Warszawa, 1999. — P. 277—284.

References

1. Ryndevich S. K. *Entomofauna (Insecta: Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Hemiptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera) nenarushennykh vodnykh ekosistem nekotorykh osobo okhrayaemykh territoriy Belarusi* [Entomofauna (Insecta: Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Hemiptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera) of intact water ecosystems of some specially protected natural areas of Belarus]. *Vestn. BarGU. Ser. Biologicheskie nauki. Sel'skokhozyaystvennyye nauki* [BarSU Herald. Series of Biological Sciences (General Biology). Agricultural Sciences (Agronomy)], 2019, iss. 7, pp. 98—107.
2. Karström M. Indicator species as a biological inventory method. In Indicator species for the identification of natural forests in the province of Norrbotten, Sweden. Eds. G. A. Olsson and M. Gransberg. *Swedish Environmental Protection Agency Report* 4276, 1993, pp. 19—96.
3. Möller P. F. Biodiversity in natural forests in Denmark. A comparison between natural and planted forests. Udarbejdet for WWF Verdensnaturfonden. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 1997/41, 1997, 209 pp. [in Danish], Symank A. Indikatorarten der fauna für historisch alte Wälder. *NNA-Berichte*, 1994, vol. 7 (3), pp. 134—141.
4. Thor G. Red-listed lichens in Sweden: habitats, threats, protection, and indicator value in boreal coniferous forests. *Biod. and Cons*, 1998, vol. 7, pp. 59—72.
5. Ek T., Suško U., Auziņš R. Inventory of woodland key habitats. Methodology. Riga, 2002, 73 p.
6. Valainis U. et al. A review of latvian saproxylic beetles from the European red list. *Acta Biol. Univ. Daugavp*, 2014, vol. 14 (2), pp. 217—227.
7. Abakuov V. A., Sushchenya M. L. *Gidrobiologicheskij monitoring presnykh vod i puti ego sovershenstvovaniya* [Hydrobiological monitoring of fresh water and ways to improve it]. *Ekologicheskie modifikatsii i kriterii ekologicheskogo normirovaniya. Trudy Mezhdunar. simpoziuma*. Leningrad, Gidrometizdat, 1991, pp. 41—51.
8. Zinchenko T. D., Shitikov V. K. *Gidrobiologicheskij monitoring kak osnova tipologii malykh rek Samarskoy oblasti* [Hydrobiological monitoring as the basis of the typology of small rivers in the Samara region]. *Izvestiya SamNPTs RAN*, 1999, vol. 1, no. 1, pp. 118—127.
9. Semenchenko V. P. *Printsipy i sistemy bioindikatsii tekuchikh vod* [Principles and systems of bioindication of fluid waters]. Minsk, Orekh, 2004, 125 p.
10. Baichorov V. M., Tishchikov G. M., Roshchina N. N. *Ekologicheskie riski i otsenka sostoyaniya vodotokov Belarusi* [Ecological risks and assessment of watercourse of Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka, 2005, 118 p.
11. Ryndevich S. K. *Vodnye zhestkokrylye kak indicatory ekologicheskogo sostoyaniya vodnykh ob'ektov* [Water beetles as indicators of the ecological state of water bodies]. *Navukovi visnik Chernivetskogo universitetu. Biyalogiya. Zbornik naukovich prats*, 2008, iss. 417, pp. 135—140.
12. Moroz M. D., Lipinskaya T. I. *Katalog podenok (Ephemeroptena), vesnyanok (Plecoptera) i rucheynikov (Trichoptera) Belarusi* [Catalog of mayflies (Ephemeroptena), spring fruits (Plecoptera) and caddis flies (Trichoptera) of Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka, 2014, 314 p.

