

СТОЛЕТИЕ БИОМЕТРИИ В РОССИИ

© 2002 А.Г. Боголюбов

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

Рассмотрена история применения математических методов в биологических исследованиях.

"...и я не вижу, почему бы в этом отношении именно биологам должны быть предоставлены особые льготы: напротив, и биологами статистический метод, где это необходимо по ходу работы, должен быть применяем в наиболее утонченной его форме..."

А.Я. Гордягин (1907, с. VI)

Седьмого августа 2003 г. исполняется 100 лет со дня начала биометрических работ в России. Именно 25 июля (по старому стилю) 1903 г. Андрей Яковлевич Гордягин начал свои наблюдения над числом краевых цветков у *Chrysanthemum sibiricum* (DC) на Ледяной горе около г. Кунгура Пермской губернии, которые он продолжал до 1906 г. Сбор материала производился ежегодно на южном и юго-восточном склонах Ледяной горы в период цветения *C. sibiricum* с августа по сентябрь. Было исследовано 6783 соцветия. Вскоре он опубликовал в трудах общества естествоиспытателей Казанского университета обстоятельную работу [8], в которой исследовал изменчивость числа краевых цветков и некоторые другие морфометрические показатели. Гордягин сразу заметил, что верхушечное соцветие обыкновенно имеет краевых цветков больше, чем ближайшие головки второго порядка, и установил коррелятивность этих двух показателей. Анализируя распределения числа краевых цветков, он подтверждает правило, подмеченное Людвигом в 1895 г. на *C. leucanthemum*, совпадения максимумов частоты с числами ряда Фибоначчи, и закладывает традицию обращения к ряду Фибоначчи у коллег, начинающих заниматься поиском количественных закономерностей. В своей статье Гордягин анализирует сезонную и годовую динамику числа краевых цветков, устанавливает превышение средне-

го числа краевых цветков в колониях южного склона над средним числом краевых цветков в колониях юго-восточного склона и пытается разрешить альтернативу, сформулированную до него Клебсом в 1903 г.: "...либо замеченные различия вызваны неодинаковостью в условиях жизни на обоих местонахождениях, либо зависят от специфического различия форм, населяющих эти местонахождения" [8, с.13]. После наблюдений 1903 г. Гордягин был склонен предполагать существование на юго-восточном склоне особой "числовой" расы *C. sibiricum*. Но в конце концов он мастерски убеждается в причинной связи пониженного числа краевых цветков "числовой" расы с неблагоприятной жизненной обстановкой юго-восточного склона. Самостоятельный интерес представляет критика Гордягиным центрального примера В. Иогансенна со стороны вариационной статистики. В своей работе Гордягин *сравнивает средние*, вычисляет *коэффициенты корреляции* и использует *критерий согласия Пирсона*. Единственное чего он не знает к 1907 г. – это *критерий Стьюдента сравнения средних*, предложенного в 1904 г., и, соответственно, он не знаком с понятием "уровня значимости". Но тот, кто упрекнет в этом Гордягина, будет сам обязан знать современные математические работы не старше 5 лет и предвидеть их будущее развитие... В годы исследования Гордягина не были еще созданы очень мно-

гие статистические методы, и только начинала развиваться *теория проверки статистических гипотез*. Тем не менее, работа Гордягина с *C. sibiricum* 1903-06 гг. содержала средние, ошибки средних и число произведенных наблюдений. Это позволяет произвести необходимые сравнения, опираясь на развитые к сегодняшнему дню статистические методы анализа данных. Поэтому работа А.Я. Гордягина до сегодняшнего дня выделяется как образец анализа и изложения количественных данных.

Пальму первенства России в привлечении биометрических методов к исследованию биологических проблем у Общества естествоиспытателей Казанского университета по праву может оспаривать Общество естествоиспытателей при Юрьевском университете и Московское математическое общество. В трудах Юрьевского университета в 1906 г. была опубликована статья проф. Г. Колосова с очень многообещающим названием: "Математическая теория эволюции видов по трудам проф. К. Pearson'a" [21]. С нашей стороны было бы завышенным требованием ожидать от Колосова полной характеристики эволюционных и генетических воззрений Ф. Гальтона и К. Пирсона. Изложение биометрических и эволюционных идей этих двух замечательных ученых было дано позже Ю.А. Филипченко [42] в своей книге "Изменчивость и методы ее изучения (основы биологической вариационной статистики)", написанной весной 1918 г. в пустынном Петрограде. Колосов посвятил свою статью главным образом математическим идеям вывода типов кривых распределения Пирсона. В конце своей статьи Колосов привел пример обработки данных Н.И. Кузнецова по числу листьев в бутонке *Paris quarifolia*.

Еще раньше статьи Г. Колосова в Московском математическом обществе 26 ноября (по старому стилю) 1903 г. был заслушан доклад Л.С. Лахтина о математических идеях Ф. Гальтона и К. Пирсона и возможности применения теории вероятностей к анализу биологических данных, который был опубликован в 1904 г. в Математическом сборнике [23]. Но в статье Лахтина не приводилось каких-

либо биологических данных и только указывалось на перспективы применения в биологии теории вероятностей. Поэтому, можно присоединиться к мнению К. Фляксбергера [43] о приоритете А.Я. Гордягина в использовании методов математической статистики в отечественной биологии.

Русские биологи не были пионерами в применении в своих исследованиях вариационной статистики. Первенство, по-видимому, принадлежит двоюродному брату Ч. Дарвина – Френсису Гальтону и его ближайшему сотруднику – Карлу Пирсону. Именно Гальтон в 1899 г. предложил биологическую дисциплину, использующую методы теории вероятностей и математической статистики именовать "биометрией". К началу проникновения биометрии в Россию [9] в 1899 г. в Германии уже вышло руководство Г. Дункера, а в 1904 г. в североамериканских штатах – Давенпорта. Очень большое влияние на осознание необходимости использовать методы биометрии оказала книга 1903 г. В. Иогансенна.

Вскоре по примеру А.Я. Гордягина к биометрическим исследованиям приступили Н. Скалозубов и К. Фляксбергер [37], Р. Регель [31] и В.Н. Сукачев [38]. Уже за год до августовского выстрела в Сараево "...при исследованиях над изменчивостью и наследственностью организмов стало почти невозможным обходиться без математической обработки данных наблюдений" [9]. Поэтому, не было ничего удивительного в том, что А.О. Сапегин уже в самом начале своих знаменитых экспериментов по естественному отбору, которые он мужественно проводил в течение 10 лет, начиная с 1913 г., использовал методы вариационной статистики.

Немногим позже к биометрическим методам обратились зоологи. В 1916 г. вышла работа Ю.А. Филипченко [41], посвященная статистическому различению видов хермесов. Зоологи, наверное, смогут указать и на свои более ранние биометрические исследования, но, по-видимому, им придется признать первенство ботаника А.Я. Гордягина в деле применения биометрических методов.

События первой мировой войны, пос-

ледовавшие за выстрелом в Сараево, надолго задержали в России проникновение вариационной статистики и математических методов в биологические исследования. Тем не менее, в начале 20-х годов, кроме книги Ю.А. Филипченко и очень четкого введения в биометрию А.О. Сапегина [34], в 1922 г. появилось и руководство Г. Левитского "Элементы биометрики". Вслед за Сапегиним В.Н. Сукачев и его ученики в своих экспериментах по борьбе за существование между растениями активно привлекают статистические методы анализа данных.

Проникновение математической статистики в биологию и дальнейшее применение математических методов в биологии обязано не только проблеме изменчивости и наследственности, но и проблемам роста, размножения и развития. Осознание роста и размножения организмов как динамического процесса уже характерно для времени зарождения биометрии. Поэтому, благодаря последней проблеме применение математики в биологии быстро перестало ограничиваться статистическими методами. В одном из первых номеров "Ботанического журнала" Л.Г. Раменский [30], благодаря идеям А.А. Еленкина [13], предлагает линейное дифференциальное уравнение для описания роста линейного размера лишайников. Стационарное решение этого уравнения содержало алгебраические соотношения Еленкина. В 1914 г. микробиолог М.А. Егунов [12] на основе серии экспериментов с грибными и бактериальными колониями на агаризированных средах переоткрыл динамическую модель роста Раменского и предложил оригинальный подход математического описания размножения, который и сегодня заслуживает самого внимательного к себе отношения. Работы А.А. Еленкина, Л.Г. Раменского и М.А. Егунова не были своевременно замечены.

Только после первой мировой войны, когда в США в 1920 г. Р. Пирлом и Л. Ридом была переоткрыта логистическая модель Ферхюльста роста численности популяции, наметился большой интерес к динамическим моделям, который поддерживали наши исследователи Г.Ф. Гаузе и В.В. Алпатов [7]. Увле-

чение логистической моделью привело молодого Гаузе к экспериментальной проверке математических моделей А. Лотки и В. Вольтерра экологических взаимодействий популяций [5]. До сегодняшнего дня слабо осознается методология экспериментальной проверки математических моделей, которая была использована Гаузе в своих работах [6]. В 1980 г. эта методология была блестяще применена Д. Тилманом при экспериментальной проверке модели Н.С. Абросова [1] конкуренции популяций за минеральные ресурсы питания.

К развитию подходов Вольтерра к моделированию экологических взаимодействий видов приступает наш соотечественник, — ученик Вернадского — В.А. Костицын. Именно ему было суждено в 1935 г. предложить первую модель эволюции биосферы [22]. Обобщение вольтерровской модели "хищник-жертва" в 1936 г. предложил и исследовал А.Н. Колмогоров [19]. Даже через несколько десятилетий можно было встретить работы, в которых переоткрывались результаты, полученные А.Н. Колмогоровым в этой статье. В 1937 г. А.Н. Колмогоров, И.Г. Петровский и Н.С. Пискунов [20] доказали существование волнового решения в модели логистического роста численности популяции на бесконечном одномерном ареале. История влияния уравнения Колмогорова-Петровского-Пискунова на различные области естествознания была кратко изложена Ю.М. Свиричевым [35].

Интерес к динамической стороне явлений проявился и в популяционной генетике, которая делала первые шаги благодаря работам Р.А. Фишера, Дж.Б.С. Холдена, С. Райта, С.С. Четверикова [44] и А.О. Сапегина [34]. Попытка вероятностного описания динамики частот генов в популяции впервые была предпринята в 20-х годах в работах Райта и Фишера. Немногим позже Н.П. Дубинин и Д.Д. Ромашев [11], пользуясь дружескими консультациями Колмогорова, рассмотрели первые имитационные модели генетического дрейфа популяций. В дальнейшем под влиянием идей Дубинина, Ромашева и А.А. Малиновского была написана заметка А.Н. Кол-

могорова [16], которая привела к понятию ветвящегося случайного процесса. Приятно отметить, что на развитие теории случайных процессов, одного из наиболее крупных достижений математики XX столетия, существенное влияние оказали именно стохастические проблемы популяционной генетики.

Во второй половине XX века сначала В. Феллер, а затем А.Н. Колмогоров [18] подняли вопросы обоснования диффузионных уравнений генетического дрейфа, связанные со сходимостью ветвящихся процессов к диффузионным. Круг этих проблем слабо осознается как краеугольный камень в логических основаниях теории нейтральной эволюции [15]. Стохастическое описание популяционных генетических процессов не сводится только к эффекту Хагедоорнов и модели генетического дрейфа, и может составить широчайшее поле деятельности. Это особенно хорошо видно благодаря работам Н.П. Дубинина, Д.Д. Ромашева [10,11,33] и теории стабилизирующего отбора И.И. Шмальгаузена [46].

Вклад отечественных исследователей в развитие математической генетики не ограничился моделями генетического дрейфа. С критикой подхода Р. Фишера, Д. Холдена и С. Райта к описанию динамики частот генов в популяции в 1937 г. выступил В.А. Костицын и предложил свою модель описания динамики частот генотипов в популяции. В отечественной литературе работы В.А. Костицына по популяционной генетике изложены в монографиях [2, 36]. О критике Костицыным фишеровского подхода европейскими и американскими коллегами принято умалчивать, но она была воспринята у нас и привела к разграничению областей применимости различных математических моделей популяционной генетики [4].

Влияние биологических проблем на развитие теории вероятностей и математической статистики не ограничилось только теорией случайных процессов. Именно проблемы систематики развили дискриминантный анализ, и в значительной мере для нужд экспериментальных биологических задач был развит дисперсионный анализ. Но в 1930-50

гг., пожалуй, только А.А. Любищев применял методы дисперсионного и дискриминантного анализа в своей повседневной работе [25, 28]. Можно горько сожалеть, что работа А.Н. Колмогорова [17] по раскрытию смысла дисперсионного анализа Р. Фишера не была своевременно замечена нашими и зарубежными биологами; но она была воспринята [32] и развита математиками [45].

Стремление к точному описанию не ограничилось построением первых динамических моделей. Развивая термодинамические подходы к анализу биологических явлений, Э.С. Бауэр [3] предложил *принцип устойчивого неравновесия*. Следствием этого принципа является отрицание возможности динамического равновесия живых систем. Представление о динамическом равновесии лежит в основе моделирования биологических систем. Поэтому, согласование современных подходов к моделированию динамических биологических систем с принципом Бауэра – будущая, и, по-видимому, неизбежная задача.

Не смотря на сопротивление проникновению математических методов в биологию [29], мастерские подмены понятий [24] и навязанные дискуссии (август, 1948 г.), течение времени властно заставляло обращаться не только к математической статистике, но и другим самым разнообразным областям математики для решения фундаментальных биологических проблем [14, 39]. Со второй половины 50-х годов благодаря усилиям А.А. Ляпунова, А.И. Берг, Р.Л. Берг, П.В. Терентьева, Л.С. Каминского, П.Ф. Рокицкого, В.Ю. Урбаха, Н.А. Плохинского и многих других применение биометрических методов стало, если не обязательным, то, по крайней мере, желательным элементом биологических исследований. Начиная с 60-х годов, внедрение математических методов шло, главным образом, в связи с развитием математического моделирования. И здесь мы видим имена Ю.М. Свирижева, В.П. Пасекова, Н.Н. Моисеева и Б.С. Флейшмана (Москва), Р.А. Полуэктова и В.В. Меншуткина (Ленинград), И.А. Полетаева и В.А. Ратнера (Новосибирск), Р.Г. Хлебопруса, И.А. Терскова и Н.С. Абросова

(Красноярск), А.М. Молчанова и А.Д. Базыкина (Пушино), А.Б. Горстко (Ростов-на-Дону), А.П. Шапиро (Владивосток), В.И. Беляева (Севастополь), Ю.С. Колесова (Ярославль), Г.С. Розенберга (Уфа, Тольятти). Список коллег можно продолжать и продолжать – пусть не считают себя забытыми те, кто не был упомянут в этом списке. На общественных началах долгие годы действовала комиссия по математической геоботанике Всесоюзного ботанического общества (председатель В.И. Василевич), биометрический семинар под руководством О.А. Калинина и А.Г. Барта (ЛГУ), группа "альфа" по теоретической биологии под руководством А.П. Левича (МГУ), семинар по теоретической и математической биологии под председательством Л.Н. Серавина и А.Г. Боголюбова (ЛГУ).

Каковы причины того, что слова А.Я. Гордягина, вынесенные в эпиграф, даже и в наши дни остаются чрезвычайно актуальными. Эти причины лежат в области общенаучной подготовки биологов, частью которой является математическое образование. Традиции преподавания приложений математики к биологии закладывались вначале С.С. Четвериковым (Москва), Ю.А. Филипченко (Ленинград) и А.О. Сапегиным (Харьков), а затем А.А. Малиновским (Одесса), В.В. Алпатовым и Ю.А. Урбахом (Москва), П.Ф. Рокицким (Минск), П.В. Терентьевым, Н.С. Ростовою, Л.С. Каминским и В.И. Василевичем (Ленинград), А.А. Любищевым и В.С. Шустовым (Ульяновск), Б.М. Миркиным (Уфа). К сожалению, проблемы математической и "биометрической" подготовки биологов, о которых писал еще 40 лет назад П.В. Терентьев [40], так и не решены. В наше время вдумчивое и осторожное применение математических методов анализа данных часто неоправданно заменяется компьютерными средствами визуализации, хранения и передачи информации и сопровождается ошибками применения математики в биологии [26,27]. К сожалению, распространено отношение к использованию математической статистики в биологических исследованиях как досадному требованию редакций и ученых советов, а к математической модели или фор-

муле – как привлекательному и солидному украшению.

В самом деле, нужна ли математическая статистика в биологических исследованиях? Все познается в сравнении. Измерение – это сравнение с эталоном. Например, измерение любой протяженности, массы и т.д. – это сравнение с эталоном, хранящемся в палате мер и весов в Париже. Составление флористического (или фаунистического) списка – это тоже измерение, так как здесь производится сравнение растений (животных), обитающих в некоторой связной области земной поверхности, с принятой классификацией изучаемой группы видов. В этом контексте работа систематиков – это создание эталонов для сравнения биологических объектов. Здесь мы имеем две сложности. Во-первых, сравнение образцов при создании классификации определенной группы всегда отражает наши представления о классифицируемых видах и разновидностях. Поэтому, биологические классификации, в отличие от эталонов Палаты мер и весов, постоянно изменяются. Во-вторых, мы не умеем оценивать статистическую ошибку определения видовой принадлежности отдельного экземпляра. Создание классификаций с наименьшей статистической ошибкой определения видовой принадлежности может составить некоторый новый класс задач при внедрении математических методов в систематику. Сравнение биологических объектов только с эталонами "Парижской палаты мер и весов" не может сильно нам помочь в их изучении. Хотя без этого сравнения невозможны количественные методы исследования, преимущество которых основано на постоянстве эталонов. Заметим, что именно постоянство эталонов Парижской палаты облегчает оценивание ошибки количественных наблюдений.

В дальнейшем мы должны произвести сравнение наших объектов друг с другом по выбранному показателю. Сравнение изучаемых объектов друг с другом основано на сомнении в идентичности этих объектов. Благодаря математической статистике ставится нулевая гипотеза об идентичности наших объектов по выбранному показателю, кото-

рую мы принимаем или отвергаем на определенном уровне значимости против определенной, как правило, сложной альтернативы. Тем самым, математическая статистика выступает как *методология сомнения*. Вступая на путь применения математической статистики в своих исследованиях, мы начинаем оценивать ошибку своих наблюдений и анализировать источники ошибок своих наблюдений. По сути дела – это только первый этап. Именно оценка источников и величин ошибок наблюдений представляет собой первый шаг в методологии сомнения. К сожалению, понятия "уровня значимости" и "мощности статистического критерия" до сих пор являются трудно достигаемыми вершинами даже для тех коллег, которые приняли обязательство оценивать ошибку своих наблюдений и подвергать сомнению свои высказывания. *Методология сомнения в лице математической статистики дает ту степень независимости и твердости суждений, которая составляет существо научного поиска*. Но, добровольно лишая себя надежного инструмента сомнения, мы оказываемся свободными в своих интерпретациях, и свобода наших суждений становится прозрачной, попадая под власть авторитета, привычки, предрассудков и фальшивого знания – четырех источников ошибок по Роджеру Бекону.

Можно только присоединиться к мнению И.И. Шмальгаузена [47, с. 204] о сравнении как первой стадии научного изучения: "Дальше следует изучение связей, зависимостей в распределении или последовательности явлений". Если нет проверки содержательной гипотезы или не предлагается какая-либо концепция, то сравнение объектов по исследуемым показателям только загромодит журналы наблюдениями. Но коль скоро мы применяем математику для анализа своих данных, то, почему бы, не опереться на ее эвристическую силу при построении теоретической картины явлений. Соглашаясь с эвристической силой математических средств познания, мы приступаем к математическому моделированию, и неизбежно подходим к вопросам соответствия между моделями и

наблюдениями. И снова нам необходим инструмент сомнения – математическая статистика. Здесь нас ждут два мало разработанных вопроса. Первый – о соотношении между содержательной гипотезой, которая может быть дедуктивным следствием из математической модели, и нулевой гипотезой, которая стоит в применяемом статистическом критерии. Второй вопрос относится к экспериментальной проверке математической модели. Экспериментальная проверка математических моделей, как правило, отчетливо показывает их методическую ценность. Именно модель указывает на характеристики, которые следует измерить, и часто подсказывает способы их измерения. Тем самым, мы приходим к еще одному способу сравнения.

Краткий исторический очерк применения математики в биологии, по-видимому, показывает, что значительная часть истории отечественной биологии написана языком математики. Придерживаясь биометрической методологии, восходящей к работе А.Я. Гордягина (1903-1907 гг.), работы, в которых не оценивались ошибки измерений, не применялись статистические критерии проверки гипотез, и тем самым суждения не подвергались сомнению, мы не можем считать достоверными. Но данная методология научного поиска, несмотря на ее продуктивность, не может быть еще распространена на все области биологических исследований. В частности, теоретико-вероятностное и статистическое обоснование флористических и фаунистических методов исследования – одна из будущих и многообещающих задач.

Благодарности. Я благодарю за внимательное и доброжелательное прочтение рукописи Я.М. Галла, Н.С. Ростову, О.М. Калинина и И. Попова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абросов Н.С.* Теоретическое исследование механизма регуляции видовой структуры сообщества автотрофных организмов // *Экология*. 1975. № 6.
2. *Абросов Н.С., Боголюбов А.Г.* Экологические и генетические закономерности сосу-

- ществования и коэволюции видов. Новосибирск: Наука, 1988.
3. Бауэр Э.С. Теоретическая биология. М.-Л.: ВИЭМ, 1935.
 4. Боголюбов А.Г. Критика математических основ синтетической теории эволюции // Теоретические проблемы эволюции и экологии. Тольятти: ИЭВБ АН СССР, 1991.
 5. Галл Я.М. Популяционная экология и эволюционная теория: историко-методологические проблемы // Экология и эволюционная теория. Л.: Наука, 1984.
 6. Гаузе Г.Ф. Математическая теория борьбы за существование и ее применение к популяциям дрожжевых клеток // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1934. Т.43.
 7. Гаузе Г.Ф., Аллатов В.В. Логистическая кривая Verhulst-Pearl'a и ее применение в области количественной биологии // Журн. exper. биол. 1930. Т.6. Вып.4.
 8. Гордягин А.Я. Биометрические исследования над *Chrysanthemum sibiricum* (DC.) // Труды Общества естествоиспыт. при Императорском Казанском университете. Казань. 1907. Т.XL. Вып.5.
 9. Гордягин А.Я. Из русской биометрической литературы. 1. О книгах г.г. Леонтовича и Слуцкого // Известия Императорского Николаевского университета. 1913. Т.IV. Вып.2.
 10. Дубинин Н.П. Генетико-автоматические процессы и их значение для механизма органической эволюции // Журн. exper. биол. 1931. Т.VII. №5-6.
 11. Дубинин Н.П., Ромашев Д.Д. Генетические основы строения вида и его эволюция // Биол. журн. 1932. Т.1. Вып.5-6.
 12. Егунов М.А. Законы роста микробных колоний и размножения. Петроград: Типография М. Квара, 1914.
 13. Еленкин А.А. Орто- и плагитропный рост с био-механической точки зрения у лишайников и некоторых других низших споровых // Ботанический журнал Импер. СПб. Общ. Естествоисп. 1907. Т.II. № 2.
 14. Ивлев В.С. Экспериментальная экология питания рыб. М.: Пищепромиздат, 1955.
 15. Кимура М. Молекулярная эволюция: теория нейтральности. М.: Мир, 1985.
 16. Колмогоров А.Н. К решению одной биологической задачи // Изв. НИИ мат. и мех. Томск. ун-та. 1938. Т.2. Вып.1.
 17. Колмогоров А.Н. Реальный смысл результатов дисперсионного анализа // Труды 2-го Всесоюзного совещания по математической статистике. Ташкент: АН УзССР, 1949.
 18. Колмогоров А.Н. Переход ветвящихся процессов в диффузионные и примыкающие задачи генетики (Обзорный доклад) // Теория вероятностей и ее применения. 1959. Т.4. №2.
 19. Колмогоров А.Н. Качественное изучение математических моделей динамики популяций // Проблемы кибернетики / Под ред. А.А. Ляпунова. М.: Наука, 1972. Вып.25.
 20. Колмогоров А.Н., Петровский И.Г., Пискунов Н.С. Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием количества вещества, и его применение к одной биологической проблеме // Бюлл. МГУ, серия А. 1937. №6.
 21. Колосов Г. Математическая теория эволюции видов по трудам проф. К. Pearson'a с приложением к исследованиям проф. Н.И. Кузнецова // Протоколы Общ. Естествоисп. при Юрьевском ун-те. 1906. Т.XV. №2.
 22. Костицын В.А. Эволюция атмосферы, биосферы и климата. М.: Наука, 1984.
 23. Лахтин Л.К. О методе Пирсона в приложениях теории вероятностей к задачам статистики и биологии // Математический сборник, 1903. Т.XXIV. №3.
 24. Лысенко Т.Д. Теоретическая биология – средство решения практических агробиологических вопросов // Агробиология. 1960. №4(124).
 25. Любищев А.А. К методике количественного учета районирования насекомых. Фрунзе: АН Кирг.ССР, 1958.
 26. Любищев А.А. Об ошибках в применении математики в биологии. Сообщение I // Журн. общ. биол. 1969. Т.30. №5.
 27. Любищев А.А. Об ошибках в применении математики в биологии. Сообщение II // Журн. общ. биол. 1969. Т.30. №6.
 28. Любищев А.А. Дисперсионный анализ в

- биологии. М.: Изд-во МГУ, 1986.
29. *Презент И.И.* О кибернетике в биологии // *Агробиология*. 1960. №4(124).
30. *Раменский Л.Г.* О возможности количественного применения закона Бергмана-Лейкарта // *Русский ботан. журн.* 1908. №5-6.
31. *Регель Р.* Число чашелистиков у *Anemone nemorosa L.* // *Труды Пр. бот.* 1911. Т.IV. №7.
32. *Романовский В.* Математическая статистика. Книга 2. Оперативные методы математической статистики. Ташкент: АН УзССР, 1963.
33. *Ромашев Д.Д.* Об условиях "равновесия" в популяции // *Журн. экспер. биол.* 1931. Т.VII, Вып.4.
34. *Сапегин А.О.* Вариационная статистика. Элементарный учебник для агрономов. Харьков: Нар. комиссариат земледелия Украины, 1922.
35. *Свирижев Ю.М.* Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М.: Наука, 1987.
36. *Свирижев Ю.М., Пасеков В.П.* Основы математической генетики. М.: Наука, 1982.
37. *Скалозубов Н., Фляксбергер К.* Биометрические данные для пшеницы "усатки" из Тобольской губернии // *Труды Пр. бот.* 1909. Т.II. №7.
38. *Сукачев В.Н.* Биометрические исследования над *Chrysanthemum Leucanthemum* и *Ch. Ircutianum* (DC.) Turcz // *Известия РАН.* 1918. Т.XII. №10.
39. *Тахтаджян А.Л.* Прямое приспособление или естественный отбор? (О статистических законах в биологии) // *Ботан. журн.* 1957. Т.42. №4.
40. *Терентьев П.В.* Опыт преподавания биометрии в Ленинградском университете // *Применение математических методов в биологии. Сборник второй* / Под ред. Л.С. Каминского и П.В. Терентьева. Л.: ЛГУ, 1963.
41. *Филипченко Ю.А.* Биологические виды хермесов и их статистическое различие // *Зоол. вестн.* 1916. №1.
42. *Филипченко Ю.А.* Изменчивость и методы ее изучения (основы биологической вариационной статистики). М.-Петроград: Гос. изд-во, 1923.
43. *Фляксбергер К.А.* Начало биометрических работ у нас и А.Я. Гордягин // *Ученые записки Казанского государственного университета им. В.И. Ульянова-Ленина.* Казань. 1933. Т.93. Кн.6. Вып.1.
44. *Четвериков С.С.* Волны жизни // *Дневник зоологического отд.* 1905. Т.3. №5.
45. *Шеффе Г.* Дисперсионный анализ. М.: Наука, 1980.
46. *Шмальгаузен И.И.* Факторы эволюции (теория стабилизирующего отбора). М.: Наука, 1968.
47. *Шмальгаузен И.И.* Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск: Наука, 1968.

