

А.А. Протасов

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГИДРОБИОЛОГИИ (посвящается памяти А.И. Баканова)

Как это ни печально, но нам приходится иногда с болью в сердце совершать эту скорбную процедуру – вычеркивать телефоны из записных книжек, нажимать кнопку «Delete» в адресных книгах интернет-почты. Адрес Александра Ивановича Баканова тоже был в моей адресной книге. И, к счастью, наша электронная связь работала: время от времени мне приходили письма от него и я сам писал ему. Но вот в 2004 г. не стало этого человека. И надо удалить этот адрес... Но в моем компьютере появилась новая папка «Баканов», я пишу эту статью, а это значит дело Александра Ивановича живет и сам он жив в нашей памяти.

Гидробиология – наука в основном практическая, требующая полевого и лабораторного материала. Теоретиков в ней, в целом, мало. Может быть, тем и выделялся А.И. Баканов среди гидробиологов, что умел сочетать глубокую теорию с практическими исследованиями. Гидробиология – наука во многом региональная: описание многообразия жизни во множестве водоемов занимает значительную часть всех исследований. Региональные описания по вполне понятным причинам интересны ограниченному кругу людей¹, но Баканову всегда удавалось затрагивать вопросы, которые важны для всех специалистов, независимо от места исследования.

Научная переписка – очень важный элемент сотрудничества ученых, но эпистолярный жанр все менее популярен и переписка обычно не доступна широкому кругу читателей. Письма чаще всего не проходят жесткой редакторской проверки автора, поэтому в них сохраняется живой язык и взгляд автора на проблему.

Спектр проблем, по которым в нескольких письмах высказывал свои соображения Александр Иванович, был достаточно широк.

Биоразнообразие

Я очень благодарен Александру Ивановичу за рецензию на мою книжку по биоразнообразию [238]. Кроме лестных для всякого автора положительных оценок, мне было приятно познакомиться с самой формой рецензии – не формальным разбором материала публикации, а небольшим самостоятельным научным произведением, в котором рецензируемая работа была лишь поводом обсудить проблему.

Исследование биоразнообразия в наше время стало занятием более чем популярным. Разнообразие сообществ, как отмечает А.Ф.Алимов [89], является одной из важнейших их характеристик. Проблема всестороннего изучения различных аспектов разнообразия крайне актуальна, однако имеется и масса спекуляций. Критический анализ негативных сторон этого бума прекрасно был сделан А.М. Гиляровым [703]. Как гидробиолога-практика и эколога-теоретика А.И. Баканова интересовали в первую очередь возможности правильной биологической интерпретации данных о разнообразии и использовании его в практических целях, в частности, как одного из показателей качества среды [227].

Косвенно соглашаясь с моим мнением, о том, что проблемы разнообразия заслуживают особого внимания и может быть выделена отдельная научная область «диверсикология» (или, как он предлагал, «диверситология»), А.И. Баканов обращает внимание на проблему «разнообразия разнообразий» и совершенно верно предлагает разделить биотиче-

¹ Видимо, поэтому Международная Ассоциация теоретической и прикладной лимнологии (SIL) вполне обходится без 1/6 части суши – бывшего СССР. В материалах [4366] международного конгресса этой организации, который проходил в Дублине в 1998 г., в 7 увесистых томах я нашел всего одну публикацию по этому немалому региону.

ское разнообразие на разнообразие элементов биоты и синэкологическое разнообразие, как разнообразие систем надорганизменного уровня. Еще одна проблема, на которой заострял внимание Баканов – необходимость определения ошибок репрезентативности индексов разнообразия. Постановка вопроса более чем оправдана: в любом биологическом явлении имеются элементы вариабельности, стохастичности, поэтому существует необходимость доказывать достоверность полученных показателей. Но измерение разнообразия в реальных условиях имеет свои особенности, что не позволяет однозначно подойти к решению, казалось бы, очевидному и простому. Определение разнообразия в численной форме для сообщества или водоема в целом может быть проведено двумя путями – как усреднение, со своей статистикой значений разнообразия проб, и как определение разнообразия полного таксономического списка с усредненными значениями обилия каждого таксона. Оба эти подхода можно достаточно хорошо обосновать, но пока не существует единого мнения относительно большей корректности того или иного способа расчета.