13. Ryndevich S. K. *Opređenje ekološkog stanja vodnih ekosistema na osnovu analiza vidovog sastava bespozvončanih* [Determination of Ecological State of Water Ecosystems Based on Analysis of Species Composition of Invertebrates: Practical guidance]. Baranovichi, 2015, 27 p.
14. Ryndevich S. K. *Vidovoy sostav zheskokrylykh (Coleoptera) kak pokazatel ekološkog stanja vodnykh ob'ektov* [The species composition of beetles (Coleoptera) as an indicator of the ecological status of water bodies]. *Ekologicheskie i gidrometeorologicheskie problem bolshikh gorodov i promyshlennykh zon. Materialy mezhdunarodnoy konferentsii 25—27 oktyabrya 2006 g.* Saint Petersburg, RGGMU, 2006, pp. 56—57.
15. Ryndevich S. K. *Ispol'zovanie pokazateley bioraznoolichiya dlya otsenki antropogennogo vliyaniya na estestvennye odnye okolovodnye ekosistemy* [The use of biodiversity indicators to assess anthropogenic impacts on natural water and near-water ecosystems]. *Eko- i agroturizm: perspektivy razvitiya na lokalnykh territoriyakh. Materialy III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 18—19 maya 2011 g.*, Baranovichi, Respublika Belarus. Ed. V. N. Zuev. Baranovichi, RIO BarGU, 2011, pp. 202—206.
16. Wassmann R., Xylander W. E. R. Ein neuer praxisbezogener Gewässersekundärschlüssel fuer die Bildungsarbeit- Arbeitsweise und Anwendungsbereich. *Das Kuenanzhaus*, 1986, no. 11, pp. 1—12.
17. *Bioindikatsiya zagryazneniy nazemnykh ekosistem* [The bioindication of pollution of terrestrial ecosystems]. Ed. R. Shubert. Moscow, Mir, 1988, 350 p.
18. Ryndevich S. K. *Fauna i ekologiya vodnykh zheskokrylykh Belarusi (Coleoptera: Halipilidae, Noteridae, Dytiscidae, Gyrinidae, Helophoridae, Georissidae Hydrochidae, Spercheidae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Limnichidae, Dryopidae, Elmidae). Monografiya v 2 chastyakh* [Fauna and Ecology of Water Beetles of Belarus (Coleoptera: Halipilidae, Noteridae, Dytiscidae, Gyrinidae, Helophoridae, Georissidae Hydrochidae, Spercheidae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Limnichidae, Dryopidae, Elmidae). Monograph in 2 parts]. Minsk, Technoprint, 2004, part 1, 272 p.
19. Ryndevich S. K. *Vodnye zheskokrylye (Coleoptera: Halipilidae, Noteridae, Dytiscidae, Gyrinidae, Helophoridae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Chrysomelidae) estestvennykh vodotoov landsaftnogo zakaznika «Stronga» (Belarus)* [Water Beetles (Coleoptera: Halipilidae, Noteridae, Dytiscidae, Gyrinidae, Helophoridae, Hydrophilidae, Hydraenidae, Chrysomelidae) of the Natural Watercourses of the Stronga Landscape Reserve (Belarus)]. *Estestvennye i matematicheskie nauki v sovremennom mire. Sbornik statei po materialam XLVI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii no. 9 (44).* Novosibirsk, APS “SibAK”, 2016, pp. 11—16.
20. Ryndevich S. K., Kolushenkova K. V., Shimchik O. Yu. *Podenki, vesnyanki i rucheyniki (Insecta: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) rek Issa i Lokhozva v zakaznike “Strona”* [Mayflies, Stoneflies and Caddis Flies (Insecta: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) of the Rivers Issa and Lokhozva in the Stronga Reserve]. *Integratsiya nauk*, 2017, no. 6 (10), pp. 1—6.
21. Ryndevich S. K., Lukashuk A. O. *Novyy dlya fauny Belarusi vid vislokrylok (Megaloptera: Sialidae) iz Berezinskogo biosfernogo zapovednika* [A New Species of the Alderfly (Megaloptera: Sialidae) for the Fauna of Belarus from the Berezinsky Biosphere Reserve]. *Osobo okhranyaemye prirodne territorii Belarusi. Issledovaniya*, 2017, iss. 12, pp. 162—164.
22. Ryndevich S. K., Lukashuk A. O., Natarov V. M., Zemoglyadchuk A. V. *Vodnye i amfibioteskie nasekomye (Insecta: Odontata, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera, Hemiptera, Coleoptera) reki Krasnogubka kak nenarushennoy ekosistemy* [Water and Amphibiothic Insects (Insecta: Odontata, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Megaloptera, Hemiptera, Coleoptera) of Krasnogubka River as Intact Ecosystem]. *Vestn. BarGU. Ser. Biologicheskie nauki. Sel'skokhozyaystvennye nauki* [BarSU Herald. Series of Biological Sciences (General Biology). Agricultural Sciences (Agronomy)], 2018, iss. 6, pp. 97—105.
23. Ryndevich S. K., Lukashuk A. O., Natarov V. M., Tokarchuk O. V. *Vodnye i amfibioteskie nasekomye (Insecta: Odontata, Ephemeroptera, Trichoptera, Hemiptera, Coleoptera) ozera Postrezhskoe (Berezinskiy biosfernyy zapovednik, Belarus) kak nenarushennoy ekosistemy* [Water and Amphibiothic Insects (Insecta: Odontata, Ephemeroptera, Trichoptera, Hemiptera, Coleoptera) Postrezhskoe Lake (Berezinsky Biosphere Reserve, Belarus) as Intact Ecosystem]. *Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Belarusi. Issledovaniya*, 2018, iss. 13, pp. 79—89.
24. Ryndevich S. K., Lukashuk A. O. *Vodnye i amfibioteskie nasekomye landsaftnogo zakaznika “Strona” (Insecta: Ephemeroptera, Odontata, Plecoptera, Hemiptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera)* [Water and Amphibiothic Insects of Landscape Reserve “Strona” (Insecta: Ephemeroptera, Odontata, Plecoptera, Hemiptera, Coleoptera, Megaloptera, Trichoptera)]. *Sovremennye nachnye issledovaniya i razrabotki*, 2018, no. 12 (29), vol. 2, pp. 775—787.
25. Ryndevich S. K., Lukashuk A. O., Lundyshev D. S., Lukashenya M. A. *Vodnye i amfibioteskie nasekomye (Insecta: Ephemeroptera, Odontata, Hemiptera, Coleoptera, Trichoptera) nenarushennykh ekosistem staruchnykh ozer v natsionalnom parke “Pripyatskiy”* [Water and Amphibiothic Insects (Insecta: Ephemeroptera, Odontata, Hemiptera, Coleoptera, Trichoptera) of Intact Ecosystems of in National Park “Pripyatsky”. *Zoologicheskie chteniya — 2019: Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference (Grodno, March 20—22, 2019).* Grodno, GrSU, 2019, pp. 244—246.

