

А.А. ЛЮБИЩЕВ О ПРИМЕНЕНИИ МАТЕМАТИКИ И БИОМЕТРИИ В БИОЛОГИИ (С ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ КОММЕНТАРИЯМИ И ПОЯСНЕНИЯМИ)

Г.С. Розенберг

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти
genarozenberg@yandex.ru

Мое знакомство с научным творчеством А.А. Любищева произошло почти 40 лет тому назад: именно в начале 1970-х годов я познакомился с двумя его статьями в «Журнале общей биологии» (Любищев, 1969а, б). Меня, только еще вступающего на «тропу науки», первоначально поразили два момента. Первое – это само весьма оригинальное (для строгого академического журнала) название статей: «Об ошибках в применении математики в биологии. I. Ошибки от недостатка осведомленности» и «II. Ошибки, связанные с избытком энтузиазма». Второе – работы были присланы и «приписаны» не какой-то организации, а домашнему адресу (Ульяновск-11, Средний Венец, 23, кв. 12). Меня сразу заинтересовали¹ и очень глубокие и созвучные моим представлениям мысли Любищева (к тому моменту я окончил физико-математический и биологический факультеты Башкирского университета и начал плотно работать с Б.М. Миркиным и другими представителями его научной геоботанической школы), и сама его личность. Однако сразу после окончания университета я был призван в армию и не успел вступить с ним в переписку, о чем сегодня очень сожалею.

Проведение в нашем Институте уже Пятых Любищевских чтений (с 1990 г.) предоставило мне возможность все-таки «вступить» с Александром Александровичем в виртуальную переписку. Этому способствовала публикация целого ряда его «количественных» работ в трудах как наших чтений, так и ежегодных конференций в Ульяновске и в других изданиях (Любищев, 1991а, б, 1997 и др.). Данная статья построена в виде цитат из биометрических работ Любищева и моих комментариев, демонстрирующих изменения, которые произошли за эти годы в математизации биологии и экологии.

«Имеет место борьба двух направлений в прикладной биологии. Одно направление заключается в том, что отрицается необходимость точной и тщательной обработки материала... [Второе] заключается в том, что борьба с вредителями рассматривается как всякое другое хозяйственное мероприятие, которое надо оценивать по-хозяйски... Трудность оценки экономического значения приводила к тому, что первые оценки делались совершенно глазомерно. К этим оценкам так привыкли, что, когда более точные результаты указывают на значительно меньшее значение вредителей: им не хотят верить. Кроме того, методическая подготовка проведения таких работ должна быть гораздо более серьезная, чем та, которую получают наши биологи как в области теоретической, так и прикладной биологии. От этого и получается, что многие сторонники старого направления особенно придирчивы к представителям нового и гораздо более снисходительны к своим единомышленникам» (10 марта 1950 г. [Любищев, 1997, с. 55-56]). «Вся моя работа пропитана биометрией, без этого я работать и думать не могу и не желаю (будучи твердо убежден, что недостаточное введение биометрии в биологию приносит ежегодно многомиллионный убыток), а Вы (*обращение к А.А. Передельскому, сотруднику Центральной научно-исследовательской лаборатории ионификации при Президиуме ВАСХНИЛ. – Г.Р.*) сами знаете, что на биофак, как и на гуманитарные фа-

¹ После этого я познакомился с другими его работами по биометрии (Любищев, 1959, 1963, 1979, 1986) и узнал, что он был первым в СССР (и долго оставался единственным) членом Международного биометрического общества (см.: [Любищев, 1991б]).

культеты, идут преимущественно по признаку совершенной невинности в математике» (20 августа 1950 г. [Любищев, 1997, с. 59]).

Здесь видна прямая аналогия с парадигмальным построением науки в соответствии с Т. Куном (1975). Действительно, под *парадигмой* понимаются признаваемые всеми научные достижения, которые в течение определенного времени дают научному обществу модель постановки проблем и их решений. Согласно точке зрения Куна, развитие науки идет не путем плавного наращивания новых знаний на старые, а через периодическую коренную трансформацию и смену ведущих представлений, т.е. через периодически происходящие *научные революции*. Математизацию биологии (экологии) и следует рассматривать как одну из таких революций (о «математической революции в биологии» пишет и Любищев в письме энтомологу Б.С. Кузину от 20 августа 1950 г. [Любищев, 1997, с. 63]). Но как любая революция, она имеет как своих приверженцев, так и противников. И смена «власти» (укрепление новой парадигмы) происходит чаще всего «естественным путем», т.е. путем «вымирания основных носителей прежней парадигмы». С этой точки зрения прошедшие 60 лет, конечно, во многом сняли, описываемое Любищевым острое неприятие биометрических методов.