О том, что А.И. Баканов был не только глубоким теоретиком, но и настоящим полевым гидробиологом, говорит не только множество его работ по методикам исследования бентоса. Он, например, наиболее удачно решил проблему представления таксономических списков. Строго говоря, определение так широко используемого видового разнообразия почти никогда не является собственно «видовым». По различными причинам, таким как сложность видового определения, не разработанность систематики групп или отсутствие специалистов, определение собранного в натуральных условиях материала не идет до видового уровня. Баканов предложил [227] использовать понятие «низший определяемый таксон» (НОТ). Широкое внедрение этого понятия позволило бы более строго подходить к оценке биоразнообразия. Еще предстоит серьезный анализ необходимости обязательного во всех случаях определения гидробиологического материала до вида. Геоботаники давно наряду с оценками видового состава пользуются оценками обилия жизненных форм или форм роста растений. В гидробиологии понятие «жизненная форма, экоморфа» [50] используется неоправданно мало.

Продолжая рецензию, Александр Иванович затронул вопрос о схеме уровней разнообразия. Идея многоаспектности биоразнообразия – сейчас уже общепринятая концепция, однако при общем понимании того, что это «разнообразие разнообразий» структурировано, иерархично, пока отсутствует приемлемая полностью разработанная концепция уровней разнообразия. В предложенной мною схеме лежит разнообразие вещества биосферы [548]. Этот подход был воспринят критически и, более того, А.И. высказал мнение, что «концепция живого вещества, применяемая в биогеохимии, создателем которой был В.И. Вернадский, биологии не дала ничего нового и полезного». Позволю себе не согласиться с таким суждением. В первую очередь потому, что идеи Вернадского, в том числе и концепция живого вещества, сформировала у современных биологов биосферный уровень мышления. Не только организм, не только популяции и сообщества организмов, но и биота, живое вещество биосферы Земли – это биологические объекты. Жизнь присуща не только организму, но и биосфере [4389]. В основе критических замечаний на некоторые взгляды Вернадского, в частности на концепцию живого вещества, лежит положение о том, что живое вещество в понимании Вернадского – это континуум, который не может быть материалом для естественного отбора, происходящего на дискретной организменной основе [702]. Но если мы на самом высоком уровне выделяем разнообразие вещества биосферы (живое, биокосное, косное вещество), то, говоря о биоразнообразии, мы неизбежно должны выделить определенные дискретности живого вещества. Живое вещество особым образом структурировано, это отличает его от косного вещества. Единица этой структурированности – организм, а одной из ключевых свойств организмов является их ассоциированность, невозможность существования вне ассоциаций. Стоило бы задать и такой вопрос – почему Вернадский, вполне принимая существование (как он писал «неделимых») организмов, все же заострял внимание не столько на дискретности, сколько на единстве организмов? Представляется, что ему было важно подчеркнуть, что дискретные многообраз-

ные организмы выполняют в биосфере сходные функции, число которых достаточно ограничено. В таком случае, если мы говорим о живом веществе биосферы, как о совокупности всех живых организмов, то не является ли биология наукой о различных проявлениях существования живого вещества и не является ли гидробиология наукой о живом веществе в гидросфере? Я прихожу к утвердительному ответу на этот вопрос. В таком случае гидробиология имеет очень высокий статус, если всю биологию разделить на *гео-* (наземную) и *гидро-* водную биологию. В то же время неоднократно высказывались мнения, что гидробиология – это наука об экологии водных экосистем [566]. Было даже высказано мнение, что гидробиология, пройдя свой столетний путь, трансформировалась в гидроэкологию [1025].

Свои соображения я изложил в рукописи, которую послал Александру Ивановичу. В ответ я получил письмо (24.06.03), которое привожу полностью.

«Выскажу свое мнение о соотношении понятий "гидробиология" и "гидроэкология". Мне кажется, четкое определение терминов, четкое разграничение сфер разных наук очень важным. К решению подобных вопросов можно подходить с разных позиций:

1. Исходя из этимологии слова. Биология – наука о всех аспектах жизни, экология – только о некоторых из них, поэтому с этой точки зрения экология – часть биологии, следовательно, гидроэкология – часть гидробиологии. Конечно, эта точка зрения отвергается большинством ученых.

