

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ АБИОТИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ В ВОДОЕМАХ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАН.
ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ
ОСОБЕННОСТЕЙ**

Н.Г.Булгаков

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, биологический факультет,

*119899 Москва, Воробьевы горы
e-mail: bulgakov@5.vertebra.bio.msu.ru
Поступила в редакцию*

Проведено сравнение крупнейших пресноводных бассейнов России, Литвы, Украины и Узбекистана по величине нормативов экологически допустимых уровней физико-химических факторов среды, несоблюдение которых ведет к отклонению от нормального состояния сообществ гидробионтов. С помощью процедур детерминационного анализа данных исследована зависимость адаптированности пресноводных экосистем к внешним воздействиям от места отбора пробы (водная толща или грунты), географической широты, климата, степени удаленности от моря, плотности населения в соответствующем регионе. Создана географическая и климатическая классификация экспериментальных регионов, основанная на изменчивости границ толерантности местных организмов в ответ на те или другие абиотические воздействия.

Решение проблемы безопасности природных экосистем связано с поиском факторов естественного и антропогенного происхождения, наносящих экологический ущерб популяциям и сообществам. Определение такого ущерба возможно путем регистрации отклонений от нормы некоторых индикаторных характеристик сообществ и отдельных популяций. Однако отбор потенциально опасных для биоты факторов, т.е. диагностика экологического состояния, есть лишь первый шаг на пути восстановления нарушенных экосистем. Он должен сопровождаться нормированием, т.е. вычислением для каждого из таких факторов допустимых значений (текущих, экстремальных или усредненных), при которых импактное сообщество

организмов не будет подвергаться ущербу ни в данный момент, ни в перспективе. Применяемая в России система нормирования основана на концепции предельно допустимых концентраций (ПДК) веществ по данным опытов с лабораторными тест-организмами. Недостатки этой системы не раз отмечались в отечественной литературе [2, 5, 6, 11]. Одним из таких недостатков является универсальный характер нормативов ПДК, т.е. их экстраполяция на все типы экосистем, независимо от географических, климатических особенностей последних, от всего комплекса биотических и абиотических условий, складывающихся в конкретной, во многом уникальной, экосистеме.

Указанного недостатка лишены способы экологического контроля, базирующиеся на сопоставлении индикаторных характеристик биоты и физико-химических показателей, наблюдаемых непосредственно в природе, в естественных местообитаниях. Метод экологически допустимых уровней (ЭДУ) факторов среды [12, 13, 14, 15], как одно из средств реализации подобного подхода позволяет: 1) на основе биотических оценок экологического состояния экосистем составить *региональный* список факторов, значимо влияющих на возникновение экологического неблагополучия специфической биоты; 2) вычислить *региональные* ЭДУ физико-химических характеристик окружающей среды, т.е. найти допустимые границы значений этих характеристик, в пределах которых состояние биоты в данном регионе благополучно; 3) провести ранжирование значимых факторов данного *региона* в зависимости от степени их опасности для экосистемы. Следует подчеркнуть, что при осуществлении всех трех описанных этапов экологического контроля строго соблюдается принцип региональности, т.е. создание нормативной базы экологически допустимого воздействия на окружающую среду осуществляется исключительно в рамках отдельной экосистемы или группы взаимосвязанных экосистем, географического региона, водосборного бассейна, мегаполиса и т.д. Найденные нормативы никак не могут быть применены к другому экспериментальному участку в силу указанных выше причин.

Действительно, в ходе многолетнего изучения пресноводных экосистем на всей территории бывшего СССР [3, 4, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23] были продемонст-

рированы существенные различия между речными бассейнами в величинах ЭДУ для одной и той же переменной. Для некоторых переменных регистрировали разницу на один и даже два порядка.

Ранее авторами были получены наборы ЭДУ факторов среды, значимых для экологического неблагополучия гидробионтов в бассейне р. Дон [3, 16], в бассейнах европейской части России и сопредельных стран [22], в бассейнах азиатской части России и Узбекистана [23]. В настоящей работе дается обобщенный сравнительный анализ величин ЭДУ пресных вод на всей территории бывшего СССР с учетом географических и климатических особенностей исследованных речных бассейнов и подбассейнов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе исследовали следующие пресноводные экосистемы:

- 1) бассейн Западной Двины
- 2) бассейн Немана
- 3) бассейн Дуная
- 4) бассейн Днестра
- 5) бассейн Днепра
- 6) подбассейн Верхней Волги (бассейн Волги)
- 7) подбассейн Средней Волги (бассейн Волги)
- 8) подбассейн Нижней Волги (бассейн Волги)
- 9) бассейн Волги в целом
- 10) бассейн Дона
- 11) район КАТЭКа (бассейн Оби)
- 12) подбассейн Иртыша (бассейн Оби)
- 13) район Забайкалья (бассейн Енисея)
- 14) подбассейн Ангары (бассейн Енисея)
- 15) подбассейн Верхнего Енисея (бассейн Енисея)
- 16) бассейн Енисея в целом

- 17) бассейн Лены
- 18) подбассейн Амура (бассейн Амура)
- 19) подбассейн Уссури (бассейн Амура)
- 20) бассейн Амура в целом
- 21) бассейн Сырдарьи.