THE CENTURY OF BIOMETRICS IN RUSSIA

© 2002 A.G. Bogolubov

Botanical Institute of Russian Academy of Sciences, St. Petersburg

History of application of mathematical methods in biological research is considered in this article.

СЕМИОТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭКОЛОГИИ ЖИВОТНЫХ

© 2002 Э.Д. Владимирова

Самарский государственный университет

Сравниваются понятия теории сигнального поля млекопитающих и семиотики. Предмет статьи – информация, полученная животными через характеристики среды обитания, без прямых контактов между ними. Информационный поток делится на кванты, в которых означаемому поставлено в соответствие означаемое. Рассмотрен язык научной схемы, подходящей для описания процессов хранения и передачи информации в экосистемах. Поскольку события внешнего мира могут соответствовать или не соответствовать ожиданиям мотивированных животных, знаковое взаимодействие особей с внешней средой выступает структурированной системой значений, а научный дискурс по его описанию – языковым явлением, которое зависит от изменения собственной структуры. Определяющие отношения в этом языке задаются с помощью понятий "текст", "контекст", "знак", "знаковая система", "семиозис", "мотивация", "поведенческий континуум", "означаемое", "означающее", "информация", "сообщение", "адаптация", "значение". Этологические теории могут быть оптимизированы с применением понятий семиотики.

Введение

В ходе комплексных экологических исследований встает вопрос о том, каковы механизмы хранения и передачи информации в экосистемах. Оценить объем и направление информационного потока в популяциях млекопитающих можно с помощью теории биологического сигнального поля [1]. Эта теория была подтверждена многолетними исследованиями природных популяций хищных млекопитающих Самарского Заволжья и Приуралья [2]. Дальнейшая разработка теоретических положений и систематизация уже собранного материала потребовали применения концептуального базиса современной семиотики [3, 4].

Исследование поведения животных "позволяет получать", говоря словами А.В. Яблокова, "надежные популяционные характеристики, по существу, не отличающиеся от традиционных морфофизиологических и биохимических признаков-маркеров генотипического состава" [5]. Для построения прогнозов о возможных пределах адаптации животных, необходимо определить основные факторы, влияющие на их поведение, найти зависимости, связывающие особенности поведенческих реакций и состояние внешней среды [6]. Так, антропогенный фактор повышает уровень стресса в популяциях млекопита-

ющих, изменяя величину реализованной экологической ниши, характер репродуктивных и территориальных поведенческих реакций [7-10]. Теория сигнального поля предлагает методы решения данной проблемы, так как она обосновывает перечень параметров, позволяющий моделировать демэкологические регуляционные механизмы [3, с.49-53]. Необходимо структурировать реальный поведенческий континуум таким образом, чтобы появилась возможность сравнивать поведение отдельных особей и групп. Понятийные средства для этого предоставляет современная семиотика.

Семиотика – наука, изучающая знаки, знаковые системы и способы, с помощью которых в знаковых системах передается значение. В рамках семиотики разработан богатый понятийный аппарат, пригодный для формулировки и решения задач в области теории информации и коммуникации, а также для описания различных языковых систем, в том числе таких, которые используют визуальные знаки [11-15]. Работа в междисциплинарной сфере семиотики и биологии даёт экологу ряд преимуществ. Во-первых, сложившийся, формализованный понятийный аппарат семиотики можно использовать при изучении движения информации в экосистемах, оговаривая цели и границы приложения

семиотических понятий. Это освобождает исследователей от необходимости конструировать терминологию, способствует их взаимопониманию, организует научные сведения. Во-вторых, семиотические знания побуждают экологов обращать внимание на те детали, которые могли бы остаться незамеченными, если бы в области семиотики они не были уже познаны и названы [16, 17]. Для экологов ценны семиотические представления о связанном тексте как структурированной знаковой последовательности [18-20], объединенной прежде всего прагматическими целями [21-23]. Не теряют актуальности представления о знаке [24-28], значении [29] и семиозисе [30, 31]. Смысл семиотических заимствований в биологии передают слова К. Леви-Строса, французского структуралиста, антрополога и семиотика: "Разрастание понятий соответствует неослабному вниманию к свойствам реальности, наиболее пристальному интересу к различиям" [29, с.114].

Понятие знака, моделирующее функциональные отношения между особью и воспринятыми её явлениями внешней среды, органически входит в круг проблем экологии [32]. Ф. де Соссюр понимал знак как единство означаемого и означающего [25]. Ч.С. Пирс подчеркивал функциональную природу знака, утверждая, что "знак, или репрезентатив, есть нечто, что замещает собой нечто для кого-то в некотором отношении или качестве" [24]. Функция знака - быть аналогом другого объекта, предмета, свойства, явления, понятия, действия, замещающего воспринятый знаковый объект. Знаковый процесс – это структурированная последовательность ассоциативных реакций. "*To represent*" переводится с английского как "отражать", "представлять в определенном свете", "символизировать", "означать". Для экологов здесь важно, что актуальная мотивация животных задает значение информации, полученной ими при восприятии внешней среды. Кроме того, внешние объекты предстают в свете опыта прошлых адаптаций. Обеспечивающие единство популяций коммуникации животных, осуществленные через изменение со-

вместной среды обитания, также представляют собой знаковый процесс (семиозис), поддерживающийся активностью реципиентов информации.

Этологические модели: преимущества семиотического подхода

Опыт полевых наблюдений за животными показывает, что в естественной среде оно детерминируется как минимум тремя составляющими. Во-первых, оно зависит от видовой, половой и возрастной принадлежности, то есть представляет собой реализацию врожденных стереотипов. Во-вторых, поведение определяется индивидуальными особенностями особи, приобретенным опытом, индивидуальными способами реагирования, мотивацией, общим контекстом ситуации. В-третьих - детерминируется внешними для особи факторами: объектами и событиями среды обитания, в том числе сигналами, указывающими на состояние популяции. Кроме того, конкретный поведенческий акт может быть внешне ничем не детерминирован или может определяться причинами, неизвестными на момент исследования. При создании предсказательных моделей поведения с целью решения экологических задач сложнее всего установить подлежащие измерению параметры и определить параметры, которыми можно пренебречь [1, с.23-30; 2, с.23-39; 33].

Можно проследить несколько способов решения этой проблемы. Гештальтпсихологи указывали на существование фигуры и фона в восприятии: при этом фигуры отличаются от фона большим количеством деталей и определенной структурированностью. Говоря языком семиотики, ученые этого направления решали проблему отличия "знака" и "не знака": закономерности восприятия, открытые гештальтпсихологами, соответствуют функционированию так называемых "естественных знаков" [34, 35].

Актуальное восприятие всегда меньше по объёму, чем потенциальное, поэтому в реальном мире, окружающем особь, имеются объекты и события, которые не входят в субъективный мир особи, или "*Umwelt*", если

использовать терминологию Я. фон Юкскюлля [36]. Воздействие внешней среды на особь превосходит потенциал особи к восприятию внешних объектов, тем более, её возможности к ответным двигательным реакциям. Поскольку нет иного способа проникнуть во внутренний мир животных, кроме наблюдения за ними, имеет смысл, для достижения сравнимых результатов, отмечать только те объекты внешней среды, на которые животные отвечают двигательной реакцией.

Понятие Юкскюлля "Umwelt", означающее "семиотический мир организма" и включающее "все значимые аспекты мира для частного организма" [36, 31], используется в модели знакового процесса, подчеркивающей уникальность индивидуальных особенностей особи, её ограниченные возможности к восприятию внешней среды, зависимость этого процесса от мотивации и ранее сформированного "образа искомого" [37].

Упоминание о необходимости регистрации двигательных реакций при построении научной схемы вызывает устойчивые связи с бихевиористскими теориями. Благодаря использованию объективных методов регистрации движений, ученые этого направления ближе остальных подошли к построению поведенческих моделей, приемлемых в экологии [38]. Но бихевиористы отказывались ставить задачи по выявлению особенностей внутреннего мира животных (например, мотивации, эмоционального состояния), редуцируя понимание поведения до схемы "стимул-реакция". Вместо характеристики условий, по которым именно данный объект становился стимулом для животных, а отрезок жизнедеятельности данной конкретной протяженности - реакцией, бихевиористы действовали по стереотипам, сложившимся при постановке однотипных экспериментов.

Необихевиористы, дополнившие научные представления о детерминации поведения промежуточными переменными, то есть психологическими составляющими, не создали метода, с помощью которого можно было бы описать и измерить суточную активность животных в природных условиях. Только недавно появившееся в семиотике представле-

ние о восприятии внешнего мира в виде текста, позволило разделить единый континуум поведения на отрезки не с помощью внешней "линейки", размерность которой произвольно задается исследователем, а с помощью единиц семиозиса, в которых означаемое соответствует означающему. Текст - это знаковая последовательность, структурированная внутренними связями, объединенная общим контекстом. В новейших семиотических теориях текст – это способ дискретизации континуума восприятия, "поле в перманентной метаморфозе" [19, с.168-171]. Аналогичные представления разработаны в рамках теории сигнального поля млекопитающих [1, 2].

Биологическое сигнальное поле - это пространственно-временной континуум, формируемый в процессе информационного взаимодействия млекопитающих со средой обитания. Поведение млекопитающих в сигнальном поле представляет собой процесс чтения текста, имеющего отношение к объектам и событиям внешней среды, ориентирующего животных относительно состояния этой среды. "При непосредственном общении животных трудно провести границу между отдельными сигналами, выраженными в движении, позе, звуках, и, следовательно, "текст общения" невозможно разделить на элементы. При опосредованном же общении через сигналы среды, представляющие собой долговременно зафиксированный текст сообщения, животное-реципиент отвечает двигательной активностью на каждый отдельный сигнал, формируя в целом какое-либо поведение, которое можно понять по характеру активности и которое можно разложить на отдельные звенья – "слова" ответа на сигнал "текста" [2, с.17]. Следует только сделать оговорку, что сами, как таковые, объекты среды знаками не являются, но включаются в знаковое отношение, преломившись через восприятие животного-реципиента.

Сигнальное поле позволяет изучать процессы хранения и передачи информации в популяциях животных, в том числе у тех видов, которые ведут одиночный образ жизни. Одиночные млекопитающие, обитающие в природных условиях, черпают информацию

о среде обитания и осуществляют коммуникацию в виде информационного потока, "записанного" в объектах и событиях внешней среды. Задача исследователя заключается в выявлении позиционной значимости как отдельных элементов этого сообщения, так и его структуры, определенной общим контекстом. Избирательное отношение особи к среде позволяет рассматривать информационный поток в качестве связного сообщения. Данные представления о "безадресном" сообщении, ещё в недавнее время вызывавшие наибольшее количество возражений, (например, см. работу М.В. Никитина [39]), в настоящее время разрабатываются в рамках семиотических теорий аберрантного декодирования, анкера, интертекстуальности, текстуального детерминизма, аффективной ошибки, открытых и закрытых текстов [11-13, 19, 34, 40].

Сообщение, почерпнутое животными из внешней среды, может нести и коммуникативную информацию. У животных инструментом общения выступает их собственное поведение, воспринимаемое или при непосредственном контакте, или через изменение совместной среды обитания. Объем сообщения и его характер определяются избирательной активностью особи-реципиента. В пределах, заданных актуальной мотивацией и видовой принадлежностью животного-реципиента, это сообщение может быть многозначным (полисемичным). Задача исследователя – организовать собственный процесс получения знакового сообщения так, чтобы структура и организация информации, полученной животными, была передана наиболее объективно.

Двигаясь вдоль следовой дорожки животного, исследователь фиксирует двигательные реакции животного. Одновременно он отмечает объекты и события внешней среды, в том числе сигналы коммуникативной природы, на которые животное ориентируется и реагирует движением. По ходу наблюдения определяется общий поведенческий контекст, или тип осуществляемого в данный момент поведения.

Интерпретация поведенческой активности требует решения двух методических про-

блем. Первая связана с установлением допустимого уровня "элементарности" двигательной реакции, осуществленной в ответ на восприятие того или иного стимула, вторая – с "калибровкой" стимулов внешней среды, вызывающих двигательную реакцию животных, то есть с установлением эквивалентности внешних сигналов для мотивированных определенным образом животных. Для животных характерны видовые стереотипы поведения, поэтому опытный исследователь может проассоциировать воспринятый сигнал среды с поведенческой мотивацией и двигательной активностью животного почти в каждом конкретном случае. В качестве единицы учета двигательной активности исследователь применяет "элементарную" двигательную реакцию – активность животных такой протяженности, которая соответствует восприятию внешнего объекта или события. На все значимые стимулы животные отвечают движением, более того, именно через движение и происходит познание ими внешней среды [1, с.22-27]. Модель биологического сигнального поля заменяет изучение "реального" информационно-коммуникативного поведения анализом знаковой схемы: естественные процессы создания и восприятия сигналов через внешнюю среду рассматриваются в форме дискретных элементов информационного потока, представленных "элементарными" поведенческими реакциями. Формализация знаковых явлений в языке требует сведения "бесконечного разнообразия реализаций знаков в конечное число инвариантов" и основана на принципе, "в соответствии с которым во внимание принимаются не все субстанциальные характеристики знака, а только те абстрагированные из целого характеристики, которые формируют значение и определяются – так как речь идет о системе знаков – системными противопоставлениями" [41]. Модель сигнального поля Д.П. Мозгового и Г.С. Розенберга организована аналогичным образом.

Исследования по методике сигнального поля позволяют учитывать и количество, и предметность воспринятой животными информации. "Элементарный" двигательный

акт в этой теории соответствует такой единице квантования двигательного континуума, которая определяется соответствием между означаемым и означающим. Сохраняется возможность дробления потоков формального знакового выражения и смыслового знакового содержания на единицы, не имеющие соответствия в противоположном плане, но такое дробление адаптивных реакций животных будет ошибочным. Для животных означаемое, определенное "объективно" – элемент их жизненного опыта, соответствующий "образу искомого" [37]. С одной стороны, знак востребован мотивацией реципиента, обусловлен индивидуальным и видовым опытом, с другой стороны, знак определяется внешними условиями, если они адекватны намерениям и воспринимающему аппарату реципиента. Знаковый процесс, или семиозис – это "движение" от воспринятой формы к вызванному этой формой значению – прямому или коннотативному. Означаемое субъективно, но это не значит, что оно непознаваемо – границы знака можно определить по внешней, доступной исследователю, поведенческой реакции животного.

Понятие поля для моделирования поведения применял гештальтпсихолог Курт Левин. Задавая вопрос о том, чем обусловлено конкретное элементарное движение – памятью, намерениями, опытом, характером, привычками, возрастом, полом, или мотивацией, К. Левин утверждал доминирование настоящего момента в теоретических построениях, описывающих поведение. Теория К. Левина позволяла применять "принцип одновременности" и тем самым переводить диахронические проблемы "влияния прошлого и будущего" в синхроническое понимание актуальности "мгновенного временного среза": "Важно осознать, что прошлое и будущее – это одновременные части психологического поля, существующего в данное время" [42, с.66, 74]. К. Левин писал: "Всякое поведение или всякое изменение в психологическом поле зависит только от психологического поля в тот момент времени. Для того, чтобы установить психологическое направление и скорость поведения (то, что обычно называ-

ется "значением" события), мы должны рассмотреть определенный временной период" [42, с.66, 72]. В теории биологического сигнального поля Д.П. Мозгового и Г.С. Розенберга дифференциальной значимостью, позволяющей делить поведенческий континуум на временные периоды подобного рода, наделяется время восприятия дискретного внешнего объекта. При этом продолжительность элементарного движения рассматривается в качестве дискретного временного периода. Количество элементарных движений в ответ на восприятие внешних объектов становится, таким образом, мерой информационного времени наблюдаемой особи [1, с.57-73].

Формализация информационного континуума, слагающего поле, предполагает комплексный учет величины, анизотропности и напряженности поля [1, 2]. Величина поля – совокупность объектов и событий внешней среды, выявленная через их вовлечение в сферу деятельности получателя информации, на основании двигательных реакций реципиента в ходе восприятия среды. Этот параметр, показатель "субъективно" значимой части окружающей среды, характеризует разнобразие восприятия внешнего мира. Анизотропность поля – свойство, которое выявляется посредством учета всех, в том числе и повторных, двигательных реакций на объекты и события сходной природы. Данный параметр помогает определить объем восприятия внешнего мира. Эквивалентом, который позволяет оценить различные объекты и события среды как знаки с идентичным для реципиента значением, выступает однотипная поведенческая мотивация животных. Анизотропность – показатель адекватности мотивированной особи данной знаковой среде. Избирательность особи к объектам и событиям внешней среды может быть выражена в числовой форме через отношение анизотропности и величины. Чем выше этот показатель, тем мотивированнее особь [3, с.51-52]. Напряженность поля – параметр, характеризующийся интенсивностью двигательных реакций в процессе восприятия внешних объектов, показатель статуса данного объек-

та для реципиента.

При комплексном этологическом моделировании остро встает проблема, сформулированная американскими экологами М. Менджелом и К. Кларком: "любая поведенческая модель, достаточно простая, чтобы быть рабочей моделью, с неизбежностью оказывается слишком простой, чтобы быть биологически реалистичной. Наоборот, любая биологически реалистичная модель в экологии поведения оказывается слишком сложной, чтобы быть рабочей моделью и поддаваться математическому анализу" [33, с.11]. Преимущество теории сигнального поля состоит в том, что она оптимизирует сам поведенческий процесс (с помощью формализации поведенческого континуума до учета параметров поля), а не внешние факторы, влияющие на поведение. Не факторы среды, а сами поведенческие реакции животного становятся основным ориентиром для исследователя, что позволяет сравнивать и обобщать данные наблюдений после их приведения к определенной размерности.

Понятийный ряд зоосемиотики

Информационный обмен со средой обеспечивает большую адаптивность популяций и коадаптивного комплекса экологически близких видов. С помощью понятия "знак", настоящий момент информационного взаимодействия особи и среды дополняется индивидуальным или групповым опытом прошлых адаптаций. Кроме того, это понятие позволяет учитывать намерения реципиента знаковой информации как реализацию поведения того или иного типа. Особи, участвующие в знаковых процессах, обладают индивидуальной, групповой и генетически зафиксированной памятью, следовательно, память о прошедшем опыте всегда присутствует в знаке, давая коннотации. Знак – отсылка к иной ситуации, которая некогда обладала значимостью и поэтому закрепились как часть индивидуального опыта - в форме двигательного ответа или его блокирования. Применение понятия "знак", таким образом, позволяет учесть в синхроническом исследовании поведения его диахронические аспекты.

Первый зоосемиотик Ч. Моррис писал в работе "Основания теории знаков", что "не только люди, но и животные реагируют на некоторые вещи как на знаки чего-то другого" [21, с.37]. Далее он продолжал: "Функционирование знаков – это, в общем, способ, при котором одни явления учитывают другие явления с помощью третьего, опосредующего класса явлений" [21, с.43]. В другой работе, "Значение и означивание", Ч. Моррис определил семиотические понятия следующим образом: "семиозис (или знаковый процесс) рассматривается как пятичленное отношение – V, W, X, Y, Z , - в котором V вызывает в W предрасположенность к определенной реакции (X) на определённый вид объекта (Y) при определённых условиях (Z). В случаях, где существует это отношение, V есть знак, W - интерпретатор, X - интерпретанта, Y - значение, а Z - контекст, в котором встречается знак" [22, с.119]. Ч. Моррис дает семиотические определения с оговоркой, что делает это "для целей настоящей работы". Ученый не настаивает на том, что его формулировки приводятся в качестве "объективных" определений знака, считая, что они "просто указывают условия признания некоторых явлений знаками" [22, с.118-119].

На первый взгляд, представления Ч. Морриса о знаковом поведении животных отличаются от представлений, предложенных авторами теории сигнального поля, но более глубокое рассмотрение проблемы показывает, что различия касаются того, какого рода анализ, статический или динамический, взят за основу моделирования знаковых явлений. То, что при статическом подходе получило у Ч. Морриса название "предрасположенности к определённой реакции", при динамическом подходе и является элементарными двигательными реакциями на объекты и события среды. "Эту предрасположенность можно интерпретировать, исходя из понятия вероятности, как вероятность определённой реакции в определённых условиях при появлении определённого знака. Интерпретанту можно рассматривать как промежуточную переменную, которая постулируется в теоретических целях и контролируется косвенны-

ми эмпирическими данными", - пишет Моррис [22, с.120].

Близкую теоретическую позицию занимает Ч. Осгуд, развивший теорию смысла, в которой смысл понимается как "свернутое воспроизведение реального поведения в отношении определённых предметов" [43, с.72-73].

Вопрос о том, как отличить "знак" от "не знака" решается в семиотике в зависимости от способности знакового объекта осуществлять репрезентативную (отсылочную) функцию: знак – то, что вызывает знаковый процесс, или семиозис [13].

Для целей экологии применимы следующие определения знака:

1) знак – объект (явление), стоящий вместо чего-либо, то есть замещающий что-либо;

2) знак – некая сущность, отсылающая своего пользователя к чему-либо, отличающемуся от самого знака;

3) знак – нечто, способное вызывать представление о чем-либо, отличающемся от воспринятой формы;

4) знак – то, что вызывает двигательный ответ, если означаемое соотносится с доминирующей мотивацией адресата;

5) знак – движение от воспринятой формы (означающего) к некоторому содержанию (означаемому) из видового или индивидуального опыта пользователя знака;

6) знак – то, что побуждает к деятельности, соответствующей доминирующей мотивации (намерению) пользователя, с вероятностью менее ста процентов. Если "знак" однозначно вызывает какую-либо деятельность, исследователь наблюдает не знаковое, а причинно-следственное взаимодействие.

Дискуссия об "истинной знаковости", характерной для человека, и знаковости "предшествующих стадий", которую можно наблюдать у животных, по существу, направлена на дифференцировку символических знаков человека, с одной стороны, и совокупности индексальных и иконических знаков, с другой [44]. Символические знаки кодируют информацию по дискретному типу, а индексальные и иконические - и по аналоговому, и по дискретному. Значение символов услов-

но, а значение индексов и икон "естественно", поскольку выводится по аналогии структур означающего и референта [24]. Восприятие этих структур у животных может быть условно рефлекторным, когда означающее связано ассоциативной связью с референтом, или врожденным, как в случае инстинктивных релизеров; у человека оно дополняется социальной конвенцией [14].

Полифункциональность знака, по К. Бюлеру – способность знака выполнять хотя бы одну функцию: 1) символическую (по соотнесенности с референтами); 2) симптоматическую (в силу зависимости от отправителя); 3) сигнальную (по способности знака управлять поведением адресата). Взгляды К. Бюлера особенно интересны тем, что рассмотренные знаковые функции приписываются как человеку, так и млекопитающим [45].