2. Исходя из трактовки термина учеными, его предложившими. Э. Геккель дал не слишком конкретное определение экологии, приведшее к дискуссиям о том, имел ли он в виду только отдельные организмы или и популяции, и сообщества организмов, как соотносить его экологию с физиологией, которая тоже занимается реакцией организмов на внешние факторы.

3. Исходя из того, как эти науки определяются в общепризнанных руководствах и учебниках, написанных крупными специалистами. Например, В.Д. Федоров считает, что экология – наука о надорганизменных формах организации жизни, в другом месте он называет ее наукой об экосистемах. В его понимании гидробиология – это частная экология, наряду с сухопутной экологией (которую часто называют аэроэкологией, хотя, как мне кажется, правильнее было бы называть ее терраэкологией). Кроме того, существует еще педобиология, которую по старой традиции у нас называют почвенной зоологией, хотя на самом деле она является почвенной экологией. В своей известной статье 1977 г. "Заметки о парадигме вообще и экологической парадигме в частности" В.Д. Федоров пишет, что гидробиологи совершенно безосновательно претендуют на право именовать гидробиологию самостоятельной биологической дисциплиной, поскольку не имеют собственной парадигмы, сколько-нибудь заметно отличающейся от экологической". Г.Г. Винберг писал, что гидробиология – экология гидросферы, т.е. он согласен с Федоровым. А.С. Константинов понимал гидробиологию уже, как изучение только биологической компоненты экосистем, изучение же экосистем в целом – это не задача гидробиологии как науки биологической.

4. Очень часто декларируется одно, а на практике применяется другое определение. Поэтому было бы важно провести специальное статистическое исследование, в каком смысле используются эти термины различными членами научного сообщества на практике. Например, согласно определению, бентос – совокупность организмов, обитающих в грунте водоемов или на его поверхности. Однако когда вы видите статью с названием "Бентос ... водохранилища", то можете быть уверены, что в ней речь идет не о микроорганизмах грунтов, не о высшей водной растительности, а только о макрозообентосе. Потому что специалист по более мелким животным назовет свою статью "Мейобентос..." или "Микробентос".

На практике гидробиологи именуют себя чаще исследователи, занимающиеся изучением особенностей функционирования водных экосистем, в первую очередь продукцией, потоками вещества и энергии, самоочищением и т.п. А вот человек, занимающийся, скажем, биоразнообразием водных сообществ, скорее назовет себя экологом...».

За этими строками мне видится целая программа исследований. Вопрос о содержании, задачах, границах тех или иных наук, научных направлений – исключительно важен.

Проблема различий экологической и гидробиологической парадигм не может, на наш взгляд, решаться без четкого определения объекта исследования. Если исходить из того, что ни одна живая система не существует вне взаимосвязи со средой, вне среды, и если считать, что это взаимодействие и есть основная экологическая парадигма, то вообще не существует биологических дисциплин, не связанных с этой парадигмой. В процитированной выше статье В.Д. Федорова, автор обосновывает положение, что «элементарной единицей экологии следует принимать особь популяции» (с. 17), особи образуют элементарные подсистемы в пределах экосистем. Элементарными подсистемами в экологии принято считать популяции и сообщества [2789]. В то же время организмы, особи-гидробионты образуют специфические надорганизменные ассоциации, а именно – экологические группировки гидробионтов – планктон, бентос, перифитон.

Если считать, что экология – это «биологическая наука, которая исследует структуру и функционирование систем надорганизменного уровня (популяции, сообщества, экосистемы) в пространстве и во времени в естественных и измененных человеком условиях», как это было отмечено на Международном экологическом конгрессе в 1990 г. [89], то объем ее конкретизируется, а границы парадигмы сужаются.

Одним из важных следствий внедрения в научное сознание концепции научной парадигмы и ее анализа является структуризация многообразных научных подходов, разделение их (хотя и достаточно условное) на положения «нормальной» науки (по Т. Куну [1417]) и находящихся вне ее. Важно, чтобы исследователь отдавал себе отчет в том, что существующая парадигма всегда имеет тенденции слишком ревностно отстаивать правильность своих положений, именно поэтому следует более внимательно относиться к парадоксальным (с точки зрения существующей парадигмы) фактам и суждениям. В принципе, любая бессмыслица (с точки зрения существующей парадигмы) может стать началом новой парадигмы. А вот здесь стоит заметить, что самая революционная идея, став парадигмой, обречена на судьбу предыдущей: поиски путей самосохранения, отбраковка «не вписывающихся» фактов и т.п. Поэтому более важны не столько разработанные, утвердившиеся парадигмы, а новые концепции! История экологической парадигмы – хороший пример, подтверждающий положения Т. Куна о тенденциях к экспансии, гипертрофированию представлений о возможностях всеобщего экологического подхода и т.п.