Исходные гидробиологические данные включали в себя сведения о численности, и биомассе фито-, зоопланктона, перифитона и зообентоса [8]. Оценку экологического состояния проводили отдельно для толщи воды (по показателям индексов сапробности фито- и зоопланктона, перифитона) и для грунтов (по показателям олигохетных и биотических индексов зообентоса). В результате по каждому створу наблюдения за период 1978-1990 гг. ежегодно имели по две среднегодовые оценки состояния на 5-балльной экспертной шкале, соответствующей экологическим модификациям состояния сообществ [1], где 1 баллу соответствует наибольшее экологическое благополучие, а 5 баллам — наибольшее неблагополучие. В свою очередь метод экологических модификаций является развитием метода оценки состояния по классификатору Росгидромета [24]. Чтобы оценить экологическое состояние водной толщи, брали наихудший из имеющихся баллов по трем группам организмов. Наблюдения с баллами 1 и 2 маркировали как благополучные, а наблюдения, оцененные баллами от 3 до 5, как неблагополучные.

В качестве абиотических факторов исследовали среднегодовые и максимальные (для концентрации кислорода — минимальные) за год значения следующих показателей: БПК₅, ХПК, концентрации растворенного кислорода (O₂), азота нитратного (NO₃), нитритного (NO₂) и аммонийного (NH₄), общего фосфора (P), цинка (Zn), железа (Fe), меди (Cu), никеля (Ni), ртути (Hg), свинца (Pb), хрома (Cr), кадмия (Cd), магния (Mg), кальция (Ca), нефтепродуктов, фенолов, летучих фенолов, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), сероводорода (H₂S), метилмеркаптана, формальдегида, лигнина, лигносульфоната, альфа-ГХЦГ, гамма-ГХЦГ, ксантогенатов, роданидов, цианидов, мышьяка, рН (только среднегодовое значение), взвешенных веществ, гексахлорана, линдана, метанола, алюминия, ДДТ, ДДД, ДДЕ, натрия, сульфатов (SO₄), хлоридов (Cl), фторидов (F), бора (B), пропа-

нида, сатурна; минерализация, сумма ионов [7, 9, 10]. Из-за региональных особенностей программ физико-химического мониторинга списки анализируемых физико-химических переменных различались в зависимости от бассейна как количественно, так и качественно.

Методика поиска, нормирования и ранжирования факторов среды, влияющих на степень благополучия биологической составляющей экосистем, основана на современных процедурах одномерного [13] и многомерного [15, 26] статистического анализа экологических данных, позволяющих распознать в пространстве абиотических факторов среды область нормального функционирования водной экосистемы и рассчитать границы этой области, которые и названы экологически допустимыми уровнями воздействия абиотических факторов на биоту. Все включенные в анализ факторы делятся на значимые, т.е. те, которые влияют на оценку экологического состояния биоты (для всех значимых факторов найдены ЭДУ), и незначимые, т.е. те, колебания которых не сказываются на ухудшении экологического благополучия. Значимость факторов задается посредством критериев точности и полноты, привлеченных из теории детерминационного анализа [25]. Под точностью понимается доля случаев с неблагоприятными оценками экологического состояния, при которых не соблюдены ЭДУ, от общего числа случаев с несоблюдением ЭДУ. Полнота — это доля случаев с неблагоприятными оценками экологического состояния, при которых не соблюдены ЭДУ, от общего числа случаев с неблагоприятными оценками состояния.

С помощью метода ЭДУ [15] для указанных экосистем были рассчитаны [13, 16, 22, 23] экологически допустимые уровни физико-химических факторов, значимых для возникновения экологического неблагоприятия организмов водной толщи и грунтов. Кроме того, для незначимых переменных, измеряемых в данном бассейне или подбассейне, использовали экологически безопасные границы (ЭБГ), т.е. максимальные или минимальные (для содержания кислорода) за все время наблюдения значения фактора. В некоторых экосистемах ЭДУ или ЭБГ факторов были найдены только для одной из групп организмов (табл. 1). Таким образом, с учетом

того, что 12 из 21 исследованной экосистемы, были представлены дважды (отдельно для планктонных и бентосных видов), всего получилось 33 набора ЭДУ.