26. *Opredelitel presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredelnykh territoriy. T. 3. Paukoobraznye i nizshie nasekomye* [Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent lands. T. 3. Arachnids and lower insects]. Ed. S. J. Tsalolikhin. Saint Petersburg, Zoologicheskiy in-t RAN, 1997, 444 p.
27. *Opredelitel presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredelnykh territoriy. T. 5. Vysshie nasekomye* [Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent lands. T. 5. Higher insects]. Ed. S. J. Tsalolikhin. Saint Petersburg, Nauka, 2001, 825 p.
28. Ryndevich S. K., Tsynkevich V. A. *Sbor i opredelenie vodnykh i okolovodnykh zhestokrylykh* [Collection and definition of water and near-water beetles training manual]. Minsk, BGU, 2004, 123 p.
29. Kanyukova E. V. *Vodnye poluzhestokrylye nasekomye (Heteroptera: Nepomorpha, Gerrjmorpha) Rossii i sopredelnykh stran* [Water semi-rigid insects (Heteroptera: Nepomorpha, Gerrjmorpha) of Russia and adjacent countries]. Vladivostok, Dalnauka, 2006, 297 p.
30. Teslenko V. A., Zhiltsova L. A. *Opredelitel vesnyanok (Insecta: Plecoptera) Rossii i sopredelnykh stran* [Key to stoneflies (Insecta: Plecoptera) of Russia and adjacent countries]. Vladivostok, Dalnauka, 2009, 382 p.
31. Skvotsov V. E. *Strekozy Vostochnoy Evropy i Kavkaza* [Dragonflies of Eastern Europe and the Caucasus]. Moscow: Tovarichestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, 623 p.
32. Korytnyy, L. M. *Rechnoy basein kak geosistema* [River basin as a geosystem]. *Doklady Instituta geografii sibirskogo Dalnego Vostoka*, 1974, iss. 42, pp. 33—38.
33. Zotov S. P. *Ob imitatsionnom modelirovanii prirodno-khozyaystvennoy sistemy "rechnoy bssey"* [About simulation modeling of the natural-economic system "river basin"]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 1985, no. 4, pp. 149—154.
34. Apatskiy A. N., Usenko V. S., Shcherbakov G. A. *Kontseptsiya organizatsii basseynovogo upravleniya ispolzovaniem okhrany vodnykh resursov v Belarusi* [The concept of organizing basin management of the use and protection of water resources in Belarus]. *Prirodnye resursy*, 1999, no. 2, pp. 24—29.
35. Korytnyy L. M. *Basseynovaya kontseptsiya v prirodopolzovanii* [Basin concept in nature management]. Irkutsk, IG SORAN, 2001, 163 p.
36. Tokarchuk O. V. *Podkhody k vydeleniyu ozerno-basseynovykh siste natsionalnogo parka "Narochanskiy"* [Approaches to the allocation of lake-basin systems of the National Park "Narochanskiy"]. *Aktualnye problemy nauk o Zemle: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy Godu nauki v Respublike Belarus, v 2 ch., Brest, 25—27 sentyabrya 2017 g.* Ed. A. K. Karabanov [et al.]. Brest, Brestskii gosudarstvennyi universitet imeni A. S. Pushkina, 2017, ch. 1, pp. 206—209.
37. Vlasov B. P. *Khozyaystvennoe ispolzovanie i antropogennye izmeneniya ozer Belarusii* [Economic use and anthropogenic changes of the lakes of Belarus]. Warzshawa, *Naturalne i antropogenne przemiany jezior*, 1999, pp. 277—284.