Концепция живого вещества не нова, она разрабатывалась В.И. Вернадским [548] еще в первой четверти XX века. Идеи эти получили широкое распространение, например В.Д. Федоров в цитированной выше статье рассматривает биотический компонент экосистемы как синоним живого вещества. Хотя критика некоторых взглядов Вернадского биологами [702] во многом справедлива, подход к гидробиологии как науке о живом веществе в гидросфере позволяет по-новому подходить к исследованию жизни в водной среде.

Нами предлагается следующая концепция гидробиологии: гидробиологическими следует считать исследования, которые дают новые знания об организации, функционировании структурированного живого вещества в гидросфере и его взаимосвязи со средой. Элементарной единицей гидробиологии является организм-гидробионт, которые не существуют вне среды и вне ассоциаций с другими организмами.

Проблемы методики гидробиологических исследований

А.И. Баканов был широко известным специалистом по изучению зообентоса. У гидробиологов различных специальностей есть обычно более узкие привязанности. Кто-то больше внимания уделяет бентосу литорали, кто-то более подробно исследует состав и распределение той или иной группы организмов. У Баканова была своя «специализация» – его очень интересовали методы исследования зообентоса. Он очень много сделал для того, чтобы бентология могла называться строгой количественной наукой. Более 40 из известных мне 130 публикаций Александра Ивановича посвящены методическим вопросам изу-

чения бентоса: усовершенствованию приборов, математическому аппарату анализа полученного материала и планированию исследований. Неоднократно он рассматривал вопросы использования показателей разнообразия в гидробиологических исследованиях. Именно поэтому, когда у нас с соавтором планируемой статьи возник спор, мы обратились к Баканову. Суть спора касалась размерностей индекса Шеннона. Я предлагал для величины показателя разнообразия, рассчитанного из количества особей i -го вида размерность бит/экз., а мой оппонент – бит/вид по численности. Ответ (08.09.03), который может быть интересен всем, кто использует показатели разнообразия, был следующим.

«Я не являюсь специалистом в теории информации, поэтому выскажу только свое личное мнение по затрагиваемым Вами вопросам.

В науке единого мнения по этим вопросам нет, даже термин "информация" понимается очень неоднозначно.

В самой формуле индекса Шеннона никакой размерности с точки зрения математики или физики не заложено, она привносится извне, при интерпретации значений этого индекса. Первоначально сам Шеннон выражал результаты расчетов по этой формуле просто в битах, причем термин "бит" просто означал, что берутся двоичные логарифмы.

Когда же он серьезно занялся проблемой передачи сообщений по каналам связи (очень конкретная проблема), то понял, что информация дискретна и передается в разных системах различными единицами – символами. Поэтому он стал выражать ее в бит/символ. При передаче текстовых сообщений под символом он понимал одну отдельную букву (по нашему это экземпляр), а не "вид буквы", включающий, например, все буквы "а".

Поэтому в экологии стало широко распространенным выражение результатов применения индекса Шеннона в виде бит/экз. или бит/г (точнее бит/единицу массы, поскольку в каких бы единицах мы не выражали биомассу, величина индекса от этого не меняется). Но это не математически доказанная истина, а просто соглашение ученых.

С этой точки зрения и образуются размерности при различных экологических расчетах. Например, при оценке трофической структуры путем подсчета числа особей, относящихся к различным трофическим группам, к общему числу особей во всех трофических группах результат будет в бит/экз. Если же мы считаем отношение числа видов, принадлежащих к различным трофическим группам, к общему числу видов, то результат будет бит/вид. Т.е. все зависит от того, что мы берем в качестве элементарного носителя информации. Максимальное значение разнообразия = $\log_2 S$, как и всякий логарифм, не имеет размерности, но в силу логики формулы Шеннона должен выражаться в битах.

Это все достаточно традиционные взгляды, которых я придерживаюсь в публикациях, чтобы не вызвать лишних придирок оппонентов. На самом деле я убежден вот в чем.