А вот что касается «совершенной невинности в математике», то сегодня она имеет другие корни. Прежде всего, это связано с новой системой аттестации (пресловутый ЕГЭ): старшеклассники учатся избирательно и готовятся только к тем предметам, по которым они будут сдавать экзамены – выпускные в школе и вступительные в вузе. И если вступительные экзамены на «биофаке» – биология, химия, русский язык и литература, т.е. по минимуму, то математику приходится осваивать уже в вузе. А это – не всегда просто...

«Количественный подход, конечно, проникает трудно в систематику по вполне понятным причинам: и без того занятия систематикой чрезвычайно трудоемки, а тут еще, пожалуйста, измеряй. Более высокий этап – это уже подход математический, использующий данные измерений... Трудность, несомненно, в том, что для решения многих биологических проблем требуется очень высокая математика, а многие математики в биологии питаются отбросами и не могут понять подлинные биологические проблемы» (Любищев, 1997, с. 63-64).

В этом трудно спорить с Любищевым (хотя, математиков, глубоко понимающих биологические проблемы, стало больше). Но здесь можно (и нужно) сделать «зеркальное» замечание: многие биологи продолжают «питаться отбросами математики», ограничивая ее применение самой элементарной статистической обработкой, причем, зачастую, сопровождая ее «незатейливыми графиками Excel, частотными таблицами встречаемости биологических объектов и, порой, неожиданными выводами, не вытекающими из смысла представленных данных (*не только данных, но и методов статистической обработки. – Г.Р.*)» (Шитиков и др., 2005, т. 1, с. 7).

«При чрезвычайно возросшем интересе к применению математических методов в биологии недостаточно продуманное применение их может привести и уже приводит ко многим ошибкам, что легко может вызвать разочарование и скомпрометировать широкое распространение этих методов... Но ошибки (*от недостатка осведомленности. – Г.Р.*) могут быть на всех уровнях и иметь самые различные источники и последствия. Можно дать такую их классификацию: 1) получение неверных выводов от полного игнорирования математики или неумения пользоваться методами; 2) получение правильных выводов, но ценой затраты чрезмерно больших усилий; это может быть или следствием перестраховки, или чрезмерной требовательности в соблюдении строгости методов; 3) экстраполяция закономерностей, справедливых в определенном отрезке, за

пределы этого отрезка; 4) подсознательное пользование спорными или неверными постулатами из недостаточно известных областей науки» (Любищев, 1969а, с. 572-573).

Ошибки первого типа были продемонстрированы Любищевым на примере определения средних величин. Эта проблема (вычисление средних) подробно обсуждалась в нашей монографической двухтомной сводке «Количественная гидроэкология» (Шитиков и др., 2005). Среди основных причин, влияющих на результат определения средней для некоторой выборки, ведущую роль играет характер распределения данных. Можно привести пример, когда не существует средней меры для характеристики некоторой выборки (в каких «попугаях» измерить средний доход пяти человек, двое из которых – бродяги с имуществом по 25 центов у каждого, один – рабочий с доходом \$2000, четвертый владеет \$15 000, а пятый – \$5 000 000?). Измерения в некоторых шкалах вообще неаддитивны (вряд ли кто-либо серьезно будет утверждать, что знания отличника равны сумме знаний троечника и двоечника [хотя $5 = 3 + 2$], в то время как в экологических методиках подобные операции в интервальных шкалах – не редкость).

Преодолению проблем экстраполяции получаемых закономерностей способствуют методы самоорганизации (в частности, эволюционное моделирование [Фогель и др., 1969; Букатова, 1979] или метод группового учета аргументов [Ивахненко, 1975; Ивахненко, Юрачковский, 1987]), которые начинают находить свое место в экологии.