In the article the hydro-landscape and hydrobiological criteria of intact natural water bodies (springs, streams, rivers, old river-beds, lakes, bogs) are considered. In the course of the research, an original methodological algorithm for determining the status of inviolability of intact water bodies via insect bio-indicators was developed.

Twenty one species of water and amphibiotic insects were proposed as bioindicators of intact natural water ecosystems: 14 species-indicators of intact natural watercourses (mayfly *Siphonurus lacustris* (Eaton), dragonflies *Cordulegaster boltonii* (Donovan, 1807) and *Ophiogomphus cecilia*, stonefly *Leuctra digitata* (Kempny), *Nemoura cambrica* (Stephens), *Taeniopteryx nebulosa* (Linnaeus), bugs *Velia saulii* Tamanini, 1947, beetles *Deronectes latus* (Stephens), *Hydraena gracilis* Germar, *Nebrioporus assimilis* (Paykull) and *Oreodytes sanmarkii* (Sahlberg), alderfly *Sialis nigripes* Pictet, 1865, caddisflies *Chaetopteryx villosa* (Fabricius) and *Odontocerum albicorne* (Scopoli)), an indicator of intact rivers, old river-beds, lakes and bogs (dragonfly *Brachytron pretense* (Müller, 1764)) , an intact dystrophic lakes indicator (caddisfly *Agrypnia obsoleta* Hagen, 1864), three indicators of intact upland and transitional bogs (beetle *Ilybius wasastjernae* (Sahlberg, 1824), dragonflies *Aeshna subarctica* Walker, 1908 and *Somatochlora arctica* (Zetterstedt, 1840)).

In addition, the method of bioindication of the ecological state of a water body based on the analysis of the taxonomic composition of invertebrates is considered in the article.

Поступила в редакцию 25.05.2020