Хотя формула Шеннона и взята из теории информации, но в тех случаях, в которых она применяется в экологии, она никакого отношения к измерению информации не имеет, не имеет никакого специфического информационного содержания. Все примеры ее информационных трактовок – это притягивание за уши. Это просто достаточно удобная математическая формула, позволяющая представить определенным образом в виде одного показателя два биологических параметра – число видов и распределение по ним обилия особей. Существует много других математических выражений, служащих для описания распределения видов по обилию. Они хорошо описаны в монографии "Левич А.П. Структура экологических сообществ. М. МГУ, 1980. 181 с."

В этом случае величина H будет безразмерной, или же выражаться в битах для указания характера применяемых логарифмов. Эта моя точка зрения достаточно неортодоксальна, поддержке я нашел только у А. Гилярова.

Вообще, для эколога никакое математическое доказательство не является доказательством в строгом смысле слова, а просто аргументом в пользу той или иной

точки зрения. Эколог, как судья, выслушивает всех свидетелей и экспертов, но решение выносит сам».

Последние строки я выделил как очень важное замечание для тех гидробиологов, которые наивно полагают, что поиски неких абсолютных индексов и показателей решат все экологические проблемы. Специфика биологического материала в том, что он никогда не позволяет сделать абсолютно однозначное заключение или высказать суждение, которое бы не дополнялось примечанием: «вероятно», «вполне возможно, что», «в данном случае» и т.п.

Оценка качества среды

С середины 1990-х годов, судя по его публикациям, А.И. Баканов начал очень активно разрабатывать проблему оценки состояния водных экосистем. Проводя анализ множества подходов к этой проблеме, он приходит к заключению, что наличие такого большого количества методов определения качества среды говорит о том, что универсального, пригодного для всех случаев метода нет [227, 3163]. Было бы странно, если бы А.И. не предложил свой собственный подход и метод. Им был разработан комплексный индекс состояния сообщества (*КИСС*). При этом предполагалось, что чем выше численность (*N*), биомасса (*B*), число видов (*S*), видовое разнообразие (*H*) и ниже значения средней сапробности трех доминирующих по численности видов (*СС*) и олигохетный индекс Пареле (*ИОП*), тем лучше состояние сообществ бентоса. При этом берутся не абсолютные значения этих шести составляющих, а их ранги в выборке:

$$КИСС = (2\text{ }CC + 1,5\text{ }ИОП + 1,5\text{ }B + H + N + S)/8 .$$

Этот индекс использовался вместе с комбинированным индексом загрязнения:

$$КИЗ = (ИОП + CC + B)/3 .$$

Мне кажется важным отметить дважды комплексный подход. Во-первых, каждый индекс объединяет целый комплекс показателей; во-вторых, предлагается оценивать состояние экосистемы как через оценку состояния сообщества, так и через показатель загрязнения.

Наше использование предложенных А.И. индексов для оценки состояния экосистемы р. Стырь в районе Ровенской АЭС, поставили перед нами некоторые вопросы. Указанные индексы объединяют важнейшие показатели, но сравнение их корректно только при равном количестве проб. Необходимо было каким-то образом нормировать показатели. Кроме того, вызвали вопросы зависимости между показателями разнообразия и обилия. Отмечено [227], что состояние зообентоса наилучшее, когда он обилен и наиболее разнообразен. Но ведь обилие и разнообразие находятся, как правило, в обратной зависимости [698, 2148]. Очевидна была необходимость обратиться к автору за разъяснениями. Вопросы в нашем письме были такими:

«Мы сейчас занимаемся вопросами оценки качества водной среды по различным критериям, в том числе и с использованием зообентоса. Конечно, не могли не использовать и Ваши индексы. У нас возникло несколько вопросов, позвольте прояснить некоторые из них.

1. КИСС и КИЗ объединяют все важные показатели, но сами индексы зависят от числа проб, поскольку рассчитываются по рангам. Вот, например, мы взяли для сравнений летний и осенний зообентос одной из рек (рис. 1).

Летом было 23 точки, осенью – 13. Результаты мало сопоставимы, и только потому, что число проб разное. Если их нормировать по числу станций (разделить на число станций), то мы получим показатели в долях от 1, если за 1 принимать состояние, когда по всем показателям станция занимает последний ранг. Таким образом, можно сравнить положение той или иной станции в общем ряду всех станций. Нам кажется, вопрос в том, что надо различать два типа оценок: относительные (к таким принадлежат Ваши индексы), и "абсолютные", например, сапробность. Абсолютность, правда, тоже отно-

сительна, потому, что мы сравниваем результат оценки с некоторой шкалой, о которой договорились.