Изучая формы поведения животных, приобретенные в онтогенезе, необходимо различать понятия "информация" и "семиотическая информация". Знаковое сообщение обладает признаком коннотативности: способность к образованию сопутствующих значений при восприятии внешней среды - свойство живых организмов, обладающих памятью и избирательным реагированием. "Просто" информация, в отличие от семиотической информации, может быть принята неодушевленным механизмом, настроенным соответствующим образом. Инстинктивные же стимулы, или релизеры, воспринятые в соответственном поведенческом контексте, не порождают ничего нового, кроме тех значений, которые заложены в геноме, определены, говоря семиотическим языком, кодовыми правилами. При описании приобретенных поведенческих реакций можно пользоваться понятием "сообщение" без принятия границ кода для передающей стороны. Если в самом сообщении нет указаний на то, каким именно кодом пользовался адресант, значение сообщения может быть понято, исходя из "внутреннего контекста сообщения" или из "общей коммуникативной ситуации" [13, с.48, 70-73].

Исследования по методике сигнального поля позволяют выявить особенности основ-

ных видов языковой деятельности — комбинации и селекции. Появляется возможность характеризовать сообщение по его влиянию на сохранение или перемену типов активности реципиентов знаковой информации, уточнять привилегированное значение текста. Поведенческие стереотипы, адекватность среды намерениям особи, обеспечивают синтагматический способ организации сигнального поля, или последовательную знаковую цепь. Смещение доминантного типа поведения, появление субдоминантной активности соотносятся с парадигматическим способом организации поля. Иными словами, знаковые комбинации поддерживаются линейностью (синтагмы) и выбором из возможностей (парадигмы). Исследование связности отрезков текста, или синтагматический анализ знаковой цепи, требует знания поведенческих стереотипов изучаемого вида животных (этограмм). Парадигматический анализ сигнального поля ориентирован на изучение предпочитаемых объектов. Исследование селекции, то есть выбора из возможностей, определяет, однотипное или новое сообщение получено реципиентом. Так, превышение порога встречаемости следов лисиц побуждает куниц изменить способ передвижения. Зверьки начинают двигаться по деревьям, чтобы избежать встречи с нежелательными знаковыми объектами [1, с.47].

Экологический семиозис — это процесс, энергетическое явление, адаптационный механизм, обеспечивающий взаимодействие особи или более крупной живой системы с внешней по отношению к этой системе средой. Понятия "знак", "сигнал" используются для того, чтобы показать относительный, релятивистский характер соотнесения означающего преимущественно с внешней средой, а означаемого — с внутренним, субъективным миром особи, и, по возможности, учитывать их единство в конкретных исследованиях. Главная трудность зоосемиотических исследований состоит в том, что, интересуясь означаемым знака, исследователь не имеет иного пути к нему, как только через означающее.

Семиозис можно описать через параметры биологического сигнального поля. Инди-

видуальная, групповая или видоспецифическая совокупность знаков условно соотносится с величиной сигнального поля. Значение текста для одной особи (популяции, внутрипопуляционной группы, вида) можно сравнить со значением текста для другого живого объекта с помощью параметра "анизотропность". Смысловые, или ценностные различия текста для разных живых объектов можно измерить с помощью параметра "напряженность".

Обычно о "семиозисе" говорят как о реальном энергетическом явлении, а о "знаке" — как о модели этого явления. Представления о знаке как о модели, обобщающей функциональные свойства данного предмета или явления, не противоречат представлениям о знаке как о реальности, поскольку механизмы психики как раз и заключаются в построении функциональных моделей действительности, в том числе научных. Разделение на "реальность" и "моделирование реальности" базируется на отрицании того факта, что научный дискурс уже предполагает языковое моделирование действительности.

Заключение

Теория сигнального поля млекопитающих предполагает возможность построения прагматически ориентированной семиотической системы. Поскольку предметы или явления внешнего мира могут соответствовать или не соответствовать ожиданиям мотивированных животных, взаимодействие особей с внешней средой выступает структурированной системой значений, которую можно исследовать через изучение двигательных реакций, соотнесенных с избирательно воспринятыми внешними объектами. Научный дискурс по описанию поведения животных — это языковое явление, зависящее от изменения и перестройки собственной структуры, прежде всего, от примененного понятийного набора.

Встает проблема поиска смысловых соответствий между организацией сигнального поля животных и языковых систем человека. У животных семантические поля приложения знаковой информации и пределы

приобретенного в онтогенезе поведения определены инстинктивно. У человека обмен информацией через среду обитания происходит принципиально иным способом, чем у животных. Информационные процессы людей базируются на определении границ приложения кодовых правил, принятых в данной социальной группе, уточнении уместности контекста, выявлении норм однозначной референции и поливариантных способов обозначения.

Хочется завершить эту статью словами Клода Леви-Строса: "Для того, чтобы разработать теорию информации, было необходимо, чтобы открыли, что универсум информации – это часть или аспект естественного мира. Но надежность перехода от законов природы к законам однажды засвидетельствованной информации подразумевает и надежность обратного перехода, что уже тысячелетия позволяет людям приблизиться к законам природы на путях информации" [29, с.326].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мозговой Д.П., Розенберг Г.С.* Сигнальное биологическое поле млекопитающих: теория и практика полевых исследований. Самара: Самарск. ун-т, 1992.
2. *Мозговой Д.П., Розенберг Г.С., Владимирова Э.Д.* Информационные поля и поведение млекопитающих. Самара: Самарск. ун-т, 1998.
3. *Владимирова Э.Д.* Описание информационно-коммуникативных процессов в экосистемах с использованием семиотической терминологии // Вестник Самарск. ун-та. Естественнаучн. серия. 2001. №2(20).
4. *Владимирова Э.Д., Мозговой Д.П.* Коммуникации млекопитающих: эколого-семиотический подход // Природа человека: междисциплинарный синтез. Материалы межвузовской конференции. СПб.: Институт биол. и психол. человека, 2002.
5. *Яблоков А.В.* Популяционная биология. М.: Высш. шк.
6. *Флинт В.Е.* Пространственная структура популяций мелких млекопитающих. М.: Наука, 1977.
7. *Шварц С.С.* Экологические закономерности эволюции. М.: Наука, 1980.
8. *Джиллер П.* Структура сообществ и экологическая ниша. М.: Мир, 1988.
9. *Гиляров А.М.* Популяционная экология. М.: Моск. ун-т, 1990.
10. *Шилов И.А.* Эколого-физиологические основы популяционных отношений у животных. М.: Моск. ун-т, 1977.
11. *Encyclopedia of Semiotics.* Editor in Chief Paul Bouissac. Oxford University Press, New York, 1998.
12. *Simpkins S.* Critical Semiotics, 1996. Web site: <http://www.chass.utoronto.ca/eps/srb/cyber/simout.html>.
13. *Эко У.* Отсутствующая структура: введение в семиологию. М.: Петрополис, 1998.
14. *Степанов Ю.С.* Семиотика. М.: Наука, 1971.
15. Семиотика. Сборник статей / Под ред. Ю.С. Степанова. М.: Радуга, 1983.
16. *Левич А.П.* Семиотические структуры в экологии, или существует ли экологический код? // Человек и биосфера. М.: МГУ, 1983. №8.
17. *Kull K.* Semiotic Paradigm in Theoretical Biology // Kull K., Tiivel T. Lectures in Theoretical Biology: The Second Stage. Tallin: Estonian Academy of Sciens. 1993.
18. *Барт Р.* Основы семиологии // Структурализм: "за" и "против". М.: Прогресс, 1975.
19. *Ильин И.П.* Постструктурализм. Деконструктивизм. Постмодернизм. М.: Интрада, 1996.
20. *Лотман Ю.М.* К современному понятию текста // Семиотика культуры. Архангельск, 1988.
21. *Моррис Ч. С.* Основания теории знаков // Семиотика. М.: Радуга, 1983.
22. *Моррис Ч. С.* Значение и означивание // Семиотика. М.: Радуга, 1983.
23. *Thibault P.J.* Re-reading Saussure. The dynamics of signs in social life. London and New York: Routledge, 1996.
24. *Пирс Ч.С.* Логические основания теории знаков. СПб.: Алтейя, 2000.
25. *Соссюр Ф.* Курс общей лингвистики // Труды по языкознанию. М.: Прогресс, 1977.

26. *Sebeok T.A.* Perspectives in Zoosemiotics. The Hague: Mouton, 1972.
27. *Sebeok T.A.* Contributions to the Doctrine of Signs. Bloomington, Indiana University Press, 1976.
28. *Sebeok T.A.* Biosemiotics: Its Roots, Proliferation, and Prospects. In: *Semiotica*, 2001. Vol.134(1/4).
29. *Леви-Строс К.* Первобытное мышление. М.: Терра-Книжный клуб, 1999.
30. *Kull K.* Copy versus translate, meme versus sign: development of biological textuality // *European Journal for Semiotic Studies*. 2000, №12(1).
31. *Kull K.* On Semiosis, Umwelt, and Semiosphere. In: *Semiotica*, 1998. Vol.120 (3/4).
32. *Kull K.* Semiotic ecology: different natures in the semiosphere // *Sign Systems Studies*. Tartu: University Press, 1998. №26.
33. *Менеджел М., Кларк К.* Динамические модели в экологии поведения. М.: Мир, 1992.
34. *Eco U.* A Theory of Semiotics. Bloomington, London, Indiana University Press, 1976.
35. *Кёлер В.* Некоторые задачи гештальтпсихологии // *Хрестоматия по истории психологии*. М.: Высшая школа, 1980.
36. *Uexkull J.* An introduction to Umwelt. In: *Semiotica*, 2001. Vol.134(1/4).
37. *Хайнд Р.* Поведение животных. Синтез этологии и сравнительной психологии. М.: Мир, 1975.
38. *McFarland D., Houston A.I.* Quantitative Ethology: The State Space Approach. London: Pitman Books, 1981.
39. *Никитин М.В.* Предел семиотики // *Вопр. языкознания*. 1997. №1.
40. *Лотман Ю.М.* О каузальных связях в семиотическом ряду // *Семиотика культуры*. Архангельск, 1988.
41. *Булыгина Т.В.* Особенности структурной организации языка как знаковой системы и методы её исследования // *Язык как знаковая система особого рода*. М.: Наука, 1967.
42. *Левин К.* Теория поля в социальных науках. СПб.: Речь, 2000.
43. *Osgood C., Suci G., Tannenbaum P.* The Measurement of Meaning. Urbana: University of Illinois Press, 1957.
44. *Симкин Г.Н.* Современные проблемы зоосемиотики // *Групповое поведение животных*. М.: Наука, 1976.
45. *Бюлер К.* Теория языка. Репрезентативная функция языка. М.: Прогресс, 2000.

SEMIOTIC MODELING IN ANIMAL ECOLOGY

© 2002 E.D. Vladimirova

Samara State University

This paper's subject is the description of the informative processes in terms of semiotics. We have been interested in information, received by animals through their habitat characteristics without any direct visual contacts with their kind. The signal field technique allows to split up the continuous information flow into quanta in which signifiers correlate with signified meanings. Since outer world phenomena may or may not correspond to the expectations of motivated animals, individuals' sign interaction with their outer environment serves as a structured system of meanings, and the scientific discourse including this interaction character description by a researcher is a social linguistic phenomenon which depends on its own structural change and reconstruction. The determining relations are set as "text", "context", "sign", "sign system", "semiosis", "motivation", "continuum of behaviour", "signified", "signifier", "message", "information", "adaptation", "meaning". Semiotic notions can be used in ecological modeling.

СИГНАЛЬНЫЕ ПОЛЯ И ПОВЕДЕНИЕ ЖИВОТНЫХ В СИГНАЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ

© 2002 Д.П. Мозговой, Э.Д. Владимирова

Самарский государственный университет

Статья посвящена экологическим проблемам поведения млекопитающих, которое базируется на информации, полученной животными через характеристики среды обитания. Элементы движения, поведенческие реакции одинаковой мотивации и параметры сигнального поля, представляющего собой сигнально-информационную среду животного, могут иметь числовое выражение и поддаются расчётам в зависимости от задач исследования. Формализация активности млекопитающих в знаковой среде предполагает комплексный учет трех параметров – формы, интенсивности и длительности поведения.

Введение

Разработка методики комплексных исследований, в ходе которых изучаются поведенческие реакции животных в связи с оценкой состояния среды их обитания – серьезная задача современной популяционной экологии. Объектами наблюдений были мелкие хищные млекопитающие, обитающие в Среднем Поволжье. Теоретическим обоснованием работы послужили представления о биологическом сигнальном поле, которое представляет собой модель информационно-коммуникативного взаимодействия животных и внешней среды [1-3].

Информация, которую извлекают животные из характеристик среды обитания при их естественной активности в природных условиях, может быть представлена в трёх аспектах, соответствующих параметрам сигнального поля. Синтаксическая составляющая информации определена, прежде всего, особенностями самой среды, внешней по отношению к особи; семантическая составляющая информации связана со степенью соответствия сигналов среды ожиданиям мотивированного животного; прагматическая составляющая информации отражает только внутреннее состояние особи. Три параметра сигнального поля – величина, анизотропность и напряженность – и, соответственно, три составляющие информации – код, значение и ценность, могут характеризовать три стадии совмещения внешней реальности с "внут-

ренними" психическими процессами особи, её мотивацией. Если количественно выразить параметры поля особи, то можно проследить индивидуальные особенности прохождения трех стадий процесса интериоризации – превращения внешней реальности во внутренний образ.

Язык обладает свойством "двойственности": он представляет собой знаковую систему, в которой означаемому соответствует означаемое. Сигналу "языка животных", закодированному в каком-то физико-химическом объекте или событии, соответствует значение этого сигнала, которое можно понять через ответную двигательную активность животных. Более того, один и тот же объект в сигнальном отношении может быть мультифункционален, так же как один и тот же сигнал может быть заключен в разных объектах среды. Показателем значения здесь выступает ответное поведение.

Для характеристики поведения животных в сигнальном поле можно использовать тот же полевой материал, на котором, при другом способе обработки, основывается изучение сигнальных полей как информационных систем. В зависимости от поставленной задачи можно исследовать форму поведения, нагруженность поведения "элементарными" двигательными реакциями, продолжительность однотипных поведенческих блоков, их повторяемость, индуцирование той или иной формы поведения внешними сигнальными

объектами, порог воздействия сигналов, изменяющий доминантную форму поведения. Общая характеристика поведения должна включать в себя эти элементы и связи между ними. Как дать этому процессу количественную оценку, свободную от интуитивных представлений?

До сих пор остается нерешенной задача комплексного анализа суточной активности млекопитающих, даже для самых обычных видов, обитающих в естественных условиях в Средней полосе России. Не исследовался информационный компонент поведения животных во внешней среде. Сложно построить схему такого исследования, так как наблюдаемое поведение особи какого-либо вида млекопитающих, в каких бы показателях оно не выражалось, является следствием интеграции по меньшей мере трех составляющих: сигналов среды, мотивации и поведенческого контекста. Мотивация складывается из физиологических потребностей животного — голода, жажды, потребности в отдыхе, репродуктивных потребностей. Кроме того, на мотивацию влияет эмоциональное состояние. Поведенческий контекст уже осуществляемого поведения тоже достаточно сложен по своим структурным составляющим. Он включает в себя стимуляцию поведения подобным ему поведением, что продлевает выполняемый поведенческий акт. В этом случае сигналы внешней среды, детерминирующие другой тип активности, не могут вызывать смещения доминантного поведения, если только они не достаточно сильны для того, чтобы нейтрализовать действие стимулирующего эффекта. Внешние сигналы могут привести к появлению нового поведения как дополнения к основному, в качестве субдоминантной активности. Это интереснейшее явление усложняется так называемым "принципом разделения времени", который описал Д. Мак-Фарленд [4]. Можно высказать множество предположений о причинах организации поведения по принципу разделения времени. Наиболее аргументированной представляется следующая гипотеза: длительное осуществление только одной формы поведения требует большого напряжения нервной

системы и, следовательно, энергетически невыгодно. Поэтому можно наблюдать "текучесть" внимания животного, максимально выраженную у низко организованных по типу нервной деятельности видов, проявляющуюся в появлении субдоминантной активности.

Элементы, слагающие структуру поведения

Сигнальное поле представляет собой информационную систему. Поведение животного в сигнальном поле системе носит комплексный характер. Знаковую деятельность животных следует рассматривать, прежде всего, как некое функционально организованное целое. Исследование поведения должно отражать функциональные взаимодействия между слагающими его элементами. Этими элементами, по нашему мнению, выступают форма поведения, его интенсивность и длительность. Уточним, что в данном контексте речь идет не об отрезках поведенческого континуума различной протяженности, а об элементах поведения как слагаемых характеристиках активности, влияющих на структуру и динамику этого сложно обусловленного системного процесса.

Информацию можно представить в экстенсивном (пространственном) и интенсивном (временном) аспектах. Пространственный аспект информационного поля выражается параметром "величина поля", временной — параметром "напряженность поля" [2, с.17-19]. Поведение животных в сигнальном поле также имеет экстенсивный и интенсивный аспекты. Первый описывается формой отдельных поведенческих реакций в процессе двигательной активности особей в ответ на воздействие сигнальных объектов и событий среды, воспринятых животными, второй — количеством движений, складывающих данную активность.

Пространственная структурированность поведения связана, прежде всего, с влиянием на поведение внешнего стимула. Временная структурированность зависит как от степени мотивации, определяющей ценность отдельных сигнальных объектов, так и от

врожденной или ситуативной эмоциональности особи. Длительность поведения определенной формы связана с поведенческим контекстом, стимуляцией поведения самим процессом его осуществления, принципом разделения времени, сигналами внешней среды. Регистрация смены форм поведения и длительности их осуществления позволяет охарактеризовать фазовую структурированность поведения.

При изучении поведения нужно уметь отделить поведенческий ответ на собственно внешние сигналы от поведения, связанного с мотивацией и инертностью поведенческого контекста. В ряде случаев это можно сделать однозначно. По нашему мнению, показателем интенсивности мотивационного воздействия на поведение является его темп, измеряемый числом элементарных двигательных реакций, формирующих данное поведение, за фиксированную единицу времени. Показателем воздействия контекста на поведение выступает продолжительность доминантной формы активности. Эта активность сопровождается восприятием соответствующих сигналов среды и измеряется числом воспринятых особью объектов и событий среды, обладающих одинаковым сигнальным значением.

Мотивацию определяют физиологические потребности организма - метаболизм, стремление к гомеостазу. Особенности физиологии высшей нервной деятельности тоже оказывают влияние на характеристики поведения особи. Приведем пример. Мотивация голода вызывает доминантную форму поведения - поисково-пищевую. В природе часто можно наблюдать ситуацию, когда при насыщении особи и удовлетворении мотивации доминантное поисково-пищевое поведение, тем не менее, продолжается. Здесь сказывается действие инертности, "вязкости" поведенческого контекста. Текущее и непостоянство внимания особи отражается "разделением времени" между доминантной и субдоминантной формами активности. При длительно действующей мотивации внимание животных всегда периодически "перескакивает" на сигналы, вызывающие различные формы

субдоминантной активности.

Как видно из изложенного, поведение животного включает в себя три структурных параметра, соответствующие параметрам сигнального поля, в котором оно осуществляется. Экстенсивность поведения, или широта поведенческого репертуара, внешне проявляется в многообразии поведенческих актов в ответ на воздействие стимульных объектов среды. Длительность поведения характеризуется особенностями смены и повторения доминантных и субдоминантных форм активности. Интенсивность поведения выражается через его темп, который может быть измерен числом элементарных двигательных реакций, составляющих данное поведение.

Невозможно понять закономерности поведения и описать его особенности без разделения на естественные параметры - форму, интенсивность и длительность. Нужно только не забывать, что такое разделение условно, так как поведение - целостный процесс, результирующий совместного действия системных элементов.

Форма поведения (экстенсивность)

Разнообразие поведенческих актов, проявляемое животными в процессе суточной активности, может выступать мерой пространственного аспекта поведения, или его экстенсивности. Поскольку проследить суточную активность особи по следам достаточно сложно, как правило, это разнообразие учитывается в пересчете на единицу "собственного" времени. "Собственное" время равно такому временному периоду, в процессе которого особь проходит эталонную длину маршрута, совершая при этом число элементарных движений, заранее определенное исследователем [2, с.57-73; 5, с.179]. Суммарная экстенсивность, или вариативность поведения предполагает описание последовательного ряда форм поведения, реализованного в ответ на воздействие сигналов информационного поля.

В ряде случаев сигналы индуцируют тот или иной поведенческий ответ. На особь, движущуюся в сигнальном поле, действует

непрерывный поток разнообразных стимулов внешней среды. Различные формы поведения соотносятся с восприятием разных по значению объектов внешней среды как физических носителей сигнальной информации. Избирательное восприятие зависит от интенсивности физических характеристик стимулов, мотивации особи и контекста осуществляемого ею поведения. Эти сигнальные объекты можно сгруппировать в классы, в зависимости от осуществления той или иной потребности особей:

- а) территориальные ориентиры;
- б) объекты, связанные с обеспечением безопасности особи. Для лисицы, например, информацию такого рода несут элементы рельефа, позволяющие этому зверьку быть незаметным при передвижении, для куницы – деревья, для горностая – заросли, завалы растительности;
- в) сигналы внутривидовой коммуникации, информирующие особь о состоянии популяции;
- г) межвидовые коммуникативные сигналы о потенциальных "врагах", которыми, например, оказываются лисица и енотовидная собака для кунных;
- д) межвидовые коммуникативные сигналы о видах, несущих информацию о среде. Для лисицы это следы деятельности куницы, лося, косули, кабана. Подобные сигналы вызывают, как правило, исследовательское и поисковое поведение;
- е) сигналы, вызывающие поиско-пищевое и пищевое поведение. Сигнальную информацию такого рода для мелких хищных млекопитающих несут грызуны и следы их деятельности;
- ж) сигналы, инициирующие охотничье поведение. Для лисицы - это следы зайца, норки;
- з) пассивно-оборонительные и ориентировочно-оборонительные сигналы. Для хищных млекопитающих - это люди и свежие следы их деятельности, лай собак, звук выстрела;
- и) сигналы, вызывающие исследовательское поведение. В ходе активности горностая такое поведение вызывают трещины

во льду, пустоледки. Для лисицы, как вида с возрастающей в настоящее время синантропностью, исследовательское поведение вызывают следы деятельности людей.

Изучая сигналы, инициирующие ту или иную форму поведения, необходимо учитывать вероятностный характер этой зависимости. В силу мультифункциональности, некоторые сигналы способны начать целый ряд форм поведения. Поэтому целесообразно, для наиболее часто встречающихся сигналов, составить классы стереотипных поведенческих ответов, инициируемых данными сигналами. Так, при анализе суточной активности разных особей лисицы было выявлено, что коммуникативное поведение может быть вызвано 15 сигнальными объектами. Третью часть из них, которая встречается у всех особей, наиболее вероятно вызывает именно данный тип поведения. Остальные сигналы могут вызывать иные формы поведения, в зависимости от поведенческого контекста.

Информационное значение сигнала, в общем случае, зависит от общего контекста ситуации. Положительное значение сигналов заключается в соответствии сигналов определенного рода ожиданиям мотивированных животных и выражается в том, что животные активно разыскивают сигналы такой природы, предпочитают их другим сигналам. Особи обнаруживают сигналы данного класса даже в тех случаях, когда они мало заметны по своим физическим характеристикам. В свою очередь, многократно воспринятый сигнал отрицательного значения (или однократный, но интенсивный) способен функционально реорганизовать поведенческий континуум.

Как правило, доминантная форма поведения у животных не развёртывается в линейной и непрерывной последовательности, а прерывается иными формами поведения или их фрагментами. Структура поведения, представленная в виде сетевой этограммы, будет складываться, наряду с приоритетными последовательностями, из параллельных и разветвленных цепей субдоминантных форм поведения. Поведенческая активность особи, находящейся в спокойном состоянии,

отличается от активности, осуществленной на фоне различных внешних возмущений. Так, доминантная форма активности, при нормально протекающем поиско-пищевом поведении, может продолжаться долго, перемежаясь различными субдоминантными формами поведения. Этограмма отразит в данном случае разветвлённую цепь. Иную картину покажет этограмма поисково-пищевого поведения потревоженной особи. Параллельно основной активности будет разворачиваться ориентировочно-оборонительное и пассивно-оборонительное поведение.

Наблюдая коммуникативные реакции особей при прямом контакте, поведенческий континуум сложно структурировать, для этого нужно иметь запись поведения на киноплёнку. Анализируя поведенческую активность, зафиксированную в следах на снегу, поток поведения достаточно легко разделить на отдельные отрезки. Кроме того, использование следовой дорожки позволяет привести к одной форме выражения как непосредственные коммуникативные реакции животных, так и коммуникации, осуществленные через изменение совместной среды обитания. Это особенно важно для изучения совместных адаптаций тех видов животных, которые ведут преимущественно скрытный образ жизни, редко вступая в непосредственные контакты. При этом учитывается способность среды обитания к накоплению и хранению знаковой информации.

В естественных условиях трудно определить модальность сигнала, вызвавшего то или иное ответное поведение. Эта модальность может быть звуковой, химической, визуальной, тактильной. Поскольку все способы восприятия сигнала животным взаимосвязаны, нет смысла проводить всякий раз дискретный анализ модальности воспринятого сигнала. Определение модальности сигнала оправдано только в том случае, когда изучается дальное действие того или иного анализатора. Во всех остальных случаях комплексное воздействие сигнала определяется по ответной двигательной реакции животного или по ответному поведению в целом. Воздействие сигналов на особь определяет-

ся косвенно, через восприятие объектов и событий среды как носителей сигналов.