Было составлено четыре типа классификации исследованных экосистем:

- 1) по месту отбора пробы — водная толща или грунты;
- 2) по географической широте экспериментального региона — север, юг или промежуточная зона;
- 3) по климату, характерному для экспериментального региона — морской, умеренный или континентальный;
- 4) по степени удаленности от моря или озера, в который впадает главная река бассейна — близко или далеко;
- 5) по плотности населения территориальных образований, где расположены водные объекты экспериментального региона — низкая (менее 20 человек на 1 км²) и высокая (более 20 человек на 1 км²). По сути данная классификация оказалась равнозначной делению всех экосистем на западные и восточные.

Некоторые бассейны невозможно было определенным способом классифицировать из-за их слишком большой протяженности и, соответственно, распространения их на разные категории одного классификатора. Это касается бассейна Волги в целом при классификации по широте и удаленности от моря и бассейна Амура в целом при классификации по удаленности от моря. Результаты классификации для всех бассейнов и подбассейнов представлены в табл. 1.

Для обобщающего анализа были отобраны абиотические переменные, ЭДУ или ЭБГ для которых были найдены не менее чем в 7 из исследованных экосистем. Все абиотические переменные, участвовавшие в анализе, были разделены на 4 группы: биогенные элементы (азот аммонийный, нитритный, нитратный, фосфор минеральный); металлы (Fe, Cu, Zn), органические загрязнители (нефтепродукты, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), фенолы); показатели, свидетельствующие о характере продукционно-деструкционных процессов в водоеме (БПК₅, ХПК, концентрация кислорода, pH).

Для корректного сравнения речных экосистем по значениям ЭДУ, проводили ранжирование бассейнов и подбассейнов по относительной величине ЭДУ или ЭБГ (ОЭДУ), усредненной по всем перечисленным выше переменным. Для этого минимальное среди всех бассейнов значение ЭДУ или ЭБГ для данной переменной принимали за единицу, а в остальных бассейнах ОЭДУ рассчитывали как отношение его ЭДУ или ЭБГ к минимальному. Например, для нитратного азота наименьшим (0,055 мг/л) было значение ЭДУ для грунтов Немана. Соответственно ОЭДУ для этой экосистемы равнялось 1, для грунтов Лены (0,07/0,055) — 1,27, для грунтов Ангары и Енисея в целом (0,27/0,055) — 4,91 и т.д. После этого внутри каждого бассейна и подбассейна вычисляли среднее по всем участвовавшим в анализе переменным значение ОЭДУ. Таким же способом были получены ОЭДУ, усредненные отдельно по биогенным элементам, металлам, органическим веществам и продукционно-деструкционным показателям. Таким образом, для каждой экосистемы в анализ были включены 5 значений ОЭДУ.

Связь между усредненными значениями ОЭДУ и принадлежностью экосистем к определенной географической или климатической группе исследовали посредством детерминационного анализа [25], ранее использовавшегося авторами при расчете ЭДУ факторов среды [18]. Для этого 5 указанных числовых переменных ОЭДУ были преобразованы в качественные, т.е. весь ряд значений делили на два примерно равнонаполненных класса (16 и 17 наблюдений в каждом). После этого измеряли сопряженность между низким (высоким) значением каждого из 5 ОЭДУ (объясняемые признаки) и качественными категориями 5 описанных выше классификаторов экосистем (объясняющие признаки). Согласно теории детерминационного анализа [25], значимость сопряженностей устанавливалась при помощи критерия точности. Например, если из 14 регионов с низкой плотностью населения в 7 были зарегистрированы низкие ("жесткие") значения ОЭДУ по биогенным элементам, то точность сопряженности "если плотность населения невысока, то ЭДУ биогенных элементов носит жесткий характер" вычисляется как $(7/14)100\% = 50\%$. В силу того что некоторые качественные категории классификаторов были представлены крайне малым числом экосистем (например, в категорию северных попали

только 5 экосистем), другой критерий значимости полнота (доля случаев совпадения объясняющего и объясняемого признаков среди всех случаев применения объясняемого признака) был не показательным и не использовался нами при анализе.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 2 приведены сопряженности между характеристиками пресноводных экосистем и усредненными значениями ОЭДУ, где точность была не ниже 60%. Для классификатора "место отбора проб" практически не удалось обнаружить сколько-нибудь значимых зависимостей — наблюдения как с "жесткими", так и с "мягкими" ОЭДУ практически равномерно распределялись между водной толщей и грунтами, а соответствующие точности, за единственным исключением, всюду были ниже 60%.