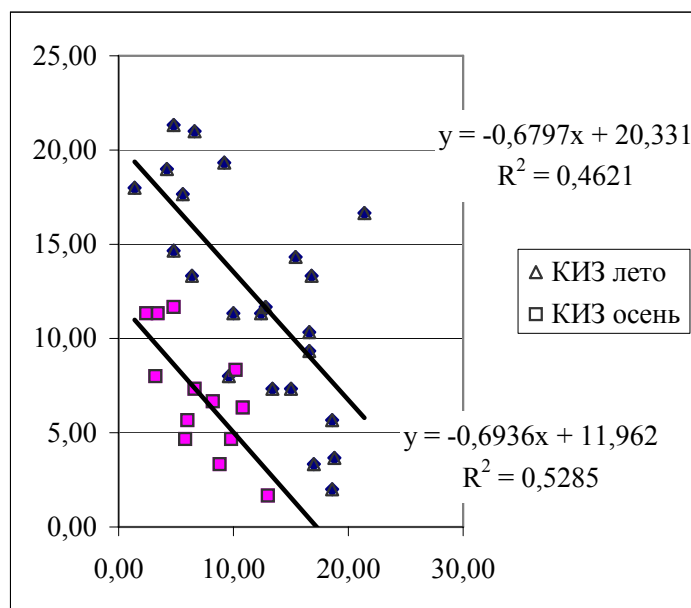


Рис. 1. Взаимосвязь **КИЗ** (ось **X**) и **КИСС** (ось **Y**) при оценках состояния сообществ зообентоса и загрязнения в р. Стырь в летний и осенний периоды

2. Еще один вопрос. Вы пишете, что состояние зообентоса наилучшее, когда он обилен и наиболее разнообразен. Но ведь обилие и разнообразие находятся в обратной зависимости. То есть, надо, видимо, говорить о максимальном обилии при некотором оптимальном разнообразии. Если показатель разнообразия 2,5 бит/г, например, принять за показатель "хорошей" структуры, то вряд ли стоит ожидать биомассы зообентоса 500 г/м² или более».

Думаю, что в ответе Александра Ивановича (24.02.04) содержится много полезного, для тех, кто занимается вопросами оценки качества среды.

«Вы совершенно правы относительно моих индексов. Как и всякие ранговые показатели, их можно сравнивать непосредственно только при одинаковом числе проб. При разном же числе проб сравнение производится иным способом. К номерам станций из второй выборки добавляют, например, букву "а". Т.е. станции из первой выборки обозначают 1, 2, 3, Станции из второй выборки – 1а, 2а, 3а, Затем пробы из двух (или нескольких) выборок объединяют в один вариационный ряд и рассчитывают для всех его станций индексы КИСС. Затем находят отдельно среднее значение КИСС (и его стандартную ошибку) для станций первой выборки и станций второй. Вот их и можно сравнивать по критерию Стьюдента.

Но это дело прошлое. Сейчас я рассчитываю эти индексы не как ранговые показатели, а исходя из региональных нормативов для верхневолжских водохранилищ (см. мои тезисы, 2003). Значения соответствующих показателей на каждой станции я делю (нормирую) на их средние многолетние значения для верхневолжских водохранилищ, выражаю в %, затем считая КИСС. Полученные таким образом величины индексов можно сравнивать уже непосредственно при любом числе станций.

Что касается понятия "хорошее состояние" бентоса, то в основу его положено понятие "хорошего биоценоза" Шварца. Действительно, теоретически, в общем случае обилие и разнообразие находятся в обратной связи. Но на практике не всегда так. Например, в волжских водохранилищах и реках, где лимитирующим для бентоса фактором чаще всего выступает трофический, увеличение трофии приводит одновременно к возрастанию обилия организмов и видового разнообразия (и **B**, и **S**, и **H**). Но дело не в этом. Понятие о хорошем состоянии вводи-

лось, исходя не из математических соображений, а из здравого смысла ("Лучше быть богатым и здоровым, чем бедным и больным"). Очень часто в комплексные критерии оценки чего-либо включают отрицательно скоррелированные компоненты. Например, в идеал женщины можно включать такие компоненты, как красивая, умная, воспитанная, молодая, богатая, блондинка... А ведь это часто взаимоисключающие качества. Ничего не поделаешь – это эмпирический факт. Поэтому одна станция может иметь хорошее состояние бентоса за счет очень большого обилия, но имея среднее видовое разнообразие, а другая – наоборот, за счет высокого разнообразия при меньшем обилии».