«Эти ошибки (*ошибки энтузиастов математизации*. – Г.Р.) реже приводят к совершенно ошибочным выводам, но вред их тоже немал: они часто направляют исследование по бесперспективным направлениям, могут мешать развитию плодотворных направлений и, наконец, приводят к излишней затрате сил и средств. Эти ошибки также можно разбить на несколько категорий» (Любищев, 1969б, с. 715). Ошибки от избытка энтузиазма Любищев делит на два больших «класса». Первый из них – это ошибки, связанные с недостаточной теоретической обоснованностью, целенаправленностью и экономичностью исследования. При этом он различает собственно недостаточную теоретическую обоснованность, увлечение сложными вычислительными машинами (напомню, – это конец 1960-х годов) и погоню за мнимой информацией.

За прошедшие 40 лет проблемы с теоретической обоснованностью биологических и экологических исследований остались практически теми же. Замечных «прорывов» в этом направлении мы не наблюдаем. В частности, испытанию некоторых математических моделей экологии «на предмет их теоретической обоснованности и соответствия экспериментальным данным» посвящена очень интересная работа В.Н. Тутубалина с соавторами (1999, с. 9). Однако вывод, к которому приходят эти авторы, неутешителен. «В данной книге в качестве таких примеров выбраны математические модели экологии, но ситуация носит, как нам кажется, общий характер. Она заключается в том, что в любой науке, которая претендует на какие-то количественные выводы, исследование проблемы (по крайней мере, на начальном этапе, но нередко и на других этапах тоже) определяется своеобразным математическим мистицизмом. Правда, слова «мистико-математическое описание» ученый из другой области (биолог) склонен скорее употреблять в ругательном смысле, но... в любом случае дело кончается тем неоспоримым аргументом, что другой, более совершенной науки нет» (Тутубалин и др., 1999, с. 196).

Комментировать «увлечение сложными вычислительными машинами» я не буду – прогресс остановить нельзя и сегодня, естественно, с помощью современных ЭВМ можно решать куда более сложные задачи и получать совсем не очевидные результаты (примером могут служить методы нейроинформатики; см.: [Горбань, 2000]). Поэтому следующий пассаж А.А. Любищева (1969б, с.

716) представляет уже лишь исторический интерес: «Мне думается, что счетная техника может быть грубо разбита на следующие семь ступеней, не считая разных вспомогательных таблиц, и номограмм: 1) счет в уме; 2) счеты; 3) письменный счет; 4) логарифмическая линейка; 5) арифмометр; 6) клавишно-счетные машины; 7) электронные машины. У нас сейчас в сильном упадке устный счет и в непомерном почете счеты. Я полагаю, что в будущей цивилизации счеты и арифмометр полностью исчезнут, счет в уме восстановит свою былую репутацию как экономнейший метод решения простейших задач, а письменный счет, логарифмическая линейка и клавишные машины будут занимать свое место».

А вот то, что он называет «погоней за мнимой информацией», фактически сводится к точности вычислений с «не менее чем с пятью значащими цифрами и т. д.» (Любищев, 1969б, с. 718). Здесь я полностью соглашусь с А.А. Любищевым (1969б, с. 718): «Что же касается приведения результата вычислений с большим количеством знаков, то с точки зрения чисто математической в этом нет ошибки, но такая чрезмерная точность дезориентирует читателя, которому произвольно внушается уверенность, что с меньшей точностью работать невозможно». В ряде результатов экологических расчетов фиксируется до 5-7 (а то и больше) значащих цифр (благо, компьютер терпит...), когда поручиться можно лишь за первые две, в лучшем случае – за три цифры. Такая псевдоточность только вводит в заблуждение. Наблюдается она чаще всего в диссертационных работах. Так, например, в диссертации Б.М. Насибулиной (2006, с. 141) можно найти коэффициенты линейной корреляции с шестью (!) знаками после запятой (корреляция между численностью хирономид и содержанием свинца в воде р. Волги – 0,912448. А вот цитата из выводов еще одной диссертационной работы: «Потенциально доступные для растений запасы исследованных элементов в корнено насыщенном слое почв в посевах важнейших сельскохозяйственных культур на территории Высокого Заволжья достигают: Hg – 2 227,252 т, Pb – 18 587,694 т, Cu – 69 903,626 т, Fe – 74 548 684,54 т» (Матвеев, 2004, с. 127). Посчитано почти 70 тыс. т меди с точностью до 6 кг (!)