Для классификатора "широта экспериментального региона" была получена определенная закономерность, выражающаяся в том, что для северных экосистем (Западная Двина, Неман, Верхняя Волга, Лена) характерны низкие нормативы ЭДУ (точность сопряженностей для некоторых ОЭДУ достигает 100%). Среди южных экосистем, напротив, существенно преобладают те, в которых ЭДУ более мягкие. Экосистемы, расположенные посередине, занимают промежуточное положение. Более наглядно тенденция расширения границ ЭДУ по мере продвижения с севера на юг показана на рис. 1. Изображенные диаграммы демонстрируют соотношение количества экосистем с жесткими и мягкими ОЭДУ среди всех экосистем данной широты. Присутствие на диаграммах секторов, обозначающих отсутствие данных, связано с тем, что в некоторых бассейнах и подбассейнах в программу физико-химических наблюдений не вошла ни одна переменная внутри групп "металлы", "органические загрязнители" и "продукционно-деструкционные показатели".

Замечено также ужесточение ЭДУ в водоемах промежуточной (за исключением ОЭДУ продукционно-деструкционных характеристик), и в определенной степени — континентальной (за исключением ОЭДУ органических загрязнителей) кли-

матических зон по сравнению с водоемами, подверженными морскому климату (рис. 2).

Что касается удаленности от моря и плотности населения, то определенной закономерности в величинах ЭДУ, общей для всех категорий абиотических переменных, обнаружить не удалось. Наиболее значимыми можно считать сопряженности, из которых следует, что высокой плотности населения соответствует смягчение ЭДУ по продукционно-деструкционным показателям, и ужесточение ЭДУ по металлам.

Судя по табл. 2, наибольшую адаптированность к внешним воздействиям (т.е. более широкие границы ЭДУ) демонстрируют бассейны и подбассейны, расположенные в южной части бывшего СССР и испытывающие воздействие морского климата — Нижний Дон, Дунай, Днестр, Днепр, Амур и Уссури. В связи с этим любопытно было посмотреть, насколько значима соответствующая сопряженность "если экосистема расположена в южной широте и относится к морскому климату, то ЭДУ в ней более мягкие". Оказывается (рис. 3), что для всех категорий абиотических переменных, кроме продукционно-деструкционных показателей, процент экосистем с более мягкими ЭДУ существенно больше среди отмеченных выше 6-ти экосистем, нежели среди экосистем, расположенных севернее и обладающих более выраженной континентальностью.

Отметим, что в отношении ЭДУ показателей продукционно-деструкционных процессов распределение между различными категориями экосистем оказывается чаще всего иным в сравнении с другими ЭДУ (табл. 2). Это касается климата (среди экосистем умеренного климата преобладают бассейны и подбассейны с мягкими ЭДУ БПК₅, ХПК, рН и содержания кислорода, для других абиотических переменных картина обратная), близости к морю (также противоположны данные, касающиеся экспериментальных участков, прилегающих к устьевым зонам), плотности населения (наиболее компактно заселенные территории бассейнов обладают широкими границами ЭДУ продукционно-деструкционных показателей, тогда как ЭДУ металлов здесь, наоборот, более жестки).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным результатом работы стало создание географической и климатической классификации экспериментальных регионов, основанной на изменчивости границ толерантности местных организмов в ответ на те или другие абиотические воздействия.