Что может дать изучение экстенсивной характеристики поведения? Данный параметр поведения позволяет выявить репертуар взаимодействия особи и среды обитания, вариативность поведенческих ответов на восприятие среды обитания. Более высокие показатели параметра "величина сигнального поля", выявленные для отдельной особи, как правило, соотносятся с большим разнообразием реализованных форм поведения. Некоторые сигналы коммуникативной природы, ранее оставленные особью в среде, преимущественно вызывают у животных данного вида подражательные реакции. В ряде случаев реципиенты копируют сигнал, воспринятый при коммуникации, иногда они "отвечают" иной формой поведения. Можно составить "словарь" коммуникативных сигналов и ранжировать их по степени значимости для животных. Исследователь может наблюдать аккумуляцию, хранение и движение информации, обеспечивающей совместное функционирование группы животных.

Итак, экстенсивность поведения, отражающая воздействие среды, описывается через связь разнообразия форм поведения с разнообразием сигналов среды, представленным в сигнальном поле объектами или событиями, несущими соответствующий сигнал. Разнообразие поведенческого репертуара коррелирует с разнообразием воспринятых объектов среды.

Интенсивность поведения. Длительность однотипной поведенческой активности. Фазовая структурированность поведения

Анализ понятия "время" в современной биологии привел к пониманию сущностного различия физического времени неживых объектов и необратимого времени жизни биологических объектов. Промежутки биологического времени "связаны с внутренним ритмом системы" [6], поэтому их следует определять через параметры, "набор которых составляет какой-либо событийный комплекс" самой живой системы [7].

Из этого следует, что при построении научной схемы, описывающей поведение, следует отдавать приоритет взаимодействию параметров, составляющих само поведение животного, а не основываться на поиске причинно-следственных отношений между факторами среды и внутренними процессами живой системы, как если бы это были равнозначные по ценности параметры. Основой этологического метода, базирующегося на понятии "собственного" времени биологической системы, выступает изучение взаимозависимых параметров, характеризующих поведение особи.

Структура знаковых систем ограничивается областями синтактики и семантики, функционирование связано с прагматикой. Изучая функционирование сигнальных систем, необходимо найти способы варьирования ценности информации посредством взаимных вариаций кода и значения. Если мы хотим сравнить поведение особей разных видов животных по параметру "интенсивность", то мы должны добиться соответствия масштабов пространства и времени. Сравнительная характеристика временной компоненты поведения разных живых объектов требует нахождения общего пространственного знаменателя. Аналогично, сравнение пространственных аспектов поведения разных особей или видов животных должно сопровождаться приведением параметров их поведения к общим временным показателям. Это достигается применением параметра "эквивалентная дистанция".

Эквивалентная дистанция – расстояние в метрах, при прохождении которого изучаемый объект совершает фиксированное число элементарных двигательных реакций, или драйвов. Эта характеристика позволяет учесть реальный вклад особи или группы особей в изменение среды своего существования, позволяет дать количественное выражение "информационной экспансии" изучаемого объекта. Приведение параметров поля к эквивалентной дистанции позволяет получать сравнимые числовые выражения параметров поля для животных, обладающих различными размерами тела и различным тем-

пом жизненных процессов. Эквивалентные дистанции разных видов, используемые при определении группового сигнального поля, равны по количеству драйвов, реализованных при их прохождении, то есть равны по напряженности.

Данный параметр позволяет теоретически обосновать единицу измерения продолжительности наблюдения за животными, причем эта единица может быть меньшей, чем суточная протяженность маршрута, но оставаться при этом "объективной". Это значит, что выраженная в числовой форме продолжительность наблюдения за поведением (как значимый показатель этологической научной схемы) должна определяться потребностями комплексного теоретического подхода, а не волюнтаристским решением исследователя. При определении эквивалентной протяженности маршрута, которую можно использовать в качестве "общего знаменателя" при сравнении разных видов животных, следует учитывать доминантную форму поведения, поскольку темп активности различается при разных формах поведения. Интенсивность поведения, как временной параметр, будет разной при разных пространственных параметрах поведения, то есть при разных его формах. Например, числовые выражения интенсивности поиска пищи, активной или пассивной обороны, ухода от опасности, перехода на другой участок, обхода индивидуального участка, существенно различаются.

Интенсивность проявления определенных форм поведения может быть связана не с внешним воздействием объектов среды, а с восприятием сигналов, в основе которых лежит эндогенная временная цикличность, вызванная протеканием физиологических процессов организма. Поэтому, анализируя временную структурированность поведения, следует учитывать период суточной активности изучаемой особи.

В ряде случаев одновременно развиваются мотивации к двум несовместимым типам поведения. Тогда мотивация к незавершенному поведенческому акту сохраняется дольше. По следам животных исследователь может наблюдать "суетливые" двигательные

акты, учащенные "шаги поиска", которые легко объединяются в дискретные группы. Поведение такого рода периодически прерывается включением фрагментов субдоминантных поведенческих форм.

При описании поведения в информационной среде необходимо учитывать инерционность поведенческой активности, особенно при смене форм поведения. Поскольку в живой природе быстрой смены "одних синхронизованных состояний другими" не может происходить, "должны наблюдаться переходные процессы, обуславливающие временное нарушение резонансных соотношений" [8]. Наши исследования показали, что интенсивное доминантное поведение периодически сменяется субдоминантными формами, для которых характерна меньшая интенсивность.

Ухудшение условий существования популяций мелких млекопитающих приводит к повышению численности самок и уменьшению размеров особей. Это ведет к увеличению параметра "интенсивность поведения" для популяции в целом, сопровождаясь ускорению информационных обменов как внутри системы, так и со средой обитания. "Собственное" характерное время популяции при таких условиях резко возрастает, конкурентные отношения внутри популяции растут, что приводит к более выраженным коммуникативным и маркировочным реакциям. В результате достигается осуществление территориальной структурированности популяции.

В процессе доминантной активности животные целенаправленно разыскивают сигнальные объекты, стимулирующие данную форму поведения. Суммарное воздействие сигналов внешней среды, достигая уровня порогового воздействия, способно изменить доминантный тип поведения или ландшафтную зону осуществления активности. Особый интерес представляют в этом отношении сигналы внутри- и межвидовой коммуникации и сигналы антропогенной природы. Так, реакция куницы на свежий след лисы сопровождается изменением типа поведения: фаза коммуникативного поведения заверша-

ется, ей на смену приходит фаза пассивно-оборонительного поведения [9]. Дорожки, "свежие" следы лыжников и пешеходов, следы собак, воспринятые дикими животными в качестве сигналов, приводят к появлению оборонительных форм поведения, а также к миграции животных в пределах участка обитания. Измерение длительности однотипного поведения позволяет дать числовое выражение порогу информационного воздействия сигнала, после которого ответное поведение качественно меняется, замещается другим типом поведения. Знак, изменяющий поведение особи, воспринявшей знак, мы, вслед за К. Бюлером, называем сигналом.

Фазовая структурированность поведения описывается через регистрацию продолжительности фаз однотипной поведенческой активности. Эта третья составляющая поведения также определяется тремя факторами: поведенческим контекстом, эффектом стимуляции поведения самим осуществлением поведения этого типа и сигналами внешней среды.

Е.Н. Панов пишет, что животные способны "реагировать на длинные ряды сигналов, как бы аккумулируя предшествующие события. Акцент переносится с анализа одиночного сигнала на анализ их длительных последовательностей. В этой связи особую важность приобретает исследование повторяемости сигналов и изучение роли избыточности как фактора обеспечения надежности трансляции" [10]. В теории сигнального поля "повторяемость сигналов", на которую указывает Е.Н. Панов, измеряют через регистрацию параметра "анизотропность". Очевидно, что этот параметр сигнального поля соотносится с длительностью поведенческой активности.

Заключение

Сигнальное биологическое поле – единая информационная система, структура которой складывается из функциональных блоков – параметров поля. Эти параметры – величина, напряженность и анизотропность. Поведение животных в информационной

среде тоже должно исследоваться через регистрацию трех показателей – параметров поведения. Это - экстенсивность (вариативность поведенческих форм в процессе суточной активности, репертуар реакций при восприятии аналогичных сигналов), интенсивность (темп, нагруженность восприятия сигнала двигательным ответом) и длительность (фазовая структурированность, тенденция к повторам однотипного поведения). Важно, что при изучении поведения животных в сигнальном поле, исследователь имеет возможность выразить в числовой форме и параметры поля, и характеристики поведения. При этом пространственному параметру сигнального поля – его величине – отвечает форма поведения, временному параметру поля – напряженности – отвечает темп поведенческой активности, и фазовому параметру поля – его анизотропности – отвечает длительность, или повторяемость различных форм поведения в течение суточной активности.

Это операциональный и, в значительной степени, формальный подход к описанию поведения. На его основе можно дать более глубокий анализ как отдельного поведенческого акта, так и их последовательностей в сигнальном поле. Такой анализ предполагает установление причин поведения, связанных с нейро-физиологическими механизмами, и требует введения соответствующих понятий: мотивация, эмоция, принцип разделения времени, самостимуляция поведения, поведенческий контекст.

Форма, интенсивность и длительность поведения, также, как и дополнительные характеристики – повторяемость доминантных или субдоминантных типов поведения, фазовая структурированность активности - в свою очередь, имеют двустороннюю связь и со средой, и с внутренним состоянием организма. Форма поведения в значительной степени определяется сигналами среды, темп поведенческой активности – мотивацией. Длительность поведенческих актов обуславливается, в первую очередь, контекстом, инерционностью поведения, степенью текущей внимательности животных.

Отыскание закономерностей поведения особей или биосоциальных групп в сигнально-информационной среде, представление этого сложного процесса в виде непрерывной цепи причин и следствий, интеграция всех факторов, в принципе поддающихся учету, может показаться трудноразрешимой задачей. В завершение статьи, посвященной знаковому поведению животных, приведем слова И.А. Бодуэна де Куртенэ, исследователя знаковых систем человека: "...Объяснение явлений составляет сущность стремления всех наук... Принимать возможность беспричинных явлений и в одно и то же время заниматься серьезной наукой невозможно последовательному уму" [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Наумов Н.П.* Биологические (сигнальные) поля и их значение в жизни млекопитающих // *Успехи современной териологии*. М.: Наука, 1977.
2. *Мозговой Д.П., Розенберг Г.С.* Сигнальное биологическое поле млекопитающих: теория и практика полевых исследований. Самара: Самарск. ун-т, 1992.
3. *Мозговой Д.П., Розенберг Г.С., Владимирова Э.Д.* Информационные поля и поведение млекопитающих. Самара: Самарск. ун-т, 1998.
4. *Мак-Фарленд Д.* Поведение животных. Психобиология, этология и эволюция. М.: Мир, 1988.
5. *Владимирова Э.Д., Мозговой Д.П.* Оценка межпопуляционных взаимодействий мелких хищных млекопитающих семиотическим методом // *Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ВНИИОЗ*. Киров: ВНИИОЗ, 2002.
6. *Игамбердиев А.У.* Время в биологических системах // *Журнал общей биологии*. Т.46. 1985. №4.
7. *Шрамм Ф.Р.* О релятивистско-квантовомеханическом подходе к эволюции // *Журнал общей биологии*. Т.41. М., 1980. Вып.4.

8. *Путилов А.А.* Системообразующая функция синхронизации в живой природе. Методологический очерк. Новосибирск: Наука, 1987.
9. *Мозговой Д.П.* Сигнальные биологические поля куниц в антропогенной среде // Экология и охрана животных. Куйбышев: КГУ, 1982.
10. *Ланов Е.Н.* Новые тенденции в изучении коммуникации животных // Поведение животных в сообществах. Т.2. М.: Наука.
11. *Бодуэн де Куртенэ И.А.* Избранные труды по общему языкознанию. М.: Наука, 1963. Т.1.

SIGNAL FIELDS AND ANIMAL BEHAVIOUR IN THE INFORMATIVE ENVIRONMENT

© 2002 D.P. Mozgovoy, E.D. Vladimirova

Samara State University

The article is devoted to the problems of animal behaviour based on information, received by them through their habitat characteristics without direct visual contacts with their kind. Movement elements, behavioral reactions of similar motivation and parameters of the signal field, which represents an animal signal-information environment, may have some numerical expression and can be calculated depending on the research tasks. Formalization of the animal activity presupposes a composite consideration of three parameters: the extensiveness, the intensity and the duration of the behaviour.

ЛИХЕНОИНДИКАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2002 Е.Ю. Кулябина¹, М.В. Сидоренко²

¹ Нижегородский государственный университет

² Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

На территории Нижегородской области за период с 1998 по 2001 гг. был проведен лихеноиндикационный мониторинг на основе методики Х.Х. Трасса [9]. Представлен видовой состав эпифитной лихенофлоры крупных промышленных центров Нижегородской области, а также наиболее распространенных типов леса условно фоновых районов, в том числе государственного природного заповедника (ГПЗ) "Керженский". Дана оценка антропогенного воздействия на количественные и качественные характеристики эпифитной лихенофлоры; проведен кластерный анализ на основе сходства видового состава. Рассчитаны индексы полеотолерантности (ИП), на основании значений которых дана характеристика экологической ситуации по степени загрязненности воздушного бассейна районов исследования, показана необходимость внесения поправок при расчете ИП на региональные условия.

Введение

Методы лихеноиндикации основаны на индивидуальной реакции видов лишайников к действию поллютантов атмосферы. Растянутая во времени ответная реакция данных организмов-биоиндикаторов даже на микродозы поллютантов, проявляющаяся в морфологических изменениях, смене видового состава, увеличении или уменьшении проективного покрытия, невысокая собственная изменчивость и распространенность обуславливают широкое использование их в качестве индикаторов состояния атмосферного воздуха. Результаты лихеноиндикационных исследований предоставляют интегральную оценку степени загрязненности воздушного бассейна за длительный промежуток времени и, таким образом, являются хорошим дополнением к санитарно-гигиенической оценке условий среды обитания.

Характеристика районов исследования

Нижегородская область расположена в восточной части центральной нечерноземной полосы России, вмещает в себя общие природные рубежи Русской равнины: геоморфологические, климатические, почвенно-растительные [1]. Река Волга делит Нижегородскую область на две части Левобережье и Правобережье, которые отличаются друг от

друга по природным и климатическим условиям. Климат Нижегородской области – умеренно континентальный, в Левобережье создаются условия избыточного увлажнения. Согласно современному ботанико-географическому районированию, Нижегородская область относится к подзонам южной тайги, хвойно-широколиственных (подтаежных) лесов, широколиственных лесов и лесостепи. Подзоны южной тайги и подтаежных лесов находятся в Левобережье, а широколиственных лесов и лесостепная в Правобережье [8].

По данным Верхне-Волжского управления гидрометеослужбы (ВВГУМС) за 2000 г. уровень загрязнения атмосферы в г. Н. Новгороде ($ИЗА_5 = 5,97$) является средним по России (5–8), приоритетными загрязнителями являются: бенз(а)пирен, взвешенные вещества, формальдегид, диоксид азота, бензол. В г. Дзержинске уровень загрязнения воздуха выше среднего по стране $ИЗА_5 = 8,29$, приоритетными загрязнителями являются: бенз(а)пирен, аммиак, формальдегид, взвешенные вещества, хлористый водород. В ГПЗ "Керженский" в 2000 г. показатель $ИЗА_4$ составил 1,67, т.е. степень загрязнения воздуха невысока и значительно ниже среднего уровня по стране. В суммарный показатель загрязнения атмосферы внесены: формальдегид, взвешенные вещества, диоксид азота, диоксид серы. Концентрации всех контролируемых веществ

не превысили ПДК [2]. По остальным пунктам исследования данных по загрязнению атмосферного воздуха нет в связи с отсутствием стационарных постов наблюдения за состоянием окружающей среды.

Материалы и методы исследования

Полевые исследования проводились по методике Х. Х. Трасса, основанной на закладке пробных площадей, на которых изучается видовой состав, оценивается проективное покрытие и встречаемость эпифитных лишайников (с 4-х сторон света по двум высотам 1,3 и 0,3 м) [9]. Пробные площади были заложены в лесных экосистемах Нижегородской области, характеризующихся различным уровнем антропогенной нагрузки: на территории ГПЗ "Керженский", в Пустынском заказнике, в окрестностях железнодорожной станции (ж. ст.) Кеза, а также в парке районного центра г. Чкаловска, в рекреационных зонах (парках) крупных промышленных центров Нижегородской области – в г. Н. Новгороде и г. Дзержинске. Видовой состав эпифитной лишайнофлоры зеленых насаждений улиц изучался в г. Чкаловске, в г. Н. Новгороде и г. Дзержинске вблизи стационарных постов наблюдения за состоянием окружающей среды (ВВГУМС). Для идентификации видовой принадлежности гербарных образцов использовали определители [11,12]. В ходе исследований была осуществлена трансплантация эпифитных лишайников из условно фоновых районов на антропогенно трансформированную территорию г. Н. Новгорода. Рассчитаны индексы видового сходства Сьеренсена–Чекановского (Ics), на основании значений которых проведен кластерный анализ [6]. При расчете ИП использовали региональную шкалу классов полеотолерантности лишайников. При расчете классового интервала c для значений ИП использовали формулу [3]:

$$c = [(x_{max} - x_{min}) \lg 2] / \lg N.$$

На основании значений (ИП) давали характеристику экологической ситуации по степени загрязненности воздушного бассейна.

Результаты и обсуждения

В ходе проведенных исследований на 49 пробных площадях, заложенных на территории Нижегородской области, было выявлено 88 видов эпифитных лишайников, относящихся к 39 родам, 14 семействам и 5 порядкам. Объемы таксонов принимаются по сводкам [10]. Кроме того, учитывался вид *Lepraria incana*, относящийся к несовершенным лишайникам (*Lichens imperfecti*).

На территории ГПЗ "Керженский" заложено 8 пробных площадей, обследованы следующие растительные ассоциации: сосняк лишайниковый, сосняк зеленомошно-лишайниковый, дубняк с березой и елью разнотравный, осинник разнотравный, березняк разнотравный. Выявлено 66 видов эпифитных лишайников (табл. 1), среди которых 38 видов произрастают на липе, 31 – на сосне, 29 – на осине, 22 – на дубе, 9 – на березе. Среди обнаруженных видов присутствуют как чувствительные, так и умеренно и высоко толерантные к атмосферному загрязнению. Однако встречаемость высоко толерантных видов невелика. Наиболее обильны умеренно и слабо толерантные виды (3–6 класс полеотолерантности). На сосне наибольшая частота встречаемости отмечена для *Hypogymnia physodes*, *Evernia mesomorpha*, *Usnea hirta*; на липе – для *H. physodes*, *E. mesomorpha*, на дубе – для *H. physodes*, *E. mesomorpha*, *Lepraria incana*, на осине – для *Parmelia sulcata*, *Physconia distorta*, *Lecanora allophana*, на березе – для *H. physodes*. На одной из пробных площадей, заложенной в липняке разнотравном, была обнаружена *Cetrelia olivetorum* – вид, являющийся индикатором ненарушенных экосистем, однако встречаемость и проективное покрытие данного вида невелики.

На территории Пустынского заказника было заложено 3 пробных площади: в сосняке лишайниковом, в сосняке зеленомошно-лишайниковом и липняке снытевом. Выявлено 44 вида эпифитных лишайников (табл.1), из них: 27 – обнаружено на сосне, 20 – на липе, 14 – на березе. Преобладают умеренно толерантные и сензетивные виды. Наибольшая частота встречаемости на сосне отмечена для *Pseudoevernia furfuracea*,

Таблица 1. Видовой состав эпифитной лишенофлоры пунктов исследования

№	Вид	Пункт исследования					
		1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8
1	<i>Anaptychia ciliaris</i> (L.) Körb.	+	+				
2	<i>Arthonia cinereopruinosa</i> Schaer.	+					
3	<i>A. exilis</i> (Flörke) Anzi					+	
4	<i>A. pruinata</i> (Pers.) A. L. Sm.	+					
5	<i>Bacidia circumspecta</i> (Nyl. ex. Vain.) Malme			+			
6	<i>B. rubella</i> (Hoffm.) A. Massal.	+					
7	<i>Biatora cf. vernalis</i> (L.) Fr.	+					
8	<i>Bryoria capillaris</i> (Ach.) Brodo & D. Hawksw.	+	+				
9	<i>B. implexa</i> (Hoffm.) Brodo & D. Hawksw.	+	+	+			
10	<i>B. fuscescens</i> (Gyeln.) Brodo & D. Hawksw.	+	+				
11	<i>Buellia arborea</i> Coppins & Tønsberg	+					
12	<i>B. disciformis</i> (Fr.) Mudd.	+					
13	<i>B. punctata</i> (Hoffm.) A. Massal.	+	+	+			
14	<i>Caloplaca holocarpa</i> (Hoffm. ex. Ach.) A. E. Wade	+	+		+	+	+
15	<i>Candellaria concolor</i> (Dicks.) Stein		+				+
16	<i>Candelariella vitellina</i> (Hoffm.) Müll. Arg.	+		+	+		
17	<i>Cetrelia olivetorum</i> (Nyl.) W. L. Culb. & C. F. Culb.	+					
18	<i>Cladonia bacilliformis</i> (Nyl.) Glück		+				
19	<i>C. cenotea</i> (Ach.) Schaer.	+	+				
20	<i>C. coniocrea</i> (Flörke) Spreng	+	+		+		+
21	<i>C. cornuta</i> (L.) Hoffm.	+	+				
22	<i>C. digitata</i> (L.) Hoffm.	+	+				
23	<i>C. ochrochlora</i> Flörke	+	+				
24	<i>C. pyxidata</i> (L.) Hoffm.		+				
25	<i>Cliostomum corrugatum</i> (Ach. Fr.) Fr.	+					
26	<i>C. griffithii</i> (Sm.) Coppins in D. Hawksw. et. al.	+					
27	<i>Evernia mesomorpha</i> Nyl.	+	+	+			+
28	<i>E. prunastri</i> (L.) Ach.	+	+	+	+		
29	<i>Graphis scripta</i> (L.) Ach.	+	+				
30	<i>Heterodermia speciosa</i> (Wulfen in Jacq.) Trevis.		+				
31	<i>Hypocenomyce scalaris</i> (Ach.) M. Choisy	+	+	+		+	+
32	<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	+	+	+	+	+	+
33	<i>Imshaugia aleurites</i> (Ach.) S. L. F. Meyer	+	+				
34	<i>Lecanora allophana</i> Nyl.	+	+	+			
35	<i>L. argentata</i> (Ach.) Malme	+					
36	<i>L. chlarotera</i> Nyl.	+		+			
37	<i>L. expallens</i> Ach.	+					
38	<i>L. intumescens</i> (Rebent.) Rabenh.	+	+	+			
39	<i>L. leptyrodes</i> (Nyl.) Degel.	+					
40	<i>L. persimilis</i> (Th. Fr.) Nyl.	+					
41	<i>Lecanora piniperda</i> Körb.	+		+	+		
42	<i>L. populicola</i> (DC. in Lam. & DC.) Duby	+					
43	<i>L. saligna</i> (Schrad.) Zahlbr.	+					

Продолжение табл.1

1	2	3	4	4	5	6	7
44	<i>L. sambuci</i> (Pers.) Nyl.	+	+				
45	<i>L. sarcopisoides</i> (A. Massal.) A. L. Sm.		+				
46	<i>L. cf. subintricata</i> (Nyl.) Th. Fr.					+	+
47	<i>L. symmicta</i> (Ach.) Ach.	+		+			
48	<i>L. varia</i> (Hoffm.) Ach.					+	+
49	<i>Lecidella euphorea</i> (Flörke) Hertel in Hawksw.	+					
50	<i>Lepraria incana</i> (L.) Ach.	+		+			
51	<i>Melanelia exasperata</i> (De Not.) Essl.				+		
52	<i>M. fuliginosa</i> (Fr. ex Duby) Essl. in Egan	+					
53	<i>M. olivacea</i> (L.) Essl.	+	+	+	+		
54	<i>Menegazzia terebrata</i> (Hoffm.) A. Massal.	+	+				
55	<i>Mycobilimbia</i> sp. Rehm.			+			
56	<i>Parmelia sulcata</i> Taylor	+	+	+	+	+	+
57	<i>Parmeliopsis ambigua</i> (Wulfen) Nyl.	+	+	+			
58	<i>P. esorediata</i> (Degel.) Nordens	+					
59	<i>P. hyperopta</i> (Ach.) Arnold	+					
60	<i>Pertusaria albescens</i> (Huds.) M. Choisy & Werner	+	+				
61	<i>P. amara</i> (Ach.) Nyl.	+	+				
62	<i>P. coccodes</i> (Ach.) Nyl.	+	+				
63	<i>P. leioplaca</i> DC. in Lam. D. C.	+					
64	<i>Phaeophyscia ciliata</i> (Hoffm.) Moberg			+			
65	<i>P. nigricans</i> (Flörke) Moberg					+	+
66	<i>P. orbicularis</i> (Neck.) Moberg	+	+		+	+	+
67	<i>Phlyctis argena</i> (Spreng.) Flot.	+					
68	<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H. Olivier	+		+	+	+	+
69	<i>P. aipolia</i> (Ehrh ex. Humb.) Fürner	+	+	+	+	+	+
70	<i>P. dubia</i> (Hoffm.) Lettau					+	+
71	<i>P. stellaris</i> (L.) Nyl.	+	+	+	+	+	+
72	<i>Physconia distorta</i> (With.) J. R. Laundon	+		+	+	+	+
73	<i>P. enteroxanta</i> (Nyl.) Poelt	+					
74	<i>P. grisea</i> (Lam.) Poelt	+			+	+	
75	<i>Platismatia glauca</i> (L.) W. L. Culb. & C. F. Culb.		+				
76	<i>Pseudoevernina furfuracea</i> (L.) Zopf.	+	+	+			
77	<i>Ramalina farinacea</i> (L.) Ach.		+				
78	<i>R. pollinaria</i> (Westr.) Ach.		+				
79	<i>Rinodina exigua</i> (Ach.) Gray						
80	<i>R. pyrina</i> (Ach.) Arnold				+	+	+
81	<i>Ropalospora viridis</i> (Tønsberg in C. E. Culberson et al.)						+
82	<i>Scoliciosporum chlorococcum</i> (Graewe ex Stenh.) Vezda	+		+	+	+	+
83	<i>Usnea barbata</i> (L.) Weber. ex. F. H. Wigg.		+				
84	<i>Usnea hirta</i> (L.) Weber. ex. F. H. Wigg.	+	+	+			
85	<i>U. subfloridana</i> Stirt	+					
86	<i>Vulpicidia pinastri</i> (Scop.) J.E. Mattson MJ Lai.	+	+	+			
87	<i>Xanthoria candelaria</i> (L.) Th. Fr.				+		
88	<i>X. parietina</i> (L.) Th. Fr.	+	+	+	+	+	+
89	<i>X. polycarpa</i> (Hoffm.) Th. Fr. ex Rieter			+	+		+

Примечания. 1). Пункты исследования: 1- ГПЗ "Керженский", 2 - Пустынский заказник, 3 - Окрестности ж. ст. "Кеза", 4 - г. Чкаловск, 5 - г. Н. Новгород, 6 - г. Дзержинск. 2). Знак "+" означает присутствие вида.