Среди ошибок квалифицированных математиков Любищев (1969б, с. 721) называет их чрезмерный ригоризм (франц. *rigorisme*, от лат. *rigor* – твердость, строгость). «Под этим следует подразумевать требование при применении того или иного метода строго соблюдать условия, для которых создан данный метод. Требование как будто законное, но и тут, как всегда, надо соблюдать меру. Например, мы знаем, что нормальная кривая распределения играет огромную роль в математической статистике и огромное количество передовых методов предполагает подчинение изучаемых совокупностей нормальному распределению. Но, строго говоря, трудно найти такое реальное распределение, где со всей строгостью можно – было бы ожидать нормальное распределение».

Вопрос о «нормальности распределения» исходных данных еще долго будет одним из основных в прикладной статистике. Естественно, не все статистические критерии имеют нормальное распределение. Не все, но большинство из них все же либо имеют нормальное распределение, либо имеют распределение, связанное с нормальным и вычисляемое на основе нормального (такие как *t*-критерий Стьюдента, *F*-критерий Фишера или критерий «хи-квадрат»). Многие наблюдаемые переменные действительно распределены нормально (или близко к этому), что является еще одним аргументом в пользу того, что нормальное распределение представляет собой «фундаментальный закон».

Итак, проблема возникает, когда *пытаются применить тесты (критерии), основанные на предположении нормальности, к данным, не являющимся нормальными*. В этих случаях можно поступать двояко. Во-первых, можно ис-

пользовать альтернативные «непараметрические» тесты (может быть, менее гибкие, но зато более корректные). Во-вторых, можно все же использовать тесты, основанные на предположении нормальности, если исследователь уверен, что объем выборки *достаточно велик*. Последняя возможность опирается на чрезвычайно важный принцип, позволяющий понять популярность тестов, основанных на нормальности: при возрастании объема выборки, форма выборочного распределения приближается к нормальной, даже если распределение исследуемых переменных не является нормальным.

«Философские и эмоциональные предубеждения» – это еще одна основа для совершения ошибок профессиональными математиками, по мнению Любищева (1969б, с. 722): «находясь на недостижимой для биологов математической высоте, выдающиеся математики иногда проявляют чрезмерный ригоризм» и их авторитет может отпугнуть от занятий биометрией многих желающих.

Справедливый и сегодня упрек. Это напоминает реакцию старого «козака-поселянина» в гоголевском «Вии» на пение бурсаков: он «долго их слушал, подпершись обеими руками, потом рыдал прегорько и говорил, обращаясь к своей жене: «Жинко! то, что поют школяры, должно быть очень разумное; вынеси им сала и чего-нибудь такого, что у нас есть!»».

«Я постарался показать на ряде примеров, что применение математики в биологии не может быть сведено к выполнению определенных технических приемов, гарантирующих от ошибок. Конечно, в хорошо разработанных областях науки, там, где проводится обширное исследование по стандартной методике, возможен сбор материалов до известной степени механически, но и тогда результаты соседних наблюдений контролируют друг друга. В работах же, носящих более изолированный характер, тем более при проникновении в совершенно новые области взаимный контроль разных подходов к тому же вопросу совершенно необходим» (Любищев, 1969б, с. 722).

В данном контексте, несомненный интерес представляет одно наукометрическое исследование (Будилова и др., 1995; Budilova et al., 1997). Авторы провели анализ публикаций из англоязычного (американского) журнала «Ecology» и отечественного журнала «Экология» за 1991-1992 гг., основанный на данных об индивидуальной и совместной частоте встречаемости в этих публикациях экологических и математических терминов. Методика такого анализа была разработана ранее (Налимов, Дрогалина, 1992; Budilova, Teriokhin, 1992).

Этот анализ позволил прояснить ряд вопросов, касающихся современного состояния научных исследований в экологии и привлечения для решения экологических задач математических методов. Прежде всего (и это не удивительно) авторы констатируют приоритет двух основных направлений в этих исследованиях: *экосистемного* и *популяционного*. Так же четко просматривается и другая классификация экологических работ – по объектам исследований (растительные сообщества, птицы, наземные животные, водные сообщества). При этом экосистемный подход более характерен для исследования растительных сообществ, а популяционный – сообществ наземных животных и птиц; сообщества водных организмов с равным успехом служат базой для развития как экосистемного, так и популяционного направлений. Чисто количественно в проанализированном материале преобладали работы популяционного направления (почти 50% против 11% «экосистемных» работ).