При сравнительном изучении большинства основных пресноводных экосистем подтверждены существенные различия в уровнях ЭДУ между регионами России и прилегающих стран. Обнаружено, что границы толерантности имеют тенденцию к расширению в реках, озерах и водохранилищах с теплым и влажным климатом. Иначе говоря, приспособленность гидробионтов к неблагоприятным условиям среды здесь выше, чем в других местообитаниях. Это не относится к границам толерантности по отношению к тем факторам, которые являются производными от концентраций веществ в водоеме и от жизнедеятельности самих гидробионтов (БПК₅, ХПК, рН, содержание кислорода).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 00-04-49325) и Программы Министерства образования РФ “Университеты России — фундаментальные исследования”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абакумов В.А.* Экологические модификации и развитие биоценозов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Труды международного симпозиума. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 18-40.
2. *Абакумов В.А., Суценья Л.М.* Гидробиологический мониторинг пресноводных экосистем и пути его совершенствования // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 41-51.
3. *Булгаков Н.Г., Дубинина В.Г., Левич А.П., Терехин А.Т.* Метод поиска сопряженностей между гидробиологическими показателями и абиотическими факторами среды на примере уловов и урожайности промысловых рыб // Изв. РАН. Сер. биол. 1995. № 2. С. 218-225.
4. *Булгаков Н.Г., Левич А.П., Максимов В.Н.* Прогноз состояния экосистем и нормирование факторов среды в водных объектах Нижнего Дона // Известия РАН. Сер. биол. 1997. № 3. С. 374-379.
5. *Волков И.В., Заличева И.Н., Моисеева В.П., Самылин А.Ф., Харин В.Н.* Региональные аспекты водной токсикологии // Вод. ресурсы. 1997. Т. 24. № 5. С. 556-562.
6. *Дробот В.И.* Структурные изменения зоопланктонных сообществ водоемов заповедника “Большая Кокшага” // Тез. докл. Междунар. конф. “Фин.-угор мир: состояние природы и регион. стратегия защиты окруж. среды”. Сыктывкар, 1997. С. 63-64.
7. Ежегодники качества поверхностных вод и эффективности проведенных водоохранных мероприятий. 1984—1991. Ростов-на-Дону. Северо-Кавказское территориальное управление по гидрометеорологии.
8. Ежегодники состояния экосистем поверхностных вод СССР (по гидробиологическим показателям). 1981—1991. Обнинск.

9. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. 1990.. Северо-Кавказское территориальное управление по гидрометеорологии.
10. Ежеквартальные бюллетени качества поверхностных вод суши. 1975—1983. Ростов-на-Дону. Северо-Кавказское территориальное управление по гидрометеорологии.
11. *Жигальский О.А.* Экологическое нормирование антропогенных нагрузок // Тез. докл. 3 междунар. конф. “Освоение Севера и пробл. рекультивации”. Сыктывкар, 1997. С. 73-75.
12. *Замолодчиков Д.Г.* Оценка экологически допустимых уровней антропогенного воздействия // Докл. РАН. 1992. Т. 324. № 1. С. 237-239.
13. *Замолодчиков Д.Г.* Оценки экологически допустимых уровней антропогенного воздействия на пресноводные экосистемы // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. СПб, 1993. Т. 15. С. 214-233.
14. *Левич А.П.* Биотическая концепция контроля природной среды // Докл. РАН. 1994. Т. 337. № 2. С. 257-259.
15. *Левич А.П., Терехин А.Т.* Метод расчета экологически допустимых уровней воздействия на экосистемы // Вод. ресурсы. 1997. Т. 24. № 3. С. 328-335.
16. *Левич А.П., Терехин А.Т., Булгаков Н.Г., Абакумов В.А., Елисеев Д.А., Максимов В.Н., Качан Л.К.* Экологический контроль водных объектов Нижнего Дона по биотическим идентификаторам планктона, перифитона и зообентоса // Вестн. МГУ. Сер. 16. Биол. 1996. № 3. С. 18-25.
17. *Левич А.П., Булгаков Н.Г., Абакумов В.А., Терехин А.Т.* Определение экологически допустимых уровней расходов воды по гидробиологическим показателям // Вестн. МГУ. Сер. 16. Биол. 1998. № 3. С. 49-52.
18. *Левич А.П., Максимов В.Н., Булгаков Н.Г.* Методика применения детерминационного анализа данных мониторинга для целей экологического контроля природной среды // Успехи соврем. биол. 2001. Т. 121. № 2. С.131-143.

19. Максимов В.Н., Джабруева Л.В., Булгаков Н.Г., Терехин А.Т. Концепция выявления стрессовых состояний экосистем методом ранговых распределений и экологически допустимые уровни загрязняющих веществ для водоемов р. Элисты // Вод. ресурсы. 1997. Т. 24. № 1. С. 79-85.
20. Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Терехин А.Т., Джабруева Л.В. Поиск и нормирование абиотических факторов, приводящих к отклонениям от нормального функционирования фитоперифитонных сообществ в водоемах р. Элиста // Изв. РАН. Сер. биол. 1998. № 5. С. 617-621.
21. Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Милованова Г.Ф., Левич А.П. Детерминационный анализ в экосистемах: сопряженности для биотических и абиотических компонентов // Изв. РАН. Сер. биол. 2000. № 4. С. 482-491.
22. Максимов В.Н., Абакумов В.А., Булгаков Н.Г., Левич А.П., Терехин А.Т. Экологически допустимые уровни абиотических факторов. Исследование водных экосистем Восточной Европы // Вест. МГУ. Сер.16. Биол. 2001. № 4. С. 36-41.
23. Максимов В.Н., Абакумов В.А., Булгаков А.П., Левич А.П., Терехин А.Т. Экологически допустимые уровни абиотических факторов. Исследование пресноводных объектов азиатской части России и Узбекистана // Известия РАН. Сер. биол. 2002. №5. С. 614-624.
24. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Роскомгидромета. Методические указания. Охрана природы. Гидросфера. Руководящий документ РД 52.24.309-92. СПб, 1992.
25. Чесноков С.В.. Детерминационный анализ социально-экономических данных. М.: Наука, 1982. 168 с.
26. Maximov V.N., Bulgakov N.G., Levich A.P. Quantitative methods of ecological control: Diagnostics, Standardization, and Prediction // Environmental indices: Systems Analysis Approach. London: EOLSS Publishers, 1999. P. 363-381.