H. physodes (соответственно 4 и 6 класс полеотолерантности), на липе для *H. physodes* и *Parmelia sulcata* (соответственно 6 и 7 класс полеотолерантности).

В окрестностях ж. ст. Кеза заложено 3 пробные площади: в сосняке вейниково-черничном, сосняке разнотравном, осиннике разнотравном. Выявлено 29 видов эпифитных лишайников, из них: на осине – 22, на сосне – 19. В данном пункте исследования произрастают лишайники различной степени толерантности, но доля сензетивных невысока. Наибольшие величины частоты встречаемости и проективного покрытия отмечены на сосне для *H. physodes*, *Candelaria vitellina* (7 класс полеотолерантности), на осине – для *Lecanora symmicta* и *Scoliciosporum chlorococcum* (6 и 9 класс полеотолерантности).

В г. Чкаловске было заложено 3 пробные площади: две – на улицах города (обследовались березы) и одна в парке (обследовались липы). Выявлено 22 вида эпифитных лишайников, из них: на липе – 8, на березе – 21. Обнаруженные виды являются умеренно и сильно толерантными. Наибольшая частота встречаемости на липе отмечена для *Physcia adscendens* (4 класс полеотолерантности) и *H. physodes*, на березе – для *Parmelia sulcata*, *Xanthoria parietina*, *Physcia stellaris* (соответственно 7 и 9 класс полеотолерантности).

На территории г. Н. Новгорода было заложено 25 пробных площадей, в том числе 15 – на улицах города, 10 – в парках. Исследования проводились в насаждениях липы мелколистной, сосны обыкновенной, березы повислой, тополя бальзамического, дуба черешчатого, клена ясенелистного, ясеня обыкновенного. На данный момент времени выявлено 17 видов эпифитных лишайников (табл.1), из них 12 произрастают на улицах города, 14 – в парках.

На территории г. Дзержинска было заложено 7 пробных площадей, в насаждениях тополя, липы, сосны. Выявлено 20 видов (табл.1), из них 6 произрастают на улицах города, 15 – на территории парков.

Виды, обнаруженные в г. Н. Новгороде и в г. Дзержинске (за редким исключением), являются толерантными к высокому уровню загрязнения воздуха. Экземпляры умеренно

толерантных видов: *H. physodes*, *E. mesomorpha*, *Physcia aipolia* – единичны, находятся в угнетенном состоянии. Значения проективного покрытия и встречаемости данных видов здесь низки по сравнению с условно фоновыми территориями (ГПЗ "Керженский", Пустынский заказник). Наибольшая частота встречаемости как в парках, так и на улицах города отмечена для *Scoliciosporum chlorococcum*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia stellaris*, *Xanthoria parietina* (9-10 класс полеотолерантности).

В рамках лишеноиндикационных исследований была проведена трансплантация эпифитных лишайников из условно фоновых районов на территорию г. Н. Новгорода. Наблюдения, проведенные в течение двух лет, показали, что наиболее чувствительные виды рода *Bryoria* погибают уже через один месяц от начала экспозиции. Более устойчивые виды – *Evernia prunastri*, *Pseudoevernia furfuracea*, *Hypogymnia physodes* – сохраняются в течение 10 месяцев, но их слоевища были сильно угнетены, представлены в виде отдельных фрагментов. В то же время на контрольных участках трансплантанты успешно прижились. На основании данных трансплантационного метода лишеноиндикации можно судить о том, что уровень загрязнения атмосферного бассейна г. Н. Новгорода достаточно высок, что и обуславливает невозможность существования данных видов на территории города.

На основе расчета индекса Сьеренсена-Чекановского был проведен кластерный анализ. Дендрограмма построена по принципу одиночного присоединения по максимальному сходству видового состава эпифитной лишенофлоры пунктов исследования (рис.). Выделяются 2 кластера: в первый объединяются города – 67% (причем сходство между крупными промышленными центрами г. Н. Новгородом и г. Дзержинском больше – 80%), во второй – природные (условно фоновые) территории – 53%.

На чувствительность эпифитных лишайников к загрязнению воздуха, наряду с такими факторами как характер загрязнения и тип коры дерева-форофита, существенное влияние оказывают климатические факторы [4, 5,

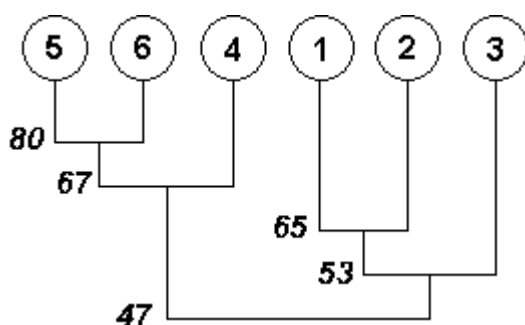


Рис. Кластер сходства пунктов исследований в Нижегородской области по видовому составу эпифитных лишайников. Цифры в кружках – пункты исследований (см. примечание к табл. 1); цифры вне кружков – коэффициенты сходства (в процентах)

7]. Поэтому возникла необходимость создания региональной шкалы классов полеотолерантности эпифитных лишайников. При разработке шкалы ориентировались на оценки чувствительности тех же видов в других регионах, но с учетом иерархической системы природного районирования, а также на основании собственных данных по лишеноиндикационной трансплантации и встречаемости эпифитных лишайников на территории Нижегородской области. Характеристика экологической ситуации по степени загрязненности воздушного бассейна районов исследования давалась на основе разбивки полученных значений ИП на интервалы (предлагаем более дробную, по сравнению с предложенной Х.Х. Трассом, характеристику; табл.2).

В табл.3 представлены обобщенные результаты исследований. Значения ИП приведены с учетом расчета доверительного интер-

вала. На основании проведенного лишеноиндикационного мониторинга можно сказать, что наиболее благополучной по состоянию атмосферного воздуха является экологическая ситуация в Пустынском заказнике, а наименее – в крупных промышленных центрах Нижегородской области – в г. Н. Новгороде и г. Дзержинске, где в ряде пунктов как на улицах, так и в парках вообще не были обнаружены эпифитные лишайники (ИП = 0). Неожиданно высокие значения ИП, полученные для территории ГПЗ "Керженский", объясняются тем, что наибольшая частота встречаемости и проективного покрытия отмечена не для сензетивных видов, а для умеренно толерантных, которые и внесли основной вклад в расчет ИП.

Результаты лишеноиндикационного мониторинга, проведенного на территории Нижегородской области, свидетельствуют о необходимости дальнейших исследований, доработки региональной шкалы, статистического обоснования процедуры присвоения определенных классов полеотолерантности эпифитным лишайникам. Кроме того, необходимо разработать индексы, в которых отдельно учитываются виды-индикаторы атмосферной чистоты и атмосферного загрязнения. При таком подходе получаемая информация о состоянии атмосферного воздуха, на наш взгляд, была бы более полной и более точно отражала состояние эпифитной лишенофлоры и атмосферного воздуха районов исследования.

Таблица 2. Индексы полеотолерантности и характеристика зон (экологической ситуации) по степени загрязненности воздушного бассейна по Х.Х. Трассу и результатам исследований в Нижегородской области

По Х. Х. Трассу		Данные региональных исследований	
ИП	Зона (характеристика экологической ситуации)	Классовый интервал ИП	Зона (характеристика экологической ситуации)
1-2	Нормальная	1,90-3,79	Нормальная
2-5	Смешанная	3,80-5,69	Относительно удовлетворительная
5-7	Смешанная	5,70-7,59	Напряженная
7-10	Борьбы	7,60-9,48	Критическая
10	Борьбы	9,49-10,99	Кризисная
0	Лишайниковая пустыня	0	Катастрофическая

Таблица 3. Значение индексов полеотолерантности (ИП) и характеристика экологической ситуации пунктов лишеноиндикационных исследований

Район исследования	Диапазон значений ИП	Характеристика экологической ситуации
г. Н. Новгород	8,18-9,05 0	Критическая – катастрофическая
г. Дзержинск	7,80-9,04 0	Критическая – катастрофическая
г. Чкаловск	7,53-8,49	Напряженная – критическая
Окрестности ж.ст. Кеза	4,95-6,51	Относительно удовлетворительная – напряженная
ГПЗ «Керженский»	3,46-6,51	Норма – относительно удовлетворительная – напряженная
Пустынский заказник	1,90-4,14	Норма – относительно удовлетворительная

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматический справочник по Горьковской области. Л., 1988.
2. Ежегодник состояния загрязнения атмосферы на территории деятельности Верхне-Волжского УГМС за 2000 год. Н. Новгород, 2001.
3. *Зайцев Г.Н.* Математика в экспериментальной ботанике. М., 1990.
4. *Инсаров Г.Э., Инсарова И.Д.* Сравнительные оценки чувствительности эпифитных лишайников различных видов к загрязнению воздуха // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т.12. Л., 1989.
5. *Инсаров Г.Э., Инсарова И.Д.* Система районирования земли для целей мониторинга эпифитных лишайников // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т.13. Л., 1991.
6. *Песенко Ю.А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М., 1982.
7. *Пчелкин А.В.* Использование принципа сопряженности флоры сосудистых растений и лишайников для флористического районирования // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т.13. Л., 1991.
8. Растительность Европейской части СССР / Под ред. Грибовой и др. Л., 1980.
9. *Трасс Х.Х.* Классы полеотолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т.7. Л., 1985.
10. *Eriksson O.E., Hawksworth D.L.* Outline of the Ascomycetes // Systema Ascomycetum. Vol.16. Parts 1-2.
11. *Moberg R.* Key to the taxa treated of genera Physcia // Physcia and allied genera in Fennoscandia, 1993.
12. *Wirth V.* The Lichens. V. 1-2. Baden-Wurttemberg 1995. (English translation by Doyle Anderegg).

LICHENOINDICATION MONITORING OF THE QUALITY OF AIR ENVIRONMENT OF THE NIZNII NOVGOROD REGION

© 2002 E. Yu. Kulyabina¹, M. V. Sidorenko²

¹ Niznii Novgorod State University

² Institute of Ecology of the Volga River Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti

Lichenoindication analysis of air environment of the Niznii Novgorod region was conducted. The new index of poletoleration was suggested. The estimation of anthropogenic influences on quality and quantitative parameters of lichenoflora was given.

НЕКОТОРЫЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ДИНАМИКЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ДЕЛЬТЫ Р. ВОЛГИ

© 2002 А.Н. Бармин¹, В.Б. Голуб², В.П. Мороз²

¹ Астраханский государственный педагогический университет

² Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Приведены результаты наблюдений на стационарном профиле в дельте р. Волги, ведущиеся 17 лет. Установлено, что за период наблюдений в условиях возросшего водного стока р. Волги произошло значительное изменение состава водорастворимых солей в почве. В почвенном растворе уменьшилось содержание наиболее токсичных для растений ионов: HCO_3^- , Na^+ , Cl^- . Изменения гидрологического режима и солевого состава почвенного раствора привели к трансформации растительного покрова.

Около двух десятилетий в средней части дельты р. Волги ведутся наблюдения на стационарном профиле. Начало этих наблюдений совпало с возрастанием водного стока р. Волги, что привело к изменениям в почвенном и растительном покрове. Данные об этих изменениях по 1991 г. были опубликованы [1]. В 1995 г. и 1996 г. учеты на профиле были повторены, и они дали результаты, свидетельствующие о продолжающихся процессах изменений почвенно-растительного покрова дельты р. Волги.

Учеты на площадках профиля во все годы проводились в одно и то же время: в конце августа - начале сентября. В 1979-1981, 1990, 1991, 1995, и 1996 г.г. на 126 площадках профиля брали образцы почвы из слоя 0-15 см. В лабораторных условиях в этих образцах определяли содержание ионов водорастворимых солей в водной вытяжке. В 1982, 1991 и 1996 г.г. на этих же площадках на участках размером 50 × 50 см скашивали надземную массу растений, которую затем разбирали по видам растений, высушивали и взвешивали. Высоты площадок профиля с помощью нивелира были привязаны к меженному уровню воды в реке. Более подробно методика исследований, проводившихся на профиле, изложена в ряде публикаций, например [2].

Следует отметить, что в 1978-1996 г.г. водный сток Волги за год и период половодий значительно возрос, что не могло приве-

сти к повышению среднегодового уровня грунтовых вод [3]. Однако на фоне общего роста мощности половодий объем водного стока значительно колебался по годам. Так в 1996 г. сток р. Волги в створе Волгоградской ГЭС во втором квартале (который принимают за период половодий) был чрезвычайно маленьким: за все предыдущее столетие меньшим он был только один раз, а именно, в 1975 г. Основные площади дельты в 1996 г. остались незатопленными во время половодья. В тоже время, в летний период этого года выпало наибольшее количество осадков за годы наблюдений на профиле (табл.1).

Из табл.2 видно, что с 1979 г. по 1991 г. на большинстве площадок профиля наблюдалось направленное уменьшение общего содержания солей. Однако к 1995-1996 г.г.

Таблица 1. Характеристика гидрологических и метеорологических условий в годы наблюдений на стационарном профиле в дельте р. Волги

Год	Водный сток в низовьях р. Волги за II квартал, км ³	Сумма осадков по метеостанции Астрахань за июнь-август, мм
1979	146	17
1980	83	42
1981	128	42
1982	78	105
1990	152	83
1991	159	63
1995	137	44
1996	62	121

Таблица 2. Содержание ионов водорастворимых солей в слое почвы 0-15 см в различных интервалах высот профиля над меженью, мг-экв. на 100 г почвы

Годы	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Сумма
1,2 м и ниже – 27 площадок							
1979	0,20	4,82	7,49	4,75	3,35	4,41	25,02
1980	0,22	5,06	7,36	5,13	3,07	4,44	25,28
1981	0,26	3,60	5,51	3,46	3,14	2,77	18,74
1990	0,29	1,38	6,75	3,31	2,85	2,26	16,84
1991	0,32	1,27	6,26	3,45	2,26	2,14	15,70
1995	0,16	1,46	4,85	3,16	1,95	1,36	12,94
1996	0,15	0,70	7,10	4,80	2,50	0,65	15,90
1,3-1,8 м – 54 площадки							
1979	0,26	8,53	14,20	7,30	7,02	8,68	46,00
1980	0,31	7,90	13,88	7,12	6,43	8,54	44,18
1981	0,32	6,00	11,84	5,94	6,08	6,14	36,32
1990	0,35	2,55	11,70	5,29	4,70	4,61	29,20
1991	0,27	2,30	10,82	6,16	4,10	3,13	26,78
1995	0,24	3,72	11,02	5,22	5,26	4,50	29,96
1996	0,14	2,60	17,75	7,70	8,70	4,09	40,98
1,9-2,4 м – 34 площадки							
1979	0,33	2,90	11,90	6,36	5,06	3,73	30,28
1980	0,36	5,48	12,06	6,29	5,23	6,39	35,82
1981	0,34	2,59	9,81	5,87	4,12	2,75	25,48
1990	0,23	3,05	11,20	6,04	4,68	3,76	28,96
1991	0,29	2,99	11,10	6,43	4,24	3,70	28,75
1995	0,23	3,58	10,82	5,30	5,41	3,92	29,26
1996	0,15	2,90	15,60	7,30	8,00	3,35	37,30
2,5 м и более – 11 площадок							
1979	0,39	6,49	7,98	5,75	3,64	5,47	29,42
1980	0,50	5,10	7,98	4,38	3,38	5,82	27,16
1981	0,42	5,24	6,44	4,26	3,52	4,32	24,20
1990	0,35	4,24	7,81	4,60	3,11	4,69	24,80
1991	0,30	6,96	10,25	5,57	5,00	6,94	35,02
1995	0,24	4,91	7,63	3,80	4,23	4,75	25,56
1996	0,16	3,30	10,60	5,13	5,31	3,62	28,12

этот процесс приостановился. На многих площадках профиля содержание солей опять возросло, особенно в интервале высот 1,3...2,4 м над меженью.

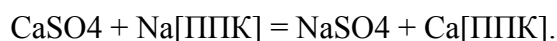
Весьма интересным, на наш взгляд, является ионный состав водных вытяжек в аномальный по своим гидрологическим и метеорологическим параметрам 1996 г. В этом году в сравнение с предыдущим уменьшилось содержание хлоридов и гидрокарбонатов в сочетании с ионом натрия, но резко возросло содержание сульфат-ионов. Вымывание из

верхнего слоя почвы легкорастворимых хлоридов и гидрокарбонатов можно приписать большому количеству осадков, предшествовавших отбору почвенных образцов.

Гораздо трудней объяснить увеличение содержания ионов SO_4^{2-} . Рост концентрации сульфатов в почве можно было бы увязать с их осаждением из речной воды, приходящей во время половодий из районов средней и верхней Волги, где их содержание в последние десятилетия увеличилось [4, 5] или сульфатов, которые могли бы попасть в водоемы

Волги в результате работы Астраханского газохимического комплекса [6]. Однако в 1996 г., как было сказано выше, большая часть площади дельты из-за незначительного количества воды, сброшенной во время половодья из Волгоградского водохранилища, осталась незатопленной. Таким образом, эту причину увеличения сульфатов в почве дельты р. Волги следует исключить.

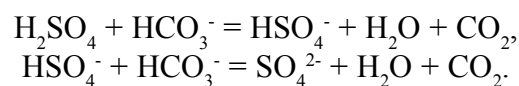
Другой путь увеличения содержания сульфат-ионов в водной вытяжке - за счет растворяющегося гипса в ходе обменных реакций между почвенным раствором и почвенным поглощающим комплексом [ППК], идущих по схеме



Такие процессы регистрировались при искусственных промывках засоленных почв [7], и, возможно, они имеют место и в дельте р. Волги в условиях длительных затоплений экотопов с засоленными почвами во время половодий. Ранее основанием для такого предположения служило, прежде всего, то обстоятельство, что уменьшение содержания хлор-иона, отмечавшееся от 1979 г. к 1991 г., было заметно большим, чем ионов Na^+ [1, 8]. Т. е., предполагалось, что часть вымываемого из почвенного раствора Na^+ поступает в него опять из [ППК]. Такой процесс должен был также сопровождаться уменьшением содержания ионов Ca^{2+} , замещающим Na^+ в [ППК], что во многих случаях, возможно, и имело место до 1996 г. Однако в 1996 г. вместе с увеличением концентрации в водной вытяжке сульфат-ионов на большинстве площадок возросло и содержание ионов Ca^{2+} . Кроме того, на самых высоких отметках профиля (2,5 м и выше над меженью) убывание ионов Na^+ было в несколько раз большим, чем Cl^- -ионов. Таким образом, по крайней мере, на высоких отметках дельты увеличение содержания в почве сульфатов нельзя приписать обменным процессам между почвенным раствором и [ППК].

Остается еще одно предположение. В 70 км к СЗ от профиля с 1986 г. начал работать Астраханский газохимический комплекс, выбрасывающий через высотные дымовые

трубы в воздух большое количество диоксида серы, который под действием озона и влажных аэрозолей окисляется до свободной серной кислоты и вовлекается воздушными потоками в перенос на значительные расстояния. Увеличение содержания сульфат-ионов в результате этих выбросов фиксировалось в снеге в нескольких километрах от завода [9, 10]. Можно предполагать, что именно с осадками на территорию, где расположен профиль, и были занесены сульфаты. Вероятность этого тем более велика, в связи с тем, что именно перед отбором почвенных проб выпало большое количество дождей. Возможно, что и в предыдущие годы сульфат-ионы попадали в почву вместе с осадками, но основная их масса вымывалась во время половодий. Подтверждением выпадения сульфатов с осадками в 1996 г. может служить повсеместное уменьшение в почве содержания гидрокарбонатов, так как, находясь в гомогенной фазе в почвенном растворе (в отсутствие содового засоления), они немедленно разлагаются под действием свободной серной кислоты:



Разумеется, предположение о загрязнении почвы дельты выбросами Астраханского газохимического комплекса является лишь гипотезой, требующей организации специальных исследований для ее доказательства или опровержения. Однако в виду большой опасности, которая грозит экосистемам дельты р. Волги возможность такого загрязнения, этот вопрос мы считаем важным обсудить даже на уровне гипотезы.

Следует обратить также внимание на тот факт, что при общем росте содержания солей в почве на всех высотах профиля в 1996 г. токсичность почвенного раствора за счет вымывания ионов HCO_3^- , Cl^- , Na^+ в сравнение с 1995 г. понизилась. На самых низких и самых высоких площадках профиля токсичность почвенного раствора достигла минимальных значений за все годы учетов. Минимальным везде в 1996 г. в водной вытяжке было отношение содержания хлор-ионов к

Таблица 3. Средний вес надземной массы растений на профиле, г/м²

Название растений	1982г.	1991г.	1996г.
<i>Typha angustifolia</i>	3,1	36,7	39,6
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	2,7	16,6	9,4
<i>Eleocharis palustris</i>	3,4	6,6	3,5
<i>Petrosimonia oppositifolia</i>	0,7	6,1	0,6
<i>Lythrum virgatum</i>	0,2	1,4	0,5
<i>Aeluropus pungens</i>	10,1	5,7	5,2
<i>Phalaroides arundinacea</i>	10,0	2,9	1,8
<i>Crypsis schoenoides</i>	5,5	1,3	0,3
<i>Elytrigia repens</i>	3,6	0,2	1,6
<i>Inula britannica</i>	2,2	0,1	0,3
<i>Althaea officinalis</i>	1,7	1,2	2,9
<i>Suaeda acuminata</i>	0,1	0,4	2,2
<i>Rubia tatarica</i>	1,8	1,5	0,5
<i>Phragmites australis</i>	1,4	1,1	3,7
<i>Hierochloë repens</i>	5,4	3,8	3,4
<i>Clcyrrhiza glabra</i>	0,6	2,9	4,1
<i>Atriplex prostrata</i>	1,5	2,6	2,2
Общая масса	394,3	510,1	368,1

содержанию сульфат-ионов.

Изменения гидрологического режима и солевого состава почвенного раствора не могли не сказаться на растительном покрове (табл.3). В виду чрезвычайно маломощного половодья, которое было в 1996 г. общая надземная масса была минимальна за годы учёт. В тоже время, можно говорить о коренном изменении состава травостоя. На профиле стали доминировать гигрофиты: *Typha angustifolia**, *Bolboschoenus maritimus*, *Eleocharis palustris*, *Phragmites australis*. Увеличилась масса фреатофита *Clcyrrhiza glabra*, отреагировавшего на увеличение среднегодового уровня грунтовых вод в дельте р. Волги.

Таким образом, в растительном покрове дельте р. Волги в течение около двух десятков лет идут однонаправленные процессы, связанные с увеличением увлажнения этой территории и уменьшением засоления почвы. Нельзя исключить, что на почвенный и растительный покров дельты р. Волги стали оказывать влияние выбросы диоксида серы Астраханским газохимическим комплексом.

Проведенные исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундамен-

тальных исследований (проект 01-04-48008).

* Латинские названия высших растений даны по сводке С.К. Черепанова [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голуб В.Б., Бармин А.Н. Некоторые аспекты динамики почвенно-растительного покрова дельты р. Волги // Экология. 1995. №2.
2. Голуб В.Б. Влияние флюктуационной динамики растительности на статистические показатели градиентного анализа // Биол. науки. 1983. №5.
3. Голуб В.Б., Пилипенко, Г.А. Лосев. Результаты десятилетних наблюдений (1978-1987гг.) за динамикой условий среды экотопов травянистых растительных сообществ в дельте р. Волги. 1988. Рукопись. Деп. в ВИНТИ 8.09.88г. № 6911-B88.
4. Тарасов М.Н., Бесчетнова Э. И. Гидрохимия Нижней Волги при регулировании стока (1935-1980 гг.). Гидрохимические материалы. Л.: Гидрометеиздат, 1987. Т.51.
5. Черногаева Г.М., Мошашвили Л.Д. Ант-

- ропогенные изменения выноса сульфатов речным стоком // Известия Академии наук. Сер. геогр. 1995. №2.
6. Андрианов В.А., Сокирко Г.И. Состояние водных объектов низовья р. Волги в условиях техногенеза // Экологические системы и приборы. 2001. №1.
 7. Панин П.С. Процессы солеотдачи в промываемых толщах почв. Новосибирск: Наука, 1968.
 8. Пилипенко В.Н., Лосев Г.А., Голуб В.Б. Влияние увеличения водного стока на растительность и почвы засоленных экотопов дельты Волги // Экология. 1988. №1.
 9. Андрианов В.А., Сокирко Г.И. Оценка воздействия Астраханского газового комплекса на окружающую среду низовья Волги по качеству снежного покрова // Экологические системы и приборы. 2001. №4.
 10. Андрианов В.А., Сокирко Г.И. Уровень сульфатного загрязнения снежного покрова в районе АГК // Разведка и освоение нефтяных и газовых месторождений. Научн. тр. АстраханьНИПИГАЗ. Астрахань, 2001.
 11. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995.