Что касается математических терминов, то общее количество выделенных ключевых слов (для 182 статей из журнала «Ecology» за 1991 г. и 139 публикаций из «Экологии» за 1991-1992 гг.) составило 1774 (в «Экологии» – 402), из них различных – 349 (101), т.е. 20% (25%). При этом наиболее встречающихся (с

частотой встречаемости 5 и более раз [для «Экологии» – 3 и более раз] – 63 (21), что составляет 79% (77%) от общего количества ключевых слов. Наиболее употребительные статистические характеристики приведены в таблице.

Таблица

Частота встречаемости математических понятий и публикаций, использующих разные группы математических методов

Термин	«Ecology»	«Экология»
Среднее (mean)	76	62
Дисперсионный анализ (ANOVA)	59	8
Регрессия (regression)	40	16
Корреляция (correlation)	38	22
Ошибка среднего (standard error)	33	48
Уровень значимости (probability level)	26	34
<i>t</i> -критерий (<i>t</i> -test)	24	12
Гистограмма (histogram)	15	12
Индексы (indexes)	9	32
Описательные и обзорные сообщения без статистических данных	4	24
Стандартные методы	77	69
Многомерные методы	60	13
Непараметрические методы	35	0

По сравнению с журналом «Ecology» математические методы в статьях «Экологии» используются менее интенсивно как в количественном отношении, так и по разнообразию методов (а вот отечественная «индексология» – в лидерах...). Более того, в публикациях журнала «Экологии» велика доля описательных и обзорных сообщений, вообще не содержащих статистических методов. Достаточно грустный (для нас) итог: все это свидетельствует «о более низком уровне использования математико-статистических методов в отечественных экологических публикациях... Анализ применения математических методов в экологических исследованиях показал, что в подавляющей части – это применение методов статистической обработки данных, причем часто довольно развитых (последнее, правда, относится в большей степени к англоязычным работам). Вызывает удивление относительно небольшая доля работ, связанных с использованием динамических моделей основанных на дифференциальных и разностных уравнениях и на теории случайных процессов» [Будилова и др., 1995, с. 186, 188].

«Вы считаете (из письма Б.С. Кузину, 2 декабря 1952 г.), что мы одинаково нетерпимы: я на том основании, что считаю, что истинный прогресс в биологии обязательно требует ее математизации; Вы же считаете математику просто противопоказанной... Я никогда не говорил и не говорю, что нельзя делать в биологии прекрасных работ, следуя старым классическим методам, и таким путем можно еще долго работать, но привожу серьезные основания из действительно достигнутых некоторых успехов и из собственной практики, что во многих случаях применение математики в биологии возможно и перспективы велики. Таким образом, я не запрещаю деятельность биологов не математиков, Вы же – запрещаете деятельность Ваших противников» (Любищев, 1997, с. 72-73).

Конечно, это – этика научного познания. Наиболее полно данная проблема рассмотрена С.В. Мейеном (1977) в его классической работе «Принцип сочувствия». Еще одним примером активного научного «противостояния» может служить, продолжающаяся и по сей день дискуссия между сторонниками доминантной и флористической классификации растительности (см.: Миркин, Наумова, 1998). В первом случае имеет место прямая редукция видового состава

растительного сообщества до одного-двух доминантных видов и нескольких им сопутствующих и очень агрессивное неприятие другого подхода, во втором – учет всех видов (причем определенную индикаторную роль играет даже факт отсутствия того или иного вида в фитоценозе). Построение флористической классификации по Браун-Бланке позволяет самым полным образом выявить флору территории, установить ведущие экологические факторы распространения растительности, проводить сравнительный анализ растительности данного района и других территорий. Но этот подход не отрицает и возможности доминантной классификации: «система Браун-Бланке, естественно, не единственная: для мелкомасштабного деления растительности земного шара удобнее и экономичнее физиономические классификации» (Миркин, 1985, с. 116-117). Это также свидетельствует о большей «демократичности» флористического подхода к классификации.