Таблица 1. Способы классификации бассейнов и подбассейнов

Бассейн, подбассейн	Широта	Климат	Близость к устью	Плотность населения
Западная Двина (грунты)	север	морской	близко	высокая
Неман (грунты)	север	морской	близко	высокая
Дунай (толща)	юг	морской	близко	высокая
Днестр (толща)	юг	морской	далеко	высокая
Днепр (толща)	юг	морской	далеко	высокая
Волга в целом (толща и грунты)		умеренный		высокая
Верхняя Волга (грунты)	север	умеренный	далеко	высокая
Средняя Волга (толща и грунты)	середина	умеренный	далеко	высокая
Нижняя Волга (толща и грунты)	юг	умеренный	близко	высокая
Дон (толща и грунты)	юг	морской	близко	высокая
Район КАТЭКа (толща)	середина	континентальный	далеко	низкая
Иртыш (толща)	середина	континентальный	далеко	низкая
Енисей в целом (толща и грунты)	середина	континентальный	далеко	низкая
Забайкалье (толща и грунты)	середина	континентальный	далеко	низкая
Ангара (толща и грунты)	середина	континентальный	далеко	низкая
Верхний Енисей (толща и грунты)	середина	континентальный	далеко	низкая
Лена (толща и грунты)	север	умеренный	близко	низкая
Амур в целом (толща и грунты)	юг	морской		низкая
Уссури (толща и грунты)	юг	морской	далеко	низкая
Амур (толща и грунты)	юг	морской	близко	низкая
Сырдарья (толща)	юг	континентальный	далеко	низкая

Таблица 2. Зависимость ЭДУ различных абиотических переменных от социально-географического статуса экспериментального региона (в скобках значения точности, %)

Характеристики исследованных водных объектов	Значения относительных усредненных ЭДУ									
	Общее ОЭДУ		Биогенные элементы		Металлы		Органические загрязнители		Производственно- деструкционные показатели	
	низкое	высокое	низкое	высокое	низкое	высокое	низкое	высокое	низкое	высокое
Место отбора пробы					толща (65)					
Широта	север (100)	юг (79)	север (100), середина (83)	юг (79)	север (60)		север (100)		север (60)	
Климат	умеренный (78)	морской (77)	умеренный (67), континентальный (91)	морской (77)	умеренный (78)		умеренный (67)		континентальный (64)	умеренный (67)
Близость к устью	близко (64)		близко (64), далеко (61)		далеко (61)		близко (64)			близко (64)
Плотность населения			низкая (63)		высокая (86)	низкая (63)			низкая (68)	высокая (79)