SOME SUPPLEMENTARY DATA ON SOIL AND PLANT COVER OF THE VOLGA RIVER DELTA DYNAMICS

© 2002 A.N. Barmin¹, V.B. Golub², V.P. Morov²

¹Astrakhan' State Pedagogical University

²Institute of Ecology of the Volga River Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti

The results of 17-year's observation of the fixed transect in the Volga river delta are presented. Over the observation period the Volga river water discharge has increased, which lead to a considerable change of water soluble salt composition in soil. A decrease of the most toxic plant ions content (HCO_3^- , Na^+ , Cl^-) in soil solution was detected. The changes of hydrological regime and soil solution composition have resulted in modification of the vegetation cover.

К МЕТОДОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В БИОМОНИТОРИНГЕ УСЛОВИЙ УРБОСРЕДЫ

© 2002 Л.М. Кавеленова

Самарский государственный университет

Для условий городской среды г. Самары с высоким уровнем техногенного загрязнения и умеренным континентальным климатом показаны многочисленные эффекты воздействия на различные структурно-функциональные показатели цветковых растений. Подчеркивается гетерогенность условий внутри городской территории. Обсуждаются важнейшие проблемы, от решения которых зависит возможность использования высших растений в биомониторинге урбосреды. К их числу относятся: различный характер генезиса компонентов городских насаждений, определяющий возможную программу наблюдений в них, изменчивость признаков растений в урбосреде в зависимости от комплекса условий местообитания, а не исключительно техногенного загрязнения, наличие определенной сезонной динамики метаболических показателей, подверженной влиянию особенностей вегетационного периода конкретного года наблюдений.

Биоиндикация, предполагающая использование структурных или метаболических особенностей, присутствия или обилия различных живых организмов с целью получения информации об уровне какого-либо фактора окружающей среды, традиционно использовалась по отношению к природным факторам [8, 9, 21, 25, 28]. Позднее подобный подход стал применяться и по отношению к антропогенному загрязнению [16, 12, 17, 18, 27]. Переход от однократных наблюдений к биомониторингу, то есть использованию компонентов биоты для слежения за состоянием окружающей среды, справедливо рассматривается как необходимое и логичное дополнение к мониторингу инструментальному, широко использующему сложнейшие аналитические методы исследований [22]. В условиях городской среды, где живые организмы, как животные, так и растения, зачастую оказываются оттесненными на второй план, значимость биомониторинговых исследований остается весьма высокой.

Несмотря на то, что в современных индустриальных центрах осуществляется контроль за загрязнением атмосферного воздуха, воды, почв, данных анализов недостаточно для составления полной картины экологической ситуации в пределах урбанизированной территории. Использование городской растительности для биомониторинга качества сре-

ды сделало бы возможным получение, в дополнение к данным аналитического контроля, данных интегративной оценки реакции живых организмов практически на всей территории города, при суммации воздействий в течение определенного времени – от нескольких дней до нескольких лет [15]. При этом методы сбора данных в большинстве случаев не требуют дорогостоящего инструментария, что открывает определенные заманчивые перспективы для использования городской растительности в качестве объекта мониторинга. Однако нельзя забывать о ряде связанных с этим проблем.

Первая проблема связана с исключительной неоднородностью (мозаичностью) условий в пределах городской среды, делающей необходимым учет множества факторов в их взаимодействии. Вторая определяется различным характером генезиса компонентов городских насаждений. Это означает, что программа наблюдений в тех или иных компонентах городской системы озеленения должна формироваться с учетом характера происхождения данного насаждения. Третья связана с тем, что практически любой структурно-функциональный показатель растительного организма обнаруживает определенные изменения в техногенно загрязненной, в том числе городской среде [34], что делает актуальным выбор индикат. Наконец, сам харак-

тер изменчивости признаков у растений, будь то в пределах выборки, в сезонной динамике или при сопоставлении наблюдений, относящихся к различным вегетационным периодам, ограничивает возможности использования тех или иных показателей в качестве индикационных, приводя их в соответствие со сроками наблюдений или особенностями условий конкретного года. Это в высшей степени актуально для континентального климата лесостепи, обнаруживающего значительные различия погодных условий в разные годы наблюдений. Очерченный выше круг проблем мы постараемся проиллюстрировать с помощью данных, полученных нами в ходе многолетних исследований городских и пригородных насаждений г. Самары.

Исследования выполнялись с 1990 г. в различных насаждениях (парках, скверах, уличных посадках) и ближайших пригородных лесных массивах. Для конкретных насаждений определяли видовой состав высших растений, жизненное состояние древесных и травянистых видов, состояние и основные признаки почвенного покрова, положение в рельефе и связанные с ним особенности микроклимата, относительный уровень техногенного загрязнения. Для оценки условий конкретных местообитаний использовали условные шкалы (для положения в рельефе, освещенности, уровня техногенного загрязнения) и баллы шкал Цыганова, 1983 (для других факторов окружающей среды). Основными объектами исследования служили 20 видов цветковых растений (местных видов и интродуцентов), среди которых были представлены деревья, кустарники и травы. Определяли морфометрические, анатомические, физиолого-биохимические показатели, относящиеся к вегетативным и генеративным органам растений, для чего были использованы гравиметрические, колориметрические, спектрофотометрические и др. методы исследований. Математическая обработка проводилась с использованием пакетов программ STATGRAPHICS и EXCEL и включала, помимо расчета основных статистик, применение корреляционного и регрессионного (шагового) анализа данных.

Пространственно-временная неоднородность условий в городской среде в лесостепи (на примере г. Самары)

Природно-климатические условия г. Самары, как это мы постараемся показать ниже, несут на себе печать существенной мозаичности (пространственной гетерогенности) в отношении различных участков городской территории. Это касается рельефа, микроклимата, особенностей почвенного покрова, насаждений в отношении их генезиса, возраста и состава, а также уровня техногенного и автотранспортного загрязнения. Климат обнаруживает также неоднородность условий во временном аспекте.

Так, основными формами *рельефа городской территории* являются пойменные и надпойменные террасы, склоны водоразделов, водораздельное плато, что связано с особенностями локализации города и значительными размерами его территории, которая к настоящему времени составляет 470 кв. км. Поскольку при формировании рельефа долины р. Волги в историческом прошлом наблюдалось чередование эпох интенсивной аккумуляции и глубинной эрозии, в результате сформировалась серия аллювиальных террас различного возраста [10]. В качестве дополнительного "фактора неоднородности" территории г. Самары и ее окрестностей следует отметить развитие карстовых явлений, суффозионных процессов и оползней. Присутствие форм рельефа различной формы и высоты, сформированных разными по гранулометрическому составу и водным свойствам почвообразующими породами, не может не обуславливать сложного характера перераспределения влаги и формирования неоднородного почвенного покрова.

Климат анализируемой территории определяют как континентальный климат умеренных широт. Особенности его – засушливость, высокая континентальность, большая изменчивость от года к году, особенно по количеству выпадающих осадков. Характерны жаркое, солнечное лето (среднемесячная температура июля $+20,4^{\circ}$), холодная и продолжительная зима (средняя температура января –

13,5°) и умеренное количество осадков. Каждый третий, а иногда и второй год, наблюдается летняя засуха [14]. Местные особенности климата собственно городской территории определяются плотным расположением промышленных предприятий и жилых зданий, наличием асфальтовых покрытий улиц и площадей, обилием транспортных средств. Более высокая температура воздуха города вызывает систему городских ветров, в формировании которой участвует городской ландшафт. Из-за значительной протяженности и сложного характера рельефа и городской застройки формируются различия климата между районами [14], вносящие дополнительный вклад в формирование пространственной гетерогенности территории.

Что касается неоднородности климатических условий во времени, проанализируем данные наблюдений за период 1995-2001 г., которые регулярно представлялись Приволжским УГМС ботаническому саду СамГУ и были использованы нами для построения диаграмм климадиаграммы традиционного вида (рис.1) [1-7]. Она позволяет заметить, что аридные условия, когда кривая температур проходит выше кривой осадков, в зависимости от года в условиях Самары могут быть представлены либо сравнительно кратким отрезком вегетационного периода (1996, 1999, 2000 г.), сроки наступления которого год от года не совпадают, либо продолжаться почти весь вегетационный период (1995, 1998 годы).

Обратим также внимание еще на один

немаловажный признак климатических условий г. Самары, который в определенной степени был отражен в климадиаграмме. Это существенная изменчивость климатических условий в различные годы наблюдений. Данная тенденция проявляется не только в сроках возникновения либо продолжительности такого периода (рис.1), не только в степени выраженности засушливых условий, но и в изменении, от года к году, суммы активных температур выше 5°С либо количества осадков, выпавших в течение вегетационного периода либо всего года (рис.2). За анализируемый нами семилетний отрезок времени вегетационные периоды двух лет (1995 и 1998) характеризовались дефицитом осадков по сравнению с нормой, для трех других лет отмечалось примерное соответствие норме (1996, 1999 и 2001), оставшиеся два года имели избыточные по уровню осадков вегетационные периоды (1997 и 2000). По сумме активных температур в течение вегетационного периода наиболее резко выделялись 1995 и 1998, заметно превосходившие средний многолетний уровень как по нижнему, так и по верхнему уровню сумм. Таким образом, климатические условия района исследований, на фоне общих признаков континентального климата умеренных широт, демонстрируют существенную изменчивость по годам. Это относится не только к количеству выпадающих осадков, но и к продолжительности и срокам возникновения засушливых условий внутри вегетационного периода (и за его пределами). Изменчивость обнаруживают также

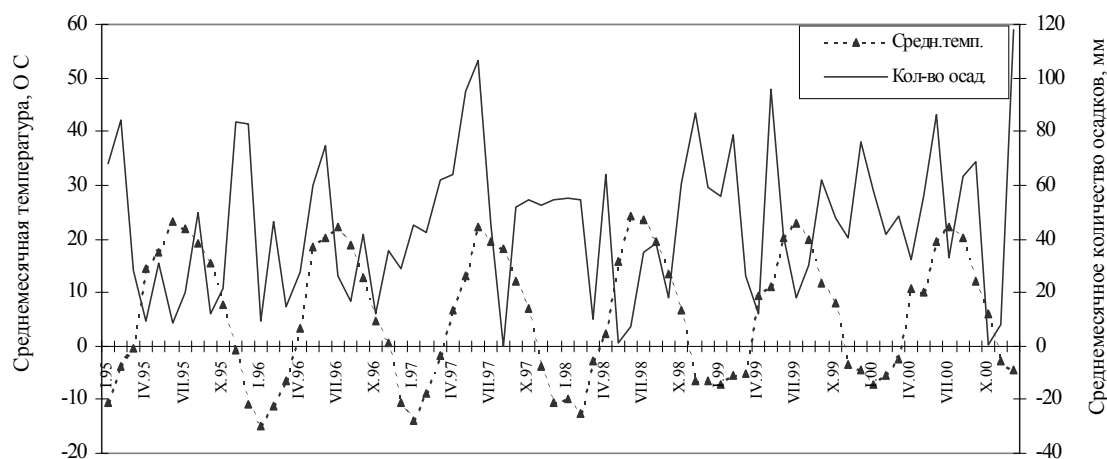


Рис.1. Климадиаграмма условий 1995-2000 г. для г.Самары (по данным Приволжского УГМС)

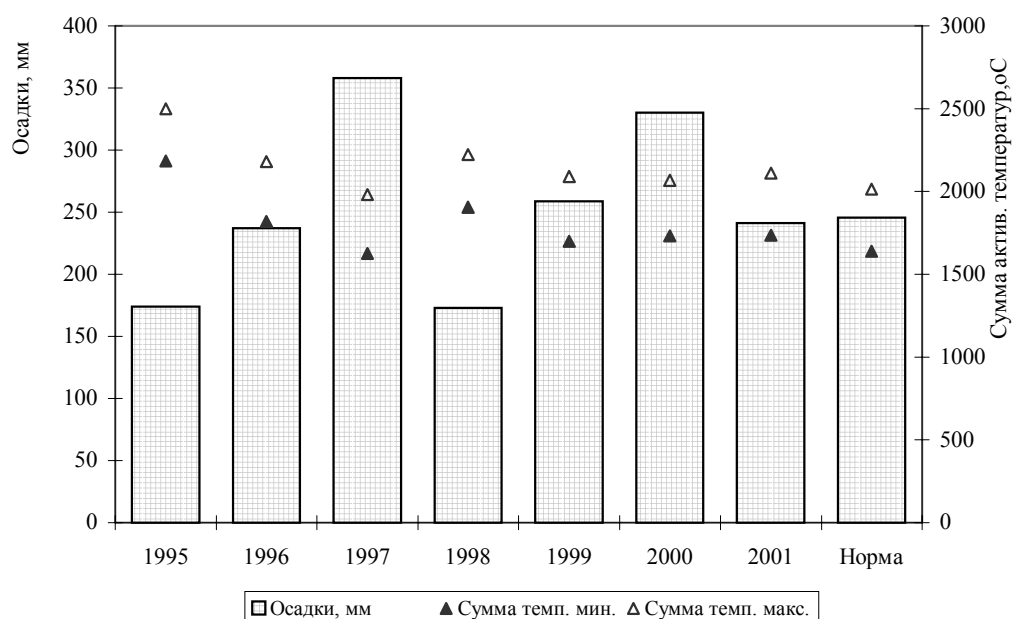


Рис.2. Количество осадков и сумма активных температур в вегетационные периоды 1995-2001 гг. (условия г. Самары)

продолжительность вегетационного периода, сумма активных температур и быстрота ее накопления.

Перечисленные выше параметры, определяющие условия существования растений, в конкретный год наблюдений могут изменять сроки прохождения фенофаз, формировать условия температурных стрессов при воздействии экстремально высоких и низких температур, благоприятствовать росту, развитию, накоплению фитомассы и формированию ее компонентов либо, напротив, негативно влиять на эти процессы. Условия городской среды с присущей ей гетерогенностью обеспечивают перераспределение тепла и влаги, налагаясь на описанную выше изменчивость. Результатом становится пространственно-временная неоднородность (вариабельность) климатических условий существования растений в урбосреде, отчетливо выраженная в условиях лесостепи (г. Самара).

Что касается *почвенного покрова*, то формированию его мозаичности способствовали как природные факторы (сложный рельеф, разнокачественность слагающих территорию горных пород, развитие различных растительных сообществ), так и вмешательство хозяйственной деятельности человека. На территории, занимаемой ныне городом, мо-

гут обнаруживаться среднегумусный (обыкновенный) чернозем, карбонатные черноземы, темно-серые лесостепные, черноземовидные аллювиальные почвы практически в любой мере их нарушенности, вплоть до замещения почвы извлеченной с различной глубины почвообразующей породой [20, 24].

Итак, ведущие экологические факторы обнаруживают неоднородность распределения по территории г. Самары. Это означает, что техногенное загрязнение не может рассматриваться в качестве единственного фактора, неоднородность нагрузки которого в границах городской территории вызывает определенные адаптивные реакции растений. Использование компонентов городских насаждений в системе биомониторинга должно осуществляться при обязательной оценке, хотя бы в балльной форме, уровня различных экологических факторов, слагающих комплекс условий данного местообитания. Более того, при наблюдениях за городской растительностью проблема выбора адекватного контроля приобретает особую остроту, так как удаление от городской территории, снижая уровень техногенного загрязнения, чаще всего означает и изменения микроклиматических, почвенных и иных условий и уменьшает уровень соответствия показателей контроля данным наблюдений в урбосреде.

Особенности генезиса городских насаждений

Что касается генезиса различных компонентов городских насаждений, анализ данных о формировании системы озеленения в г. Самаре и информации, относящейся к другим территориям [19, 26, 29, 31, 33] позволяет сделать следующее заключение. Растительный покров в условиях городской среды характеризуется различными путями происхождения слагающих его насаждений.

1. Внутри городской территории на месте разрушенных природных растительных сообществ создаются насаждения, структура которых зависит от фитомелиоративных целей, исторических и национальных особенностей, определенных эстетических и агрономических принципов. Такой путь генезиса можно определить термином *креационный* (от лат. *creatio* - созидание), этот наиболее традиционный вариант формирования насаждений в городских условиях.

2. На части фрагментов городской территории после полного нарушения первоначально существовавших растительных сообществ естественно (без вмешательства человека) формируются новые, в состав которых первоначально будут входить лишь самые устойчивые, в массе – рудеральные виды. Этот путь генезиса насаждений можно назвать *волюнтарным* (от лат. *voluntarius* – доброволец, поступающий на службу). В обустроенной городской среде волюнтарные насаждения по мере возможности стремятся заместить креационными. Однако именно волюнтарная растительность обнаруживает необычайную пластичность, способность произрастать на участках с полностью нарушенным почвенным покровом, формировать группировки на щебенчатых насыпях (пути рельсового транспорта), в условиях высокого техногенного загрязнения почвы, устойчиво переносят вытаптывание и др.

3. В городской среде могут сохраняться остаточные фрагменты естественных растительных сообществ, поглощенных городом в процессе его роста и в различной мере преобразованных в дальнейшем. Такой вариант генезиса насаждений, проявившийся в процессе роста многих городов в XX веке, мо-

жет получить название *резидентного* (от лат. *residens* - пребывающий; по созвучию с используемым в англоязычной литературе термином *residential forests* для определения остаточных фрагментов лесных массивов внутри городской территории обозначают – например, [33].

Абсолютной границы между названными типами формирования растительных группировок не существует. Как правило, городским насаждениям свойственно развитие путем комбинации по крайней мере двух из названных выше путей генезиса. Остаточные фрагменты естественных растительных сообществ (насаждения резидентного генезиса) под действием интенсивной высокой рекреационной нагрузки, утрачивая наиболее чувствительные по отношению к антропогенному воздействию виды, взамен подвергаются внедрению устойчивых рудералов [30, 32], что может приводить к формированию *резидентно-волюнтарных* растительных группировок. Подобные парковые массивы являются частью системы озеленения многих городов мира, где они носят название "городских лесов" [29].

Не менее распространены ситуации, когда в искусственном насаждении (креационного генезиса) под пологом древесной растительности, представленной высаженными экземплярами местных и интродуцированных видов, естественным путем формируется травостой либо происходит естественное внедрение различных видов в искусственно высеянный травостой (газон). В таком случае можно говорить о формировании *креационно-волюнтарных* фитоценозов. Примером такой ситуации служит большинство скверов и парков, дендрарии и территории промышленных предприятий и больниц. Содействие внедрению видов местной флоры в креационные насаждения при умеренной антропогенной нагрузке на них может рассматриваться в ряду мероприятий по охране биологического разнообразия.

Как известно, в растительных сообществах биомониторинг может затрагивать флористический, фитоценотический, анатомо-морфологический, физиолого-биохимический аспекты [22]. Помимо общей оценки эко-

логической ситуации в насаждении, исходным этапом для организации биомониторинга является определение видового состава фрагментов городских насаждений. Для определения дальнейшей программы фитоинформационного мониторинга мы должны четко представлять, каков характер генезиса данных насаждений.

В насаждениях креационного (креационно-волевого) происхождения древесный, а в большинстве случаев – и кустарниковый ярус формируется человеком произвольно. В таких насаждениях для целей фитоиндикации с помощью шкал Д.Н. Цыганова, 1983 [25], или иных систем оценки условий местообитания может быть использован не суммарный список видов, а видовой состав естественно сформировавшегося травостоя. Древесные и кустарниковые растения в насаждениях креационного (креационно-волевого) характера, на наш взгляд, должны рассматриваться как объекты для получения информации о физиолого-биохимических, анатомо-морфологических и других проявлениях адаптивных реакций этих растений по отношению к антропогенной среде обитания, техногенному загрязнению и др.

Для насаждений резидентного либо резидентно-волевого происхождения определенную фитоиндикационную значимость будет иметь полный список видов, присутствующих в данном сообществе. Данные насаждения представляют наиболее интересный материал в аспекте изменений их видового состава во времени, позволяя обнаружить виды с различной устойчивостью к комплексу условий урбосреды. Здесь также может осуществляться мониторинг физиолого-биохимических, анатомо-морфологических и иных реакций растений на воздействие техногенного загрязнения.

Изменчивость признаков растений в городской среде

Данные исследований, проводившихся в 1990-2001 гг. в г. Самаре, обобщены в виде схемы (рис.3). Можно заметить, что более чем для 20 видов цветковых растений, как местных, так и интродуцентов, отмечались изменения различных структурно-морфологических признаков в условиях техногенно загряз-

ненной городской среды (г. Самара). Однако корреляционный анализ показал, что лишь часть отмеченных изменений обнаруживала связь с уровнем техногенного загрязнения, тогда как другим изменениям была свойственна связь с какими-либо биотопическими условиями гетерогенной городской среды. Так, в г. Самаре при сравнительно высоком уровне загрязнения воздуха у ряда анемо- и энтомофильных растений снижалось качество пыльцы (у *Betula pendula*, *Tilia cordata*, *T. macrophyllus* и ряда других видов), для ряда видов фиксировалось возрастание уровня варьирования качества пыльцы (у *Betula pendula*, *Tilia cordata* и *Cichorium intybus*). Так, для пригородных насаждений доля жизнеспособной пыльцы у березы повислой составляла более 80% (коэффициент вариации 1,4%), тогда как в различных частях городской территории данный показатель мог снижаться до 45-60% (коэффициент вариации 14,3%). В этом ряду показателей наиболее тесная корреляционная связь была обнаружена между уровнем загрязнения воздуха и долей стерильных пыльцевых зерен ($r = 0,77$) у *Cichorium intybus* и долей мелких фертильных пыльцевых зерен у *Tilia platyphyllos* ($r = 0,73$). Другие показатели генеративной сферы (семенная продуктивность ряда массовых травянистых и древесных видов, морфологических и биохимических показателей плодов у *Fraxinus lanceolata*, *Sorbus aucuparia*, *Tilia cordata*, *T. Platyphyllos*) также обнаруживали в различных районах города изменения, не ограничивавшиеся влиянием техногенного загрязнения (табл.1).

Наиболее обширные наблюдения были связаны с показателями вегетативных органов, в первую очередь листового аппарата древесных растений. Заметим, что именно в этой группе показателей мы обнаружили подтверждение тому положению, что индикаты, "работающие" в одних природно-климатических условиях, могут утрачивать свою значимость в других условиях. Примером для условий г. Самары являются показатели флуктуирующей асимметрии у листьев *Betula pendula*, которые не только предлагаются для использования в целях фитоиндикации [11], но и уже применяются в системе биомони-

Стадии жизненного цикла высших растений		Воздействие техногенного загрязнения	ИЗМЕНЕНИЯ ДЛЯ Г. САМАРЫ ОБНАРУЖЕНЫ ДЛЯ
Образование цветков/шишек			
Образование пыльцы (семяпочек)		Угнетение	
Опыление		Снижение качества пыльцы	<i>Betula pendula, Cichorium intybus, Malva rosea, Malus baccata, Melilotus album, M. officinalis, Taraxacum officinale, Tilia macrophyllus, T. cordata, Rosa canina, R. pimpinellifolia, R. rugosa, Sorbus aucuparia, Philadelphus coronarius</i>
Оплодотворение		Угнетение	
Образование плодов и семян		Пониженное образование плодов, семян	<i>Atriplex tatarica, Betula pendula, Fraxinus lanceolata, Tlaspi arvense Acer negundo, Betula pendula, Fraxinus lanceolata, Tilia cordata, T. plathyphyllus, Sorbus aucuparia</i>
СЕМЕНА		Изменения морфологии и состава плодов и семян	<i>Показатели структуры плодов (семян) - Fraxinus lanceolata, Tilia cordata, T. plathyphyllus, Sorbus aucuparia, содержание липидов - Acer negundo, Fraxinus lanceolata, Tilia cordata, T. plathyphyllus</i>
↓ Прорастание семян ↓		Ингибировани е прорастания	<i>Acer negundo, Fraxinus lanceolata, Tlaspi arvense, Taraxacum officinale</i>
ПРОРОСТКИ			
Рост и развитие проростков		Подавление роста проростков	<i>При биотестировании почвы – проростки Lepidium sativum, Triticum aestivum; при проращивании семян в лаборатории - Acer negundo, Fraxinus lanceolata.</i>
Ювенильная стадия			
Образование вегетативных органов		Изменения ростовых показателей вегетативных органов	<i>Побеги Acer negundo, Betula pendula, Picea abies, P. pungens, Tilia plathyphyllus; почки Aesculus hyppocastanum, Syringa vulgaris, Tilia plathyphyllus; растения Poa angustifolia, листья Acer negundo, Betula pendula (включая критерии асимметрии), Tilia plathyphyllus.</i>
↓		Изменения метаболизма вегетативных органов	<i>Содержание пигментов в листьях Acer negundo, Betula pendula, Tilia cordata, T. plathyphyllus, Picea abies, P. pungens, Sorbus aucuparia, почках и лубе of Acer negundo, Betula pendula, водорастворимых фенолов и свободных аминокислот в почках Acer negundo, Betula pendula, листьях Acer negundo, Betula pendula, Fraxinus lanceolata, Tilia plathyphyllus, T. cordata, Sorbus aucuparia, золы в листьях of Acer negundo, A. platanoides, A. tataricum, Betula pendula, Fraxinus lanceolata, Populus nigra, Quercus robur, Sorbus aucuparia, Tilia cordata, T. plathyphyllus</i>
ВЗРОСЛЫЕ РАСТЕНИЯ			
Образование цветков/шишек		Угнетение	

Рис.3. Влияние комплекса условий урбосреды на некоторые стороны жизнедеятельности высших растений (на примере г. Самары, данные 1990-2000)

Таблица 1. Значения коэффициента корреляции содержания липидов в семенах древесных растений

Факторы местообитания	Содержание липидов в семенах		
	<i>Acer negundo</i>	<i>Fraxinus lanceolata</i>	<i>Tilia macrophyllus</i>
Положение в рельефе	-0,57	0,33	0,35
Уровень загрязнения воздуха	0,67	0,49	0,17
Условия освещения	-0,15	-0,69	-0,10

торинга в условиях г. Калуги [23]. Для условий г. Самары наиболее сильное влияние на формирование асимметрии листовой пластинки оказывали особенности температурного и водного режима конкретных местообитаний, а не уровень техногенного загрязнения.