Понятно стремление к разработке комплексных показателей, интегральных индексов и т.п. для оценки качества среды. Например, Е.В. Балущкина [260] предлагает комплексный индекс, сочетающий в себе 4 других, которые используются самостоятельно. В методике оценки качества поверхностных вод [2301] используется 18 гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических параметров. Индексы А.И. Баканова основаны, как было уже отмечено, на 6 показателях. Такой подход делает оценку более надежной, однако, и более сложной. Сложности могут быть нескольких видов.

В целом, количество и состав избранных показателей зависит от опыта автора (или авторов) системы оценки, т.е. во многом субъективен. Избранные показатели, безусловно неравнозначны, а многие совершенно не сравнимы друг с другом, например, гидрофизические и биологические. Многие же показатели скоррелированы и взаимосвязаны, например биомасса и видовое разнообразие. Поскольку оценка состояния среды должна быть однозначной, несмотря на широкий спектр частных оценок, возникает непростая задача интегрирования различных показателей, для получения некоторой усредненной оценки.

Можно определенным образом типизировать пути решения указанных проблем.

1. Используется большое количество показателей, по каждому из которых проводится оценка с последующей интеграцией результатов. Определяются либо средние, либо средневзвешенные величины. Сюда можно отнести *Методику экологической оценки качества воды* [2301], а также комбинированные индексы А.И. Баканова.
2. Используется комбинация не показателей, а результатов оценки по разным методикам. Сюда можно отнести интегральный показатель Е.В. Балущкиной.
3. Выбирается один показатель, но такой, который в большей или меньшей мере отражает сложность взаимодействий в системе сообщество – среда. Сюда можно отнести методику оценки качества среды по *Индексу трофической комплектности* [4054]. Оценка по этому индексу проводится исходя из гипотезы, что в наилучших условиях присутствует максимальное количество трофических групп (в данном индексе их 12), а снижение свидетельствует об упрощении важнейших трофических связей и деградации сообществ. Таким же интегральным показателем может выступать разнообразие, поскольку учитывается как количество элементов (например, число видов), так и их относительное обилие [2149].

Хотелось бы обратить внимание на один аспект в подходах к оценке качества воды и других компонентов абиотической среды. Особо А.И. Баканов подчеркнул в одной из своих работ [239], что, по его оценкам, существующий в изученных им волжских водохранилищах характер и интенсивность загрязнений в среднем положительно влияет на бентос, увеличивая его обилие и разнообразие. Этот вывод представляется очень важным, поскольку ставит под сомнение прямую зависимость состояния бентоса (и других группировок также) от антропогенного воздействия во всех участках диапазона этого воздействия. Имеющиеся у нас данные по зообентосу некоторых водоемов подтверждают концепцию нелинейности изменений структурных показателей в градиенте загрязнения.

Нами проведена оценка изменения видового разнообразия зообентоса в градиенте сапробности (по Пантле–Букку в модификации Сладечека [4224]) в водоемах-охладителях Чернобыльской, Хмельницкой АЭС, р. Стырь в районе Ровенской АЭС.