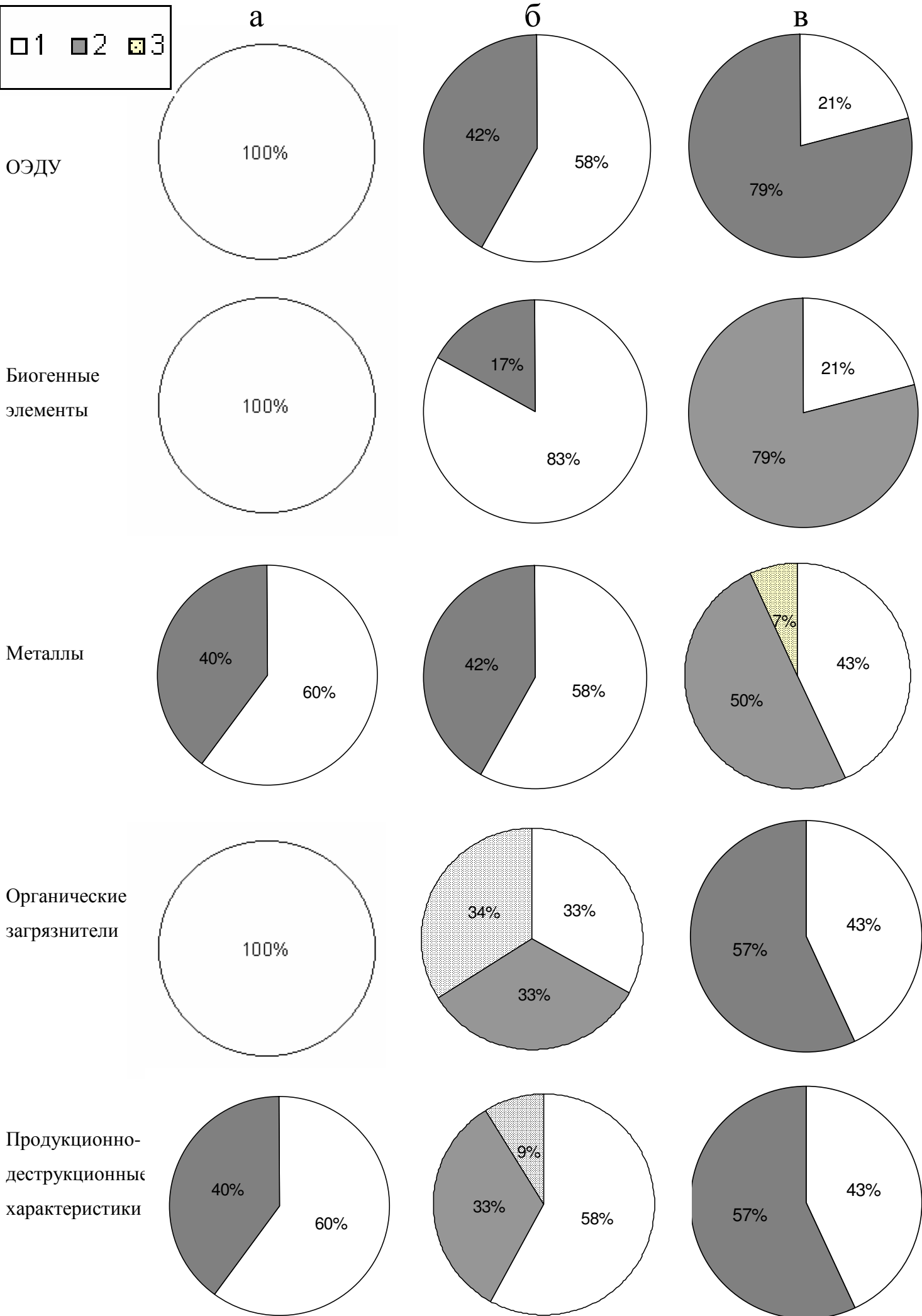
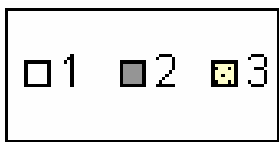


Рисунок 1. Значения точности сопряженностей между усредненными ЭДУ и географической широтой расположения бассейна или подбассейна. а — северные бассейны, б — бассейны промежуточной зоны, в — южные бассейны. 1 — жесткие ЭДУ, 2 — мягкие ЭДУ, 3 — нет значений ЭДУ