Показатели метаболизма листьев древесных растений (количество и соотношения фотосинтетических пигментов, растворимых фенольных соединений, свободных аминокислот, золы и др.) обнаружили различия как для разных точек внутри городской территории, так и в сравнении городских и пригородных насаждений. Это положение было подтверждено данными, относящимися к 14 видам древесных растений, однако лишь у некоторых показателей изменения коррелировали с уровнем техногенного загрязнения (табл.2).

При выборе индикат важно выяснить, насколько пластичен показатель, предполага-

емый в качестве фитоиндикационного. Результаты оценки коэффициентов вариации для некоторых признаков модельных травянистого и древесного видов (*Thlaspi arvense* и *Betula pendula*) в условиях г. Самары показали, что к числу признаков с низким уровнем изменчивости относятся некоторые параметры генеративной сферы и метаболически важные соотношения пигментного аппарата (табл.3). Напротив, ростовые показатели, семенная продуктивность и собственно метаболические показатели были высоко изменчивыми (табл.3). Предполагается, что именно "жесткие" признаки заслуживают более пристального внимания в биоиндикационном отношении [17, 27].

Сезонная динамика метаболических показателей и влияние условий года

Обобщение данных нескольких лет наблюдений позволяет охарактеризовать сезон-

Таблица 2. Значения коэффициента корреляции содержания зольного компонента в листьях древесных растений и биотопическими особенностями насаждений г. Самары (август 1999)

Виды древесных растений	Положение в рельефе*	Уровень загрязнения воздуха*	Уровень освещенности*	Hd**	Rc**	Nt**	fH**
<i>Acer platanoides</i>	-0,50	-0,07	-0,09	-0,02	-0,22	0,23	0,07
<i>Acer negundo</i>	-0,75	-0,75	0,40	0,01	-0,06	-0,29	-0,16
<i>Fraxinus lanceolata</i>	-0,35	-0,58	0,77	-0,41	0,41	-0,84	-0,97
<i>Quercus robur</i>	0,12	0,61	-0,22	-0,59	0,60	0,88	0,83
<i>Tilia cordata</i>	-0,06	-0,03	0,14	0,63	-0,67	-0,36	-0,22
<i>Tilia platyphyllos</i>	0,11	0,11	-0,59	0,18	-0,18	0,68	0,89

* Оценка положения в рельефе, светового режима, уровня загрязнения проводилась с использованием условных шкал.

** Оценка по шкалам Д.Н.Цыганова, 1983, выполнялась для каждого местообитания для факторов: Hd – влажности, Rc – кислотности почвы, Nt – богатства почв азотом, fH – контрастности почвенного увлажнения.

Таблица 3. Значения коэффициентов вариации для некоторых показателей модельных травянистых и древесных растений в насаждениях г. Самары (данные 1998-2000 г.)

<i>Thlaspi arvense</i>		<i>Betula pendula</i>	
Показатель	V (%)	Показатель	V (%)
Длина побега	13,81	Длина побега годовичного прироста	9,35
Длина корня	27,96	Толщина годовичного побега	3,73
Длина главного соцветия	21,60	Масса листовой пластинки	21,90
Длина боковых соцветий	48,82	Содержание водорастворимых фенольных соединений в листьях	17,29
Число боковых побегов	58,06	Содержание хлорофилла А в листьях	14,85
Число плодов на растении	36,16	Содержание хлорофилла В в листьях	19,56
Число семян на 1 плод	8,08	Содержание каротиноидов в листьях	16,91
Семенная продуктивность	38,87	Отношение (хлорофилл А/хлорофилл В)	9,59
Масса 1000 семян	6,01	Отношение (хлорофиллы /каротиноиды)	7,29

ную динамику ряда биохимических показателей листовой массы, которая в целом сходна у различных древесных видов и согласуется с особенностями развития и функционирования листьев листопадных растений в течение вегетационного периода в лесостепи. Продemonстрируем ее на примере листьев березы повислой.

Содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллов А, В, каротиноидов) в листьях березы достигало максимума в июне-июле, к августу снижалось примерно вдвое, к сентябрю в зависимости от пункта наблюдений находилось на уровне одной четвертой – одной шестой от сезонного максимума. Наибольшее количество, как и максимально выраженные его изменения, были обнаружены для хлорофилла А, тогда как количества хлорофилла В и каротиноидов были близки и характеризовались сходной динамикой.

Содержание свободных аминокислот в листьях березы, высокое в начале вегетационного периода, во время формирования листового аппарата, в июне несколько снижалось, далее наблюдался июльский подъем, очевидно, вызванный воздействием высокой температуры. После августовского снижения содержания аминокислот к сентябрю их количество в листьях березы вновь возрастало, вероятно, вследствие протеолиза, связанного со старением листьев.

Водорастворимые фенольные соединения в листьях березы обнаруживались в наи-

больших количествах в начале вегетационного периода и его конце. Это соответствовало использованию низкомолекулярных фенолов для лигнификации формирующихся проводящих и механических тканей побега (май) и накоплению фенолов в стареющих листьях, подготовке побега в целом к будущему периоду покоя (август-сентябрь). Количество фотосинтетических пигментов, фенольных соединений, и аминокислот также обнаруживало зависимость от уровня загрязнения и других условий местообитания.

Из-за существенных сезонных колебаний самих показателей, очевидно и различия между их значениями как для разных насаждений внутри городской территории, так и между городскими и пригородными насаждениями могут быть выражены неодинаково. В пределах вегетационного периода может в разной мере выявляться связь между условиями местообитания и уровнем определенных метаболических показателей, что для условий г. Самары было свойственно содержанию фенольных соединений в листьях березы [13]. Как можно было судить по величине коэффициентов корреляции, воздействие всех факторов, в том числе и уровня техногенного загрязнения, было отчетливо выражено в начале вегетационного периода, когда не достигшие зрелости листья уязвимы и подвержены внешнему воздействию. Далее, анализируя динамику содержания растворимых фенолов в листьях березы в условиях городс-

кой среды, для различающихся по характеру погодных условий вегетационных периодов (1997, 1998 и 2000 г), мы обнаружили, что в условиях резко выраженного дефицита влаги уровень содержания растворимых фенольных соединений в листьях березы понижен по сравнению с менее засушливыми годами. Это вполне соответствует общему угнетению синтетических процессов в условиях засухи. Напротив, в условиях засушливого и жаркого вегетационного периода по сравнению с более влажными и прохладными сезонами повышенным будет уровень свободных аминокислот, особенно пролина. Это позволяет говорить о разной мере эффективности метаболических индикаторов в зависимости от условий конкретного года (момента в пределах вегетационного периода).

Таким образом, формирование программы биомониторинга с использованием городских насаждений в качестве объектов наблюдений должно проводиться с учетом всего комплекса экологических условий и характера генезиса насаждений. Необходимо также учитывать критически оценивать возможности применения индикаторов, зарекомендовавших себя для одних природных условиях, в другом природно-климатическом районе. Далее, в определенные моменты вегетационного периода в биомониторинге могут быть использованы с большей эффективностью конкретные структурно-функциональные показатели растений. Так, не только для генеративной сферы, но и для ассимиляционного аппарата наиболее значимыми окажутся начальный и завершающий этапы вегетационного периода. В условиях континентального климата, в зависимости от погодных особенностей года, к ним может добавляться перспективный отрезок времени в середине вегетационного периода, когда повышенное содержание свободных аминокислот (в том числе пролина) будет рассматриваться как индикатор стресса, вызванного суммарным воздействием негативных факторов, включая техногенное загрязнение. Отдельные быстрые и сравнительно простые методы могут быть применены для скрининга условий внутри всей городской территории. В подобном качестве может рассматриваться качество

пыльцы некоторых широко распространенных видов.

В целом биомониторинг условий городской среды, основанный на реакциях высших растений, должен осуществляться как многоуровневый (от растительных сообществ до организмов и их органов), с выбором наиболее перспективных индикаторов и точной оценкой их сезонной и временной приуроченности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрометеорологический обзор за 1993/1994 сельскохозяйственный год. Самара, 1994.
2. Агрометеорологический обзор за 1994/1995 сельскохозяйственный год. Самара, 1995.
3. Агрометеорологический обзор за 1995/1996 сельскохозяйственный год. Самара, 1996.
4. Агрометеорологический обзор за 1996/1997 сельскохозяйственный год. Самара, 1997.
5. Агрометеорологический обзор за 1997/1998 сельскохозяйственный год. Самара, 1998.
6. Агрометеорологический обзор за 1998/1999 сельскохозяйственный год. Самара, 1999.
7. Агрометеорологический обзор за 1999/2000 сельскохозяйственный год. Самара, 2000.
8. *Викторов С.В., Ремезова Г.Л.* Индикационная геоботаника. М.: Московский ун-т, 1988.
9. *Виноградов Б.В.* Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов. М.: Высшая школа, 1964.
10. *Захаров А.С.* Рельеф Куйбышевской области. Пособие по краеведению. Куйбышев: Куйбышевское книжное издательство, 1971.
11. *Захаров В.М., Чистякова Е.К., Кряжева Н.Г.* Гомеостаз развития как общая характеристика состояния организма: скоррелированность морфогенетических и физиологических показателей у березы повислой // Доклады АН. Сер. биол. 1997. Т357. №2.
12. *Илькун Г.М.* Загрязнители атмосферы и растения. Киев: Наукова думка, 1978.
13. *Кавеленова Л.М., Лищинская С.Н., Карандаева Л.Н.* Особенности сезонной динамики водорастворимых фенольных соединений в листьях березы повислой в условиях урбосреды в лесостепи (на примере г. Самара) // Химия растительного сырья.

2001. Т.5. №3.
14. Климат Куйбышева / Под ред. Ц.А. Швер. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983.
15. Коршиков И.И., Котов В.С., Михеенко И.П. Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой: устойчивость, фитоиндикация, оптимизация. Киев: Наукова думка, 1995.
16. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974.
17. Меннинг У., Федер У. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений. Л.: Гидрометеоиздат, 1985.
18. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979.
19. Полякова Г.А. Флора и растительность старых парков Подмосковья. М.: Наука, 1992.
20. Природа Куйбышевской области. Куйбышев: Книжное издательство, 1991.
21. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956.
22. Соколов В.Е., Шаланки Я., Криволицкий Д.А., Чернова О.Ф., Черненко Т.В. Международная программа по биоиндикации антропогенного загрязнения природной среды // Экология. 1990. №2.
23. Стрельцов А.Б., Шестакова Г.А., Шпынов А.В. Фенетический анализ и флуктуирующая асимметрия как биоиндикационные методы оценки устойчивости система // Экол. и охрана окружающей среды. Тез. докл. II Междунар. научно-практической конференции. Пермь, 1995.
24. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья. Казань: Издательство Казанского университета, 1964.
25. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983.
26. Экология Москвы: решения, проблемы, перспективы. Москва, 1998.
27. Bioindication in terrestrischen Ökosystemen. Fachwiss. 2, Überarb. Jena: Fischer, 1991.
28. Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica. 1974. №9.
29. Konijnendijk C.C. A Short History of urban Forestry in Europe // Journal of arboriculture. 1997. Vol.23. №1.
30. Kowarik I., Sukopp H. Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf die spontane Vegetation (Farn- und Blütenpflanzen) // Angew.Bot., 1984. 58. №2.
31. McPherson E.G., Luttinger N. From Nature to Nature: The History of Sacramento's Urban Forests // Journal of arboriculture. 1998. Vol.24. №2.
32. Smole I. O vplivu onesnaženega zraka na pritalno vegetacijo v gozdu // Zb. Gozd. In Les., 1990. 35.
33. Summit J., McPherson E.G. Residential Tree Plantings and Care: A Study of Attitudes and Behavior in Sacramento, California // Journal of arboriculture. 1998. Vol.24. №2.
34. Wolters J., Martens M. Effects of air pollutants on Pollen. The Botanical Review. 1987. Vol.57. №3.

CONCERNING THE METHODOLOGY OF TOWN PLANTINGS USE IN THE BIOMONITORING OF URBAN ENVIRONMENT

© 2002 L.M. Kavelenova

Samara State University

For urban environment with the high technogenic pollution level and moderate continental climate (Samara, Russia) some results of plant reactions testing are presented. Numerous effects of technogenically polluted urban environment are showed both upon different structure and functional proofs of some higher plant species. The heterogeneous character of urban territory is discussed as a result of different ecological factors interaction. The main problems connected with the possibility of biomonitoring are named. Among them are the different genesis of different town plantings, the influence of many ecological factors on plants, the seasonal dynamics and some weather features of a concrete year. The problems of urban biomonitoring system using higher plants are discussed both as some species and proofs perspective in biomonitoring aspect.

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПОЛИТОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ В СФЕРЕ РЕФОРМИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ

© 2002 В.Т. Лазарев

Самарский филиал Московского государственного университета сервиса

Рассмотрены некоторые важнейшие особенности общего экологического кризиса. Его острота все в большей мере понимается не только учеными, но и политиками. Вместе с тем это понимание носит по-прежнему ограниченный характер и сводится преимущественно к рациональному использованию ресурсов и охране окружающей среды, т.е. с позиции биологической экологии. Автор статьи исследует проблему, используя социоприродный, биосферный подход, получивший определенное признание и в современной политологической науке, в экологической политике нашего государства. Актуальность экологической проблематики обусловлена процессами техногенного, индустриального развития России, оказывающими заметное воздействие и на сельскохозяйственное производство. Это проявляется в его трансформации, в изменении производительности труда, рабочей силы, а также в истощении традиционного землепользования, деградации почв. Рассмотрены основные тенденции деградации и трансформации различных типов почв, дано научное понимание агроэкологии и определены принципы, цели и задачи государственной политики в сфере реформирования сельского хозяйства страны.

Как известно, конец XX и начало XXI веков характеризуются нарастающим от десятилетия к десятилетию системным экологическим кризисом во всем мире, переходом этого кризиса к середине XXI века, по предположению отдельных ученых, в *коллапс цивилизации* или *тотальную экокатастрофу*. "Самым страшным в современной ситуации является то, - с тревогой пишет В.А. Зубаков, - что подавляющее большинство (95% по оценке А. Яблокова) людей в мире, включая политическую элиту, не понимают последствий тотальной экокатастрофы для себя и своих потомков и не задумываются о путях выхода из экокризиса. Современное человечество и наши политические лидеры похожи на слепых со знаменитой картины П. Брейгеля" [1, с.145].

Можно, конечно, уточнять и спорить о тех или иных особенностях кризиса, но бесспорно одно: он все больше и больше захватывает и сельскохозяйственное производство, его отдельные отрасли и компоненты. И самое главное в этом кризисном процессе, имеющем прямое отношение к существованию и биосферной жизни и сельскохозяйственного производства, - разрушение и деградация

естественных почв, замена последних естественно-искусственными и преимущественно искусственными.

Острота экологической ситуации осознается все больше и больше учеными, политиками, широкой общественностью и нашей страны, "Экономические, социальные и политические реформы в России, - отмечается, например, в программе общероссийской общественной организации "Объединение ЯБ-ЛОКО", - не будут иметь никакого смысла, если они погубят природную среду. Наша природа - это общий капитал, совладельцами которого выступают настоящее и будущее поколения. Мы не можем бездумно растратить его и должны жить сообразно возможностям природной среды, не обременяя ее чрезмерными антропогенными нагрузками" [2, с.8]. Отсюда делается в принципе и стратегический вывод: "Экологическая политика для нас - это неотъемлемая часть процесса преобразования страны" [2].

Пока что понимание экологической проблематики в мире и в нашей стране носит ограниченный характер и практически сводится к рациональному использованию природных ресурсов и охране природной окру-

жающей среды. Свидетельством тому является ликвидация в России Госкомэкологии и передачи его функций в Министерство природных ресурсов. Да и к тому же это произошло из-за того, что Госкомэкологии экологическую ситуацию рассматривал с позиций биологической экологии, игнорируя социально-экологическую проблематику, рожденную особой ситуацией – глобально-техногенным общественным развитием. В науке все более и более *разрабатываются такие вопросы как социоприродный переход жизни, наступление мира ноосферы*, получают развитие такие науки как социальная экология и экология человека, агроэкология и т.п. Но как показывает анализ, ставящиеся острые вопросы и проблемы какого-либо существенного воздействия на экологическую политику нашего государства не оказывали ранее и не оказывают сейчас. Многие из назревших проблем не нашли и должного отражения в документах Конференции ООН по окружающей среде и развитию (КОСР-92). Особенно в этом отношении вызывает беспокойство то, что вниманием на КОСР-92 была обойдена экологическая проблематика почв, разрушение которых на планете идет сейчас чрезвычайно быстро, и естественных почв осталось в мире самое большое на два столетия. А почвы, как известно, являются основой растительного мира; на растениях, в свою очередь, покоится жизнь животных.

Агроэкологическая ситуация, конечно же, "не свалилась с неба", она имеет свою длительную историю, уходящую корнями в развитие земледелия на земном шаре на протяжении примерно десяти тысяч лет. Но пик ее обострения приходится на последние два столетия техногенного развития человечества, когда последнее не только само возросло в 6 раз и перевалило за 6 млрд. человек, но и создало сверхмощные научно-технические производительные силы, при помощи которых в сотни раз подняло производительность труда в сельском хозяйстве. Этой же мощной науко-техникой разрастающееся "индустриальное человечество", охваченное также и страстью неконтролируемого обогащения, наносит непоправимый ущерб

почвам и земле.

Сельскохозяйственное производство стремительно трансформируется, прежде всего, под воздействием индустриального и постиндустриального общественного развития в двух основных направлениях.

Первое – очень быстрое изменение производительности труда в сельском хозяйстве и сокращение рабочей силы в этом секторе. "Так, – отмечает экономист В.Л. Иноземцев, – в 1800 году американский фермер должен был трудиться на протяжении 344 часов, чтобы вырастить и собрать 100 бушелей зерна; в 1900 году для этого требовалось 147 человеко-часов, а сегодня – лишь 3 человеко-часа" [3, с.62-63]. И далее он продолжает, что в настоящее время "становится совершенно очевидно, что основу современного хозяйства составляют высокотехнологичные наукоемкие производства. Под их воздействием радикально меняется характер сельского хозяйства, добывающих и обрабатывающих отраслей, производства товаров массового потребления и сферы услуг" [3.С.69]. Конечно, основой развития наступающего постиндустриального общества, несмотря на массовость функционирования сферы услуг, остается все же индустриальное и основанное на индустрии сельскохозяйственное производство. Именно на базе последних покоится сфера услуг, в которой сейчас в наиболее развитых странах мира занято от двух третей до четырех пятых работающего населения.

Второе направление – истощение традиционного землепользования, деградация почв, являющихся основным источником производства сельскохозяйственной продукции. С одной стороны, по мере роста населения и его потребностей требуется все большее и большее количество сельскохозяйственной продукции, – и это достигается за счет роста производительности труда и повышения урожайности полей, а с другой – в результате применения новейших "зеленых технологий" все активнее идет изъятие органики и необходимых для роста и развития растений полезных веществ из почв, в результате чего они истощаются. Усиление техногенного воздействия на почвы, сельхозугодья

приводит к тому, что, по данным российских ученых, разрушение почв в конце XX века в мире было примерно в 30 раз сильнее, чем в доиндустриальную эпоху.

Как известно, эволюция почвы органически связана с эволюцией биосферы, поскольку является результатом и основой развития растительной жизни. Живые биологические организмы, погибая, образуют вместе с верхними слоями суши особый жизненно воспроизводящий слой биосферы. Последний формировался многие и многие миллионы лет и представляет собой сложнейшую биокосную систему как результат непосредственного взаимодействия во времени и эволюции многих природных факторов, и, прежде всего живой и неживой природы. "Оставаясь основным и незаменимым средством сельскохозяйственного производства, - отмечает Д.И. Щеглов, - почва в то же время выступает и как один из основных компонентов биогеоценоза, а следовательно, и биосферы в целом" [4, с.3].

Следует заметить, что в настоящее время весьма четко просматриваются основные тенденции деградации и трансформации различных типов почв не только в России, но и во всем мире, особенно в индустриально развитых странах. Изучение земледелия последних дает нам возможность сделать вывод: применение индустриальных технологий в традиционном сельском хозяйстве ради получения "сверхбогатств от земли" уже в XXI веке приведет практически к уничтожению или истощению большинства биосферных почв. Именно потребительское общество, основанное на техницизме и безоглядном удовлетворении быстро растущих и даже избыточных потребностей многих социальных слоев, виновато прежде всего в той опасной экологической ситуации, которая сложилась в традиционном сельском хозяйстве.

В научной литературе получило развитие понятие *сельскохозяйственной экологии*, которая в своей значительной части сливается с биологическими основами земледелия (агроэкология) и животноводчества (экология сельскохозяйственных животных). *В основе же сельскохозяйственной экологии находит-*

ся агроэкология, которая уходит своими корнями в биосферные жизненные процессы, поэтому в статье внимание будет сконцентрировано на агроэкологии во взаимосвязи не только с сельскохозяйственной экологией, но и всей системой экологических наук. "Экосистемный подход, - как отмечают некоторые ученые, - обогащает агробиологию принципами и средствами рациональной эксплуатации земельных ресурсов, повышения продуктивности и получения экологически чистой продукции" [5, с.13].

В создавшихся экологических условиях развития сельского хозяйства необходима определенная экологическая политика, которая, с одной стороны, учитывала бы изменившуюся в мире обстановку (рост народонаселения, его потребностей и интересов, техногенность социоприродного развития на Земле и т.п.), а с другой стороны, работала на сохранение фундаментальных и разносторонних условий жизни и важнейшей из ее основ – почвенного покрова. Для выработки такой политики должны быть привлечены крупнейшие ученые и исследовательские силы, как мирового сообщества, так и нашей страны.

В российской науке можно увидеть глубокое понимание взаимодействия общества и природы особенно в интересующем нас вопросе агроэкологии. Так, в трудах выдающегося историка и мыслителя В.С. Соловьева (1853-1900) выделялось три этапа этого взаимодействия: 1) изъятие у природы всего насущно необходимого; 2) разумное изъятие, "с оглядкой", к которому переходит человечество; 3) в отдаленной перспективе – полное прекращение насилия над природой. При этом он обращал внимание на служение земле: "Обязанность человека как хозяйственного деятеля состоит в том, чтобы обрабатывать продукты природы. Эта обязанность прямо указана в заповеди труда: возделывать землю, т.е. служить земле. Возделывать землю не значит злоупотреблять ею, не разрушать ее, а улучшать ее, вводить ее в большую силу и полноту бытия" [6, с.359].

В свою очередь В.В. Докучаев создал науку о генетическом почвоведении как самостоятельную отрасль естествознания, где

почва рассматривается как "функция (результат) от материнской породы (грунта), климата и организмов, помноженное на время". Летом 1900 года, читая пятую лекцию о почвоведении Полтавскому губернскому земству, он говорил: "Я буду беседовать с вами о царе почв, о главном, основном богатстве России, стоящем неизмеримо выше богатств Урала, Кавказа, богатств Сибири, - все это ничто в сравнении с ним; нет тех цифр, какими можно было бы оценить силу и мощь царя почв, нашего *русского чернозема*, он был, есть и будет кормильцем России" [7, с.5-6].

Именно чернозем наиболее ярко отражает основные процессы почвообразования и свойства почв. Черноземные почвы занимают около 9% площади в пределах СНГ, но в то же время составляют основу пахотного фонда (60%) и производства товарного зерна (80%), а также большого числа других видов сельскохозяйственной продукции [4.С.3]. Черноземы, несмотря на свое природное совершенство и устойчивость, эволюционируют сейчас не столько под воздействием естественных, сколько антропогенных факторов. Последние особенно возрастают и приводят неизбежно к изменению и свойств почвенного тела и содержания гумуса в нем. Это особенно ярко видно на примере изменения черноземов в Самарской области. Всего за одно столетие (XX) процент гумуса в типичных черноземах уменьшился с 14,5% до 9%, или с 435 тонн на гектар до 270. То есть, за период обследования потери составили 165 т/га. При этом если в среднем за столетие потери составили 1,65 т/га в год по Самарской области, то в послевоенные годы (вторая половина XX в.) потери по отдельным хозяйствам составили за четверть века от 1,8 до 3,6 т/га. В то же время на опытном поле Самарского сельскохозяйственного института за 35 лет (1949-1984 гг), где применялись передовые методы агротехники, потери были минимальными в области и составили 0,91 т/га. То есть, применяя передовые технологии, можно существенно уменьшить гумусные потери, но нельзя их избежать совсем.