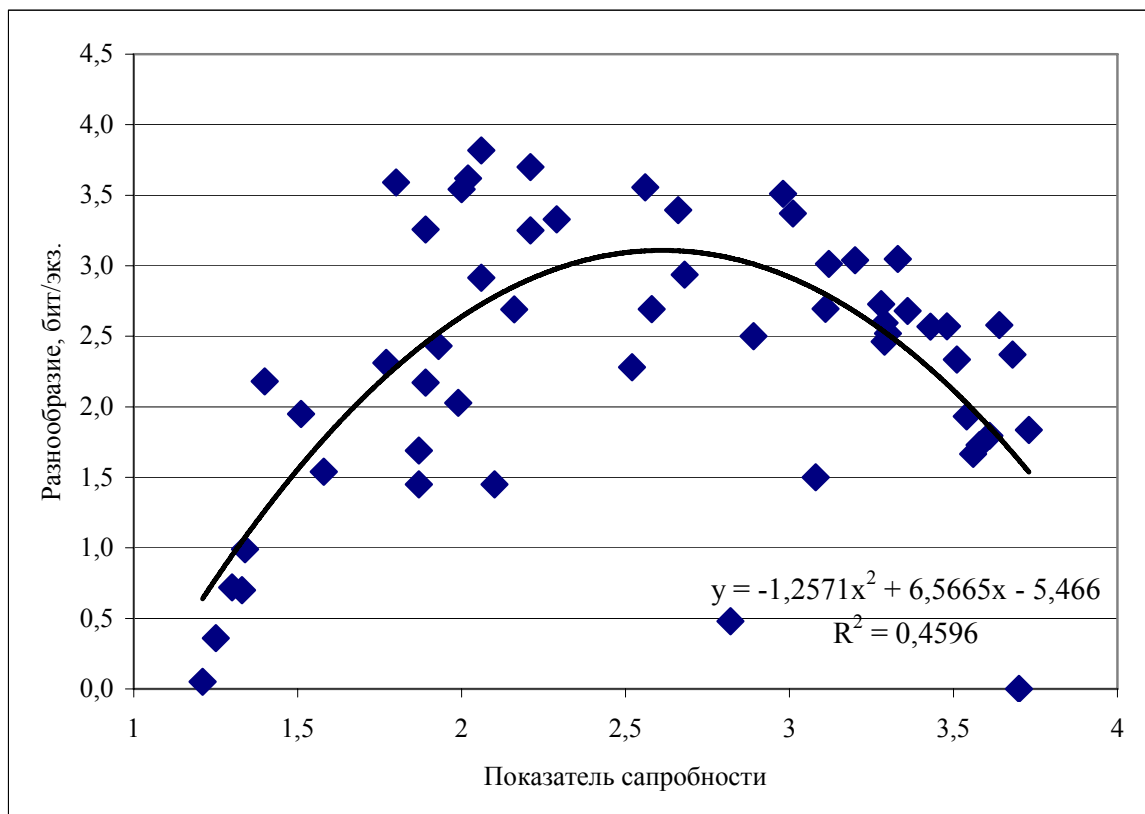


Рис. 2. Изменение видового разнообразия зообентоса (бит/экз.) в зонах сапробности

В диапазоне сапробности 1,21-3,73 индекс видового разнообразия изменялся от 0 до 3,817 бит/экз. Экстремальная точка унимодальной кривой соответствовала значениям сапробности 2,6 и разнообразия – 3,109 бит/экз. Представляется важным подчеркнуть, что в градиенте сапробности изменялись как структура сообществ, так и состав. В α -олигосапробной зоне в бентосе отмечено от 2 до 11 видов, хорошо выраженные доминанты были в основном псаммофильные виды. В β -мезосапробной зоне число видов возрастало до 6-24 видов в р. Стырь и до 9-40 видов в охладителе ЧАЭС. Далее, в полисапробной зоне число видов снижалось до 1-9, возрастало доминирование (в основном тубифицид), т.е. значительно снижалась выравненность. Таким образом, мы можем придти к тому же выводу: небольшое загрязнение, нарушение приводит к возрастанию разнообразия, усложнению связей, т.е. к экологическому прогрессу, который потом в зоне сильных нарушений сменяется регрессом.

Разработанные А.И. Бакановым регионально-типологические нормативы для оценки качества среды основаны на средних многолетних значениях нескольких важных параметров, таких как численность, разнообразие и других, поэтому с накоплением нового материала и с изменениями условий они будут изменяться, хотя вряд ли в больших пределах. Важна не столько абсолютная точность их определений, а сама концепция нелинейного изменения количественных показателей структуры сообществ в градиенте загрязнения. Кроме того, еще раз хотелось бы подчеркнуть важность представлений Баканова об использовании комплексных критериев качества среды: нельзя ожидать хорошей или плохой, т.е. одинаковой оценки по всем показателям одновременно.

А.И. Баканов оставил заметный след в гидробиологической науке. Широко был круг его интересов, он глубоко анализировал полученный полевой материал, а теоретические разработки открывают новые горизонты исследований.