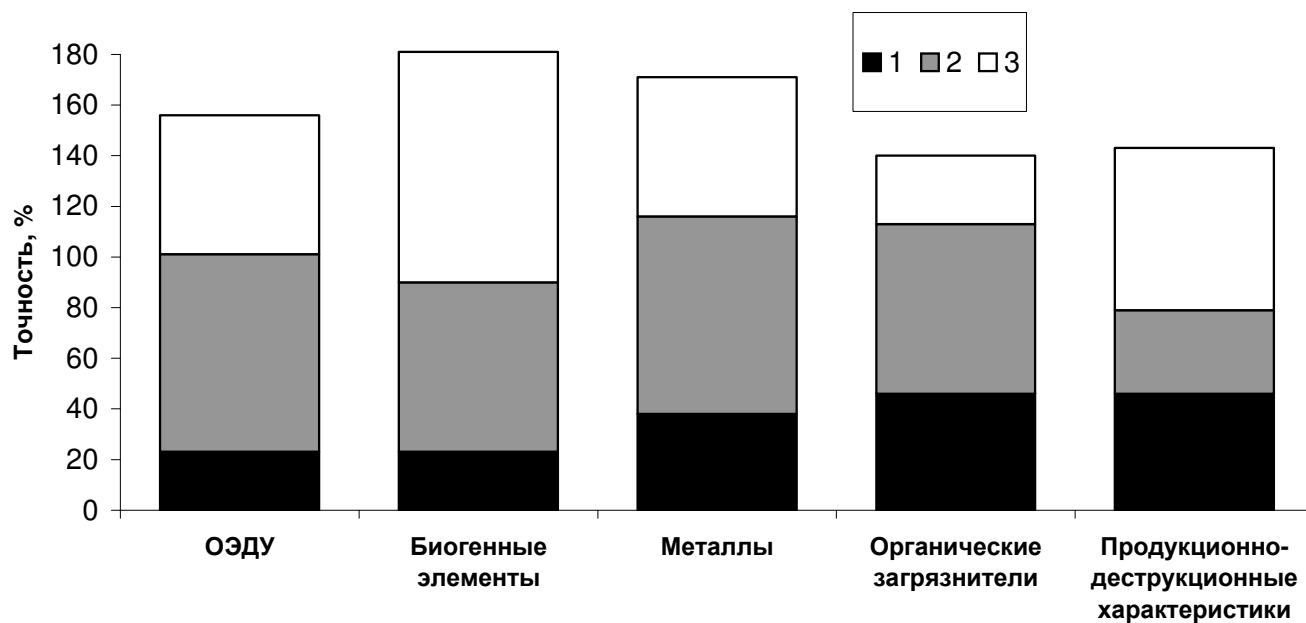


Рисунок 2. Вклад климатических групп бассейнов и подбассейнов в категорию наблюдений с жесткими усредненными ЭДУ. 1 — морской климат, 2 — умеренный климат, 3 — континентальный климат

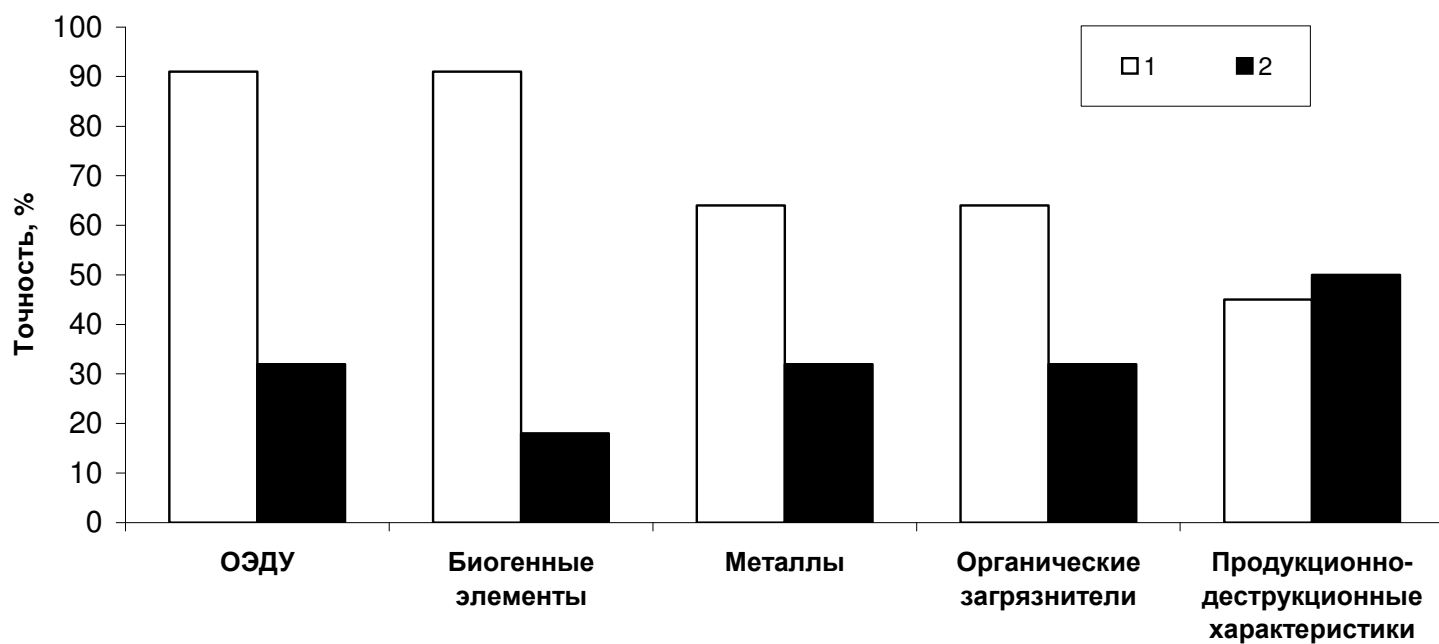


Рисунок 3. Сравнение двух типов экосистем по точности сопряженности с мягкими усредненными ЭДУ. 1 — южные экосистемы с морским климатом, 2 — прочие экосистемы