«Мне думается, что все истинные законы природы должны иметь количественное выражение... Что же касается законов, выраженных в чисто качественной форме, то их можно назвать не строго научными, а преднаучными законами, только предвидением настоящих законов, которые надлежит открыть в будущем» (Из письма А.А. Равделю. 19 июля 1953 г. [Любищев, 1991, с. 219]).

Это положение является очень важным «предвестником» одного из элементов общей структуры любой теории, построенной по образу и подобию теоретической физики (Кузнецов, 1967, 1975), – главнейшим структурным элементом «ядра» физических теорий является *система законов* – уравнений, задающих связь и характер изменения физических величин в пространстве и во времени. Каждая физическая теория опирается на характерную именно для нее систему уравнений: классическая механика – на законы Ньютона, электродинамика – на уравнения Максвелла, теория относительности – на уравнения Эйнштейна. Логическая завершенность системы законов свидетельствует о высокой степени разработанности теории (о широком охвате наиболее существенных сторон определенного специфического фрагмента действительности). В экологии сходной общепринятой системы законов – нет; первые шаги в этом направлении сделаны с использованием теории потенциальной эффективности сложных систем (Флейшман, 1978, 1986; Розенберг, 1984, 1999, 2003, 2005).

Подводя итог моей виртуальной «переписке» с А.А. Любищевым, могу констатировать, что многие положения его биометрических (а в какой-то степени и биометрически-философских, а точнее – методологических) работ продолжают оставаться актуальными. Биологи и экологи разного возраста, включая молодых специалистов и студентов-старшекурсников, задают поразительно похожие «любощевские» вопросы² о характере статистической обработки собранного материала. Намного реже они интересуются статистическими основами планирования эксперимента (см., например: Проблемы экологического..., 2008) или математического моделирования в полном объеме. Все это свидетельствует о том, что хотя биометрическим исследованиям у нас в России занимаются уже более 100 лет (Боголюбов, 2003), реальное положение дел в области математизации биологии и экологии продолжает оставаться «в процессе становления». Здесь вполне уместно вспомнить слова Ю.М. Свирижева и Д.О. Логофета (1978, с. 352), которыми они завершают свою во многом этапную для количественной экологии монографию «Устойчивость биологических сообществ»: «заканчивая эту книгу, мы еще раз хотим подчеркнуть, что проблему устойчивости в математической экологии

² Вспомним Остапа Бендера из «Золотого тельца» с его афишей «Пророк Самуил отвечает на вопросы публики»: «А пророку Самуилу задают одни и те же вопросы: «Почему в продаже нет животного масла?» или: «Еврей ли вы?»

(можно говорить о математизации в целом. – Г.Р.) никоим образом нельзя отнести к классу решенных проблем или проблем, близких к решению. Пожалуй, можно сказать, что она находится только в стадии становления. Мы еще очень ограничены грузом идей и концепций классической теории устойчивости, и поэтому появление любых новых мыслей, концепций, методов можно приветствовать».

ЛИТЕРАТУРА

- Боголюбов А.Г.** К столетию начала биометрических работ в России // Бот. журн. 2003. Т. 88, № 7. С. 133-140.
- Будилова Е.В., Дрогалина Ж.А., Терехин А.Т.** Основные направления современной экологии и ее математический аппарат: анализ публикаций // Журн. общ. биол. 1995. Т. 56, вып. 2. С. 179-189.
- Букатова И.Л.** Эволюционное моделирование и его приложения. М.: Наука, 1979. 231 с.
- Горбань А.Н.** Нейроинформатика: кто мы, куда мы идем, как путь наш измерить // Вычислительные технологии. 2000. № 4. С. 10-14.
- Ивахненко А.Г.** Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. Киев: Техника, 1975. 311 с.
- Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П.** Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. М.: Радио и связь, 1987. 118 с.
- Кузнецов И.В.** Структура физической теории // Вопр. философии. 1967, № 11. С. 86-98.
- Кузнецов И.В.** Избранные труды по методологии физики (на подступах к теории физического познания). М.: Наука, 1975. 296 с.
- Кун Т.** Структура научных революций. М.: Прогресс, 1975. 288 с.
- Любищев А.А.** О применении биометрии в систематике // Вестн. Ленингр. ун-та. 1959. Сер. биол., № 9, вып. 2. С. 128-136.
- Любищев А.А.** О количественной оценке сходства // Применение математических методов в биологии. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1963. Сб. 2. С. 152-160.
- Любищев А.А.** Об ошибках в применении математики в биологии. I. Ошибки от недостатка осведомленности // Журн. общ. биол. 1969а. Т. 30, № 5. С. 572-584.
- Любищев А.А.** Об ошибках в применении математики в биологии. II. Ошибки, связанные с избытком энтузиазма // Журн. общ. биол. 1969б. Т. 30, № 6. С. 715-723.
- Любищев А.А.** О приложении математической статистики к практической систематике // Прикладная математика в биологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. С. 12-28.
- Любищев А.А.** Дисперсионный анализ в биологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 200 с.
- Любищев А.А.** О постулатах качественных и количественных законов (из письма А.А. Равделю) // Теоретические проблемы эволюции и экологии. Тольятти: ИЭВБ АН СССР, 1991а. С. 215-220.
- Любищев А.А.** В защиту науки. Статьи и письма. 1953-1972. Л.: Наука, 1991б. 295 с.
- Любищев А.А.** Мысли о многом / Сост. О.П. Орлицкая. Ульяновск: УлГПУ, 1997. 272 с.
- Матвеев В.Н.** Биоэкологическая оценка вовлечения тяжелых металлов в основные трофические цепи и биогеохимический круговорот в условиях агрофитоценозов (на примере лесостепного Высокого Заволжья): Дис. ... канд. биол. наук. Самара, 2004. 169 с.
- Мейен С.В.** Принцип сочувствия // Пути в неизвестное. М.: Сов. писатель, 1977. Сб. 13. С. 401-430. (Мейен С.В. Принцип сочувствия: Размышления об этике и научном познании. М.: ГЕОС, 2006. – 212 с.)
- Миркин Б.М.** Теоретические основы современной фитоценологии. М.: Наука, 1985. 136 с.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г.** Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа: Гилем, 1998. 413 с.
- Налимов В.В., Дрогалина Ж.А.** Трансперсональное движение: возникновение и перспективы развития // Психол. журн. 1992. Т. 13, № 3. С. 130-139.
- Насибулина Б.М.** Экология донных сообществ дельты Волги в условиях антропогенного стресса: Дис. ... докт. биол. наук. М., 2006. 286 с.
- Проблемы экологического эксперимента (Планирование и анализ наблюдений) / Под ред. Г.С. Розенберга, Д.Б. Гелашвили. Тольятти: СамНИЦ РАН; «Кассандра», 2008. 274 с.
- Розенберг Г.С.** Модели в фитоценологии. М.: Наука, 1984. 240 с.

Розенберг Г.С. Модели потенциальной эффективности сложных систем как инструмент анализа экологических феноменов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды международной конференции. Самара: СамНЦ РАН, 1999. С. 333-338.

Розенберг Г.С. О моделях потенциальной эффективности экологических систем // Изв. СамНЦ РАН. Спец. вып. «Проблемы современной экологии». Вып. 1. 2003. С. 34-43.

Розенберг Г.С. Модели потенциальной эффективности популяций и экологических систем // Вестн. Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. Сер. биол. 2005. Вып. 1(9). С. 163-180.

Свирижев Ю.М., Логофет Д.О. Устойчивость биологических систем. М.: Наука, 1978. 352 с.

Тутубалин В.Н., Барабашева Ю.М., Григорян А.А. и др. Математическое моделирование в экологии (Историко-методологический анализ) М.: Языки русской культуры, 1999. 208 с.

Флейшман Б.С. Системные методы в экологии // Статистические методы анализа почв, растительности и их связи. Уфа: ИБ БФАН СССР, 1978. С. 7-28.

Флейшман Б.С. Системология, системотехника и инженерная экология // Кибернетика и ноосфера. М.: Наука, 1986. С. 97-110.

Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. М.: Мир, 1969. 230 с.

Budilova E.V., Drogalina J.A., Teriokhin A.T. Principal trends in modern ecology and its mathematical tools: an analysis of publications // Scientometrics. 1997. V. 39, № 2. P. 147-157.

Budilova E.V., Teriokhin A.T. A bibliographic data base // Neural Networks and Neurocomputers. IEEE Symposium on Neuroinformatics and Neurocomputers. Rostov-on-Don; N.Y.: Inst. of Electrical and Electronics Engineers, 1992. V. 2. P. 1125-1126.