Об изменениях в содержании гумуса в

пахотном слое России можно судить на основе проводившихся исследований в Самарской области на протяжении последних 50 лет XX в. по разным типам черноземов, сведенных в таблицу 1.

Показатели содержания гумуса в динамике за анализируемые периоды свидетельствуют о процессах его нарастающего уменьшения, в то время как идет постоянное наращивание минерализации почв и ее все большее и большее превалирование над гумификацией. Потери гумуса более всего растут в северном направлении, что связано с более активно протекающими процессами водной эрозии. Применение органических удобрений в 2000 г. составило всего 80 кг/га и баланс гумуса при сложившейся структуре посевных площадей формируется с дефицитом в 447 кг/га.

Результаты агрохимического обследования почв свидетельствует, что за 35 последних лет XX века в результате антропогенного воздействия на пашню в области практически исчезли тучные черноземы (>9%). В настоящее время они в пашне составляют лишь 0,1%. Площади среднегумусных черноземов снизились с 31% до 14%. Вместе с тем возрос удельный вес малогумусных и слабогумусных черноземов*.

Возобладавшая в мире и в СССР политика индустриального подхода к развитию сельского хозяйства несомненно способствовала существенному наращиванию производства биологической продукции, удовлетворению насущных потребностей населения в питании. Достаточно сказать, что в XX веке средняя урожайность зерновых в мире, и в том числе в СССР, возросла примерно втрое, без чего продовольственная ситуация могла бы привести к печальным социальным и политическим последствиям. При этом нужно иметь в виду, что изначально и царская Россия, и Советский Союз существенно отставали от Запада в урожайности сельскохозяйственных культур, и, естественно, это отставание сохраняется по настоящее время, хотя оно от десятилетия к десятилетию сокращалось, т.е. достижения НТР использовались все лучше и лучше. "Провальное" прошедшее де-

Таблица 1. Изменение содержания гумуса в пахотном слое основных черноземных почв Самарской области (по данным института ВолгНИИгипрозем и ФГУСАС "Самарская") [8]

Почвы	Содержание гумуса, % по периодам обследования			Абсолютные потери гумуса, % по периодам обследования			Потери гумуса в % по периодам обследования		
	1950-1965гг.	1975-1981гг.	1993-2000гг.	с 1950 по 1981гг.	с 1981 по 2000гг.	с 1950 по 2000гг.	с 1950 по 1981гг.	с 1981 по 2000гг.	с 1950 по 2000гг.
Черноземы выщелоченные и типичные	9,7	7,6	4,8	2,1	2,8	4,9	22,0	37,0	50,0
Черноземы обыкновенные	6,7	6,0	4,3	0,7	1,7	2,4	11,0	28,0	36,0
Черноземы южные	6,3	4,6	4,0	1,7	0,6	2,3	27,0	13,0	36,0

сятилетие либеральных реформ является исключением, которое в XXI в. будет все-таки преодолевать. Если по обеспечению населения продовольствием СССР входил в первую десятку стран мира, то сейчас Россия делит 65-67 места.

Вместе с тем возрастающий на почвы в нашей стране техногенный пресс породил кратковременные и долговременные негативные последствия, привел к ухудшению экологических параметров агроэкосистем, в конечном счете сказался не только на экономических показателях АПК, но и вызвал соответствующую политическую реакцию определенных социальных слоев и групп относительно перспектив ведения сельскохозяйственного производства. Либерально настроенные слои советской интеллигенции в период ослабления политического и идеологического прессинга со стороны Политбюро ЦК КПСС (после 1985 г.) стали приписывать многие изъязны техногенного развития сельскохозяйственного производства в целом "порочной советской системе", требуя перевода сельского хозяйства на западный фермерский путь развития. Поэтому всегда остается важной задача разграничения социально-экономической и экологической политики современного цивилизационного развития мира, особенно в сельскохозяйственном производстве, сочетания в практической политической деятельности социально-экономических и экологических мер для решения продовольственной проблемы страны. Что касается

нашей страны, то определенный недостаток продовольствия, попытки административными методами быстро решить продовольственную проблему, ориентируясь на западную структуру питания, приводили к тому, что обостряющуюся экологическую проблематику в сельском хозяйстве попросту игнорировали, а информацию об агроэкологическом состоянии до широкой общественности вообще не доводили.

Разрабатывая агроэкологическую политику, нельзя игнорировать науку и опыт специалистов и населения, отдельных социальных групп. Правительство России в свою очередь не должно оставаться в стороне, вырабатывая и пропагандируя культуру питания, в которую входит и структура, особенно потребление наиболее ценных продуктов, привлекая для этого всю систему образования, дошкольного воспитания и медицину.

Рассматривая агроэкологическую проблематику, формирование аграрной и в ее рамках агроэкологической политики нашим государством, мы должны опираться не столько на традиционное земледелие, на воспроизводство западной структуры земледелия и соответственно структуры питания, сколько на перспективную систему питания и наши возможности сельского хозяйства производить экологически ценные продукты питания, исходя из всей структуры наших земель и почв, включая и лесные массивы. Как свидетельствуют исследования, только пятая часть населения планеты (да и нашей стра-

ны) питается экологически качественными продуктами.

Вместе с тем следует сказать, что экологическая проблематика индустриализирующегося сельского хозяйства одинаково остро встала как в нашей стране, так и в большинстве регионов мира. Далеко не всегда это осознавалось исследователями села и особенно политиками, поскольку последние продовольственную проблематику пытались решать при помощи политики социально-экономических реформ, стараясь материально заинтересовать работника на земле, крестьянина всего лишь более производительным трудом. В то же время требовались кардинально новые подходы, которые были бы сравнимы с прорывом "зеленой революции" в послевоенные годы. Если для "зеленой революции" характерен в основном технологический подход к интенсификации, то ученые и практики от земледелия стали искать альтернативные подходы, что нашло отражение в теориях "биологического земледелия", "природного земледелия" и т.п. Важными вехами на этом пути явились не только проведение научных исследований и научных конференций с обширной информацией, но и создание Международного центра биологического земледелия, институтов экологической сертификации продовольствия и т.п.

В настоящее время нарождающаяся агроэкологическая политика в соответствии с новыми реалиями, и в первую очередь печальными последствиями техногенного развития земледелия, ставит вопрос о перестройке науки и техники. Последние в мире, да и в нашей стране, направлены на решение двух наиболее важных комплексных задач.

1. *Традиционное сельскохозяйственное производство онаучивается*, и на этой основе осуществляется его интенсификация с учетом важнейших биосферно-экологических требований к нему. Например, определенная обработка земли, вплоть до безотвальной; внесение строго дозированных органических и минеральных удобрений с учетом состояния и качества почв, климата, выращиваемой культуры; грамотное использование химичес-

ких средств защиты растений и регуляторов роста; отказ от одновидовых посевов на больших площадях и др. То есть, делается все не только для повышения урожайности, но и сохранения экологического равновесия, разблокировки функциональных возможностей природного биоэнергетического потенциала агросистем.

2. *Создаются альтернативные системы земледелия*, которые в зависимости от социально-экологической эффективности будут приниматься или отвергаться практикой и законодательными актами соответствующих стран. Альтернативные системы появляются по многим причинам, среди которых можно выделить: а) концентрация основной массы земледелия вокруг урбанизированных ареалов с целью удовлетворения населения в продуктах питания; б) сохранение продуктивности сельскохозяйственных земель; в) решение актуальных агроэкологических проблем; г) производство экологически доброкачественного продовольствия; д) повышение урожайности и снижение себестоимости сельскохозяйственной продукции с целью конкурентоспособности на рынках сбыта; е) самообеспечение семьи разнообразными и высококачественными продуктами питания и др. Безусловно, все причины перечислять нам нет смысла, поскольку внимание концентрируется на выработке политики наиболее важных направлений *становления постиндустриального сельскохозяйственного производства*; эти причины будут названы в ходе дальнейшего анализа конкретных направлений, поскольку *предстоит выработать соответственно и политические меры государства* для поддержки не только конкретных форм субъектов хозяйствования в реформируемом аграрном секторе России, но и наиболее эффективных агроэкологических направлений производства продуктов.

Альтернативное земледелие, которое в значительной степени складывается как "*сельское хозяйство выживания*" (на Западе и в малоземельных странах), фактически после Конференции ООН по окружающей среде и развитию (1992) получает *статус земледелия устойчивого развития*. При всех недо-

статках самой концепции Sustainable Development (SD) и разработке альтернативных и теоретических экоразработок, скорее всего, это название за ним сохранится. Здесь важен сам научный и политический прецедент, который не ставит жестких рамок в поисках экологически безопасных путей развития производства продовольствия.

Действительно, вернуться к доиндустриальному сельскому хозяйству не только невозможно, но и нет смысла: хотя и медленно, но его тоже подтачивала экологическая деградация. Поэтому вполне можно согласиться с В.А. Зубаковым, который полагает, что невозможно вернуть дикую биосферу, "поскольку она уже потеряла 50% своего видового разнообразия и свои наиболее эффективные биогеоценозы – черноземные степи, а также значительную часть болот и тропических лесов" [1, с.142]. А, следовательно, невозможно и вернуть не только доземледельческие, но даже и доиндустриальные почвы, находящиеся всего на расстоянии двух столетий от современного человечества. Поэтому, приняв тезис о *формировании земледелия устойчивого развития*, или *устойчивого земледелия*, мы должны далее в политике формирования такого земледелия или сельскохозяйственного производства *предусматривать* прежде всего реанимацию, насколько это возможно, биосферы и биотического круговорота веществ на земном шаре (и, естественно, на региональном уровне) и достаточное обеспечение населения экологически высококачественным продовольствием. Конечно же, здесь речь идет всего лишь об основах такой политики, важнейших целях, а в каждом конкретном регионе будут выставлены свои задачи и условия социально-политического и экологического характера.

Пока что мы не можем провести достаточно четкой границы между традиционным и альтернативным земледелием. Дело в том, что традиционное земледелие постоянно совершенствуется, отказывается от технологий, наносящих вред биосфере и биосферному человеку, и тем самым шаг за шагом продвигается в направлении альтернативного сельского хозяйства. Видимо, эти шаги будут более

весомыми, если будет принята полная система законодательства и различных государственных положений и рекомендаций по устойчивому развитию сельского хозяйства России, *выработана соответствующая политика*. Тем не менее, существует определенная система целей и задач альтернативного производства продуктов питания, которую называют нередко *биологическим земледелием*.

Цели и задачи перспективной политики альтернативного земледелия в России, на наш взгляд, можно определить так:

- соответствие политике устойчивого развития общества и биосферы, принятой руководством России;
- решение продовольственной проблемы в стране;
- преодоление расточительного и истощительного землепользования за счет применения экологически эффективных технологий в сельском хозяйстве и усиления биологических процессов в почвенном покрове;
- восстановление и укрепление почвенного покрова и устойчивости жизни;
- повышение качества и плодородия почв за счет использования вермитехнологий и других технологических приемов, введение в почвы органики и необходимых микроэлементов для растений;
- освобождение малопродуктивных земель от сельхозпроизводства и перевод их в природные ландшафты с полезными для населения растениями и иным функциональным назначением, и др.

Разрабатывая агроэкологическую политику, нельзя упускать из вида, что современное интенсивное развитие традиционного сельского хозяйства соответствует всего лишь индустриальной фазе развития общества. С наступлением же постиндустриальной стадии социоприродного развития, скорее всего, утвердятся биотехнологическое производство питания на основе искусственных почв и "химических рассолов" (гидропоники). Это вовсе не означает, что проблема питания будет решена без учета биосферной составляющей. Как известно, по мере утверждения искусственных биотехнологий производства пищи усиливаются аллергические реакции в

организме. Поэтому понадобится в питании, видимо, разумное сочетание биотехнологических и биосферных продуктов. Не случайно в мире развивается и пользуется спросом такая отрасль хозяйства как производство различных биодобавок из натуральных продуктов биосферного происхождения, регулирующих различные жизненные процессы в человеческом организме.

Конечно, в статье нельзя остановиться на всех назревших проблемах в области формирования агроэкологической политики. Но мы надеемся, что привлечение внимания специалистов, и особенно политической элиты, позволит более активно взяться за разработку агроэкологического направления в аграрной политике России.

Сохраняет значение и еще больше актуализируется более общая проблема совершенствования всей совокупности способов и мер воздействия государства, а также политических партий, других общественно-политических объединений и движений на систему "общество-природа" в целях оптимального разрешения возникающих в ней противоречий и создания тем самым благоприятных условий для жизни и деятельности че-

ловека, сохранения экосистемы.

* Из архивных и справочных материалов института ВолгаНИИгипрозем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зубаков В.А.* Параметры экогеософской стратегии выживания // *Общественные науки и современность.* М., 2000.
2. *Экология и политика.* Экология в программных документах Российских политических сил в преддверии парламентских выборов 1999 года. М., 1999.
3. *Иноземцев В.Л.* Современное индустриальное общество: природа, противоречия, перспективы. М., 2000.
4. *Щеглов Д.И.* Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. М., 1999.
5. *Акимов Т.А., Кузьмин А.П., Хаскин В.В.* Экология: Природа-Человек-Техника. М., 2001.
6. *Соловьев В.С.* Собр. соч. СПб., 1903. Т.6.
7. *Научные почвоведческие чтения.* Брянск, 2001.

AGRICULTURAL COMPONENTS OF POLITICAL ANALYSIS OF OUR STATE POLICY IN THE SPHERE OF AGRICULTURAL REFORMATION IN RUSSIA

© 2002 V.T. Lazarev

Samara Branch of Moscow State University of Service

In this article the author pays attention to some of the most important peculiarities of a general ecological crisis. Its importance is understood both by scientists and politicians. But nevertheless this understanding touches, as a rule, only rational utilization of resources and protection of the environment, and it means that this problem is considered only as a biological one. The author of this article investigates this problem using socionatural biospherical approach, which received recognition in modern political science and in ecological policy of our state. The urgency of ecological problems is caused by the processes of industrial development of Russia, which greatly influence agricultural production. It shows itself in its transformation, in changing of productivity, labour power, and also in exhaustion of traditional land use and in impoverishment of soils. The article considers the main tendencies to and transformation of different types of soils. It gives a scientific understanding of agroecology and defines some principles aims and tasks of state policy in the sphere of reformation of agriculture in our country.

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ СЕНОКОСОВ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ ОТ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В 1970-1999 ГГ.

© 2002 А.Н. Бармин¹, В.Б. Голуб²

¹ Астраханский государственный педагогический университет

² Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Рассмотрена зависимость продуктивности естественных сенокосов Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги на территории Астраханской области от метеорологических и гидрологических факторов. Было установлено достоверное влияние на урожайность сенокосов режима половодий, которые в настоящее время искусственно регулируются. Наиболее важными параметрами, влияющими на урожайность естественных сенокосов, являются максимальный расход и общий объем попуска воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла. Определены оптимальные значения этих параметров.

Введение

По данным экспликации земель площадь естественных сенокосов в Астраханской области около 420 тыс. га. На этих угодьях заготавливается основная масса грубых кормов для сельскохозяйственных животных области. Все природные сенокосные угодья Астраханской области находятся в долине Нижней Волги: в Волго-Ахтубинской пойме и дельте р. Волги. Растительный покров долины Нижней Волги существенно отличается от окружающих пустынных пространств Прикаспийской низменности. Эта территория занята мезофитными, гигрофитными и гидрофитными сообществами, продуктивность которых в несколько раз больше зональных фитоценозов. Связано это с тем, что в зональных условиях лимитирующим фактором фотосинтетической активности растений является вода. В долине Волги водообеспеченность растений гораздо выше.

С 60-х годов обводнение долины Нижней Волги регулируется. Искусственно регулируемые половодья не только увлажняют эту территорию, но и вымывают из почвы токсичные соли. Кроме того, воды половодий приносят на поверхность почвы тонкий наил, включающий как органические, так и минеральные вещества, которые удобряют сенокосные угодья.

Представляет интерес выявление зави-

симости продуктивности сенокосов Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги от метеорологических и, особенно, гидрологических факторов.

Материал и методика

В качестве данных, для расчета продуктивности сенокосов, использовались материалы статистического управления Астраханской области за 1970-1999 г.г. Усредненные данные по Ахтубинскому, Енотаевскому, Харабалинскому и Черноярскому районам характеризовали сенокосы Волго-Ахтубинской поймы; Володарского, Икрянинского Камызякского, Красноярского, Приволжского и Наримановского районов – дельты р. Волги (табл.1).

Для оценки зависимости урожайности сенокосов от факторов внешней среды использовался регрессионный анализ. Факторы, характеризующие гидрологические и метеорологические условия, которые мы проанализировали с точки зрения возможного их влияния на продуктивность лугов, представлены в табл.2. Следует сделать некоторые пояснения к этой таблице. Объем водного стока в створе Волгоградской ГЭС за второй квартал (W) принято приравнивать к объему половодий, которые после создания каскада волжских водохранилищ искусственно регулируются [1]. Гидрометеорологический пост

Таблица 1. Урожайность сенокосов Астраханской области, ц/га

Год	Волго-Ахтубинская пойма (Y_1)	Дельта р. Волги (Y_2)
1970	8,6	13,6
1971	9,2	13,7
1971	7,3	13,0
1972	8,1	13,2
1973	9,8	10,9
1974	5,2	11,1
1975	5,5	10,8
1976	8,6	12,7
1977	10,7	14,0
1978	8,7	11,7
1979	7,8	13,9
1980	6,1	13,2
1981	9,1	13,9
1982	8,8	13,7
1983	7,5	12,6
1984	11,1	14,6
1985	12,2	15,8
1986	10,6	15,5
1987	11,8	15,6
1988	11,2	14,5
1989	10,8	12,8
1991	11,0	13,5
1992	11,1	14,9
1993	12,4	13,4
1994	6,9	11,1
1995	7,9	10,8
1996	4,4	7,1
1997	8,9	12,0
1998	7,9	7,9
1999	7,1	9,3

в с. Енотаевке характеризует гидрологические и метеорологические условия, складывающиеся в районе Волго-Ахтубинской поймы. Такие же показатели по посту в г. Астрахани характеризуют условия в дельте р. Волги. Максимальные расходы воды в створе Волгоградской ГЭС и максимальные уровни подъема воды по рейкам водомерных постов в с. Енотаевке и г. Астрахани влияют на площадь затопления лугов. Чем выше эти показатели, тем больше площадь затопления се-

нокосных угодий. Продолжительность высоких расходов воды (21 тыс. м³/сек) в створе Волгоградской ГЭС – фактор, влияющий на длительность затопления лугов.

Кроме осадков, выпадающих за вегетационный период (за который мы принимаем период с температурами воздуха выше 10°C), мы включили в анализ осадки, выпадающие за четыре месяца холодного времени года, предшествующего половодью: декабрь-март. Следует заметить, что вегетационный период отчасти совпадает со временем, когда луга затоплены водами половодьев.

Результаты и обсуждение

Прежде чем пытаться выявить влияние каждого из перечисленных в табл.2 факторов на урожайность сенокосов, имеет смысл определить их взаимосвязь. Оценка степени связи факторов между собой была проведена с помощью вычисления коэффициентов корреляции. Как видно из табл.3, большинство факторов прямо или косвенно связаны друг с другом.

Делая последовательные срезы корреляционного цилиндра по П.В. Терентьеву [2], видно, что на уровне величины коэффициентов корреляции 0,7 можно выделить один относительно независимый фактор (М) и четыре относительно независимые плеяды:

- 1) $Q + W + S + H + H_1 + L + L_1 + T + T_1$;
- 2) $A + F$;
- 3) $A_1 + F_1$;
- 4) $C + C_1$.

В первой плеяде оказались связанными друг другом все гидрологические факторы, исключая максимальный расход воды во время половодий (М). Во второй – сумма осадков за год и вегетационный период по данным метеорологического поста в Енотаевке. В третьей – те же факторы по метеорологическому посту в Астрахани. В четвертой плеяде – суммы осадков за декабрь-март по посту в Енотаевке и за этот же период по посту в Астрахани.

То, что большинство гидрологических факторов, характеризующих половодья, оказались тесно связаны, вполне объяснимо. Режим попусков воды ведется по давно от-

Таблица 2. Проанализированные гидрологические и метеорологические факторы

№ п/п	Фактора	Условные обозначения	Единицы измерения	Размах колебаний
	Объем водного стока в створе Волгоградской ГЭС:			
1	за год	Q	км ³	167-320
2	за II квартал	W	км ³	62-152
3	максимальный расход воды	M	тыс. м ³ /сек	24-34
4	продолжительность расходов воды 21 тыс. м ³ /сек	D	дни	7-48
	Рейка водомерного поста в с. Енотаевка:			
5	максимальный уровень подъема воды;	H	м	5,6-8,0
6	длительность затопления отметки 5, 5 м;	T	дни	5-49
7	время перехода воды при ее спаде отметки 5,5 м. (число дней от 1.05)	L	дни	15-59
	Рейка водомерного поста в г. Астрахань:			
8	максимальный уровень подъема воды	H ₁	м	1,9-3,6
9	длительность затопления отметки 1,5 м;	L ₁	дни	12-84
10	время перехода воды при ее спаде отметки 1,5 м. (число дней от 1.05)	T ₁	дни	19-68
	Метеорологический пост Енотаевка, сумма осадков:			
11	за год	A	мм	84-390
12	декабрь-март	C	мм	29-61
13	вегетационный период	F	мм	27-225
	Метеорологический пост Астрахань, сумма осадков:			
14	за год	A ₁		77-358
15	декабрь-март	C ₁	мм	19-108
16	вегетационный период	F ₁	мм	8-235

работанному стандартному графику. При этом не менее трети годового водного стока проходит через створ Волгоградской ГЭС во второй квартал, что объясняет связь факторов Q и W.

Итак, оценивая влияние факторов внешней среды на продуктивность сенокосов, имеет смысл рассматривать, не все из них, а только пять групп.

Регрессионный анализ показал, что вли-

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между гидрологическими и метеорологическими факторами за 1970-1999 г.г.

	Q	W	M	D	H	H ₁	L ₁	T ₁	T	L	A	A ₁	C	C ₁	F	F ₁
Q	1															
W	0,86	1														
M	0,51	0,49	1													
S	0,79	0,90	0,34	1												
H	0,81	0,91	0,63	0,78	1											
H ₁	0,73	0,91	0,59	0,79	0,91	1										
L ₁	0,85	0,96	0,35	0,89	0,80	0,84	1									
T ₁	0,67	0,69	0,10	0,72	0,48	0,52	0,80	1								
T	0,84	0,97	0,39	0,88	0,85	0,87	0,96	0,75	1							
L	0,77	0,82	0,39	0,81	0,72	0,74	0,83	0,86	0,83	1						
A	0,07	0,11	0,06	0,05	0,06	0,10	0,12	0,21	0,19	0,22	1					
A ₁	0,10	0,07	0,15	0,13	0,15	0,18	0,10	0,04	0,18	0,15	0,52	1				
C	0,16	0,13	0,14	0,20	0,17	0,09	0,11	0,21	0,14	0,30	0,19	0,16	1			
C ₁	0,26	0,19	0,14	0,24	0,17	0,10	0,22	0,20	0,24	0,24	0,11	0,35	0,84	1		
F	0,08	0,10	0,23	0,12	0,17	0,07	0,05	0,07	0,02	0,02	0,88	0,39	0,12	0,15	1	
F ₁	0,02	0,04	0,12	0,08	0,10	0,02	0,12	0,10	0,12	0,05	0,50	0,84	0,11	0,02	0,50	1

Примечание: 1) Коэффициенты корреляции, превышающие значений 0,4 достоверны для 95%-го уровня вероятности

яние максимальных расходов воды на урожайность сенокосов поймы и дельты р. Волги лучше всего аппроксимируются полиномами второй степени: для поймы:

$$Y_1 = -77,2 + 5,77 M - 0,0949 M^2; \quad i = 0,50;$$

для дельты:

$$Y_2 = -77,3 + 6,16 M - 0,104 M^2, \quad i = 0,45,$$

где i – индекс корреляции.

Обе функции имеют примерно одинаковый максимум при $M = 30$ тыс. м³/сек.

Из первой плеяды факторов наибольший интерес для рассмотрения представляет фактор W – ежегодно планируемый параметр гидрологического режима попусков воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла. Уравнение второй степени, связывающее урожайность поймы с объемом половодий, имеет вид:

$$Y_1 = -5,68 + 0,262 W - 0,0011 W^2, \quad i = 0,56.$$

Анализ этого уравнения показывает, что наибольшие сборы сена достигаются в Вол-

го-Ахтубинской пойме при $W = 119$ км³. Для дельты Волги при такой же форме связи урожайности сенокосов с объемом попусков воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла уравнение регрессии имеет вид:

$$Y_1 = 1,33 + 0,224 W - 0,00103 W^2, \quad i = 0,39.$$

Как видно, теснота связи урожайности сенокосов дельты р. Волги с объемом половодий заметно меньше чем в пойме. Объясняется это тем, что дельта более обводнена, здесь выше естественный уровень грунтовых вод. Исследование вышеприведенного уравнения показывает, что максимальные урожайности сенокосов дельты бывают при несколько меньшем объеме половодий, чем в пойме, а именно, при объеме попусков 109 км³.

Связь урожайности сенокосов, как поймы, так и дельты с плеядами 2, 3 и 4 оказалась во всех случаях недостоверна для 95 % уровня вероятности. То есть, осадки, выпадающие над территорией долины Нижней Волги, как в целом за год, так и за различные его периоды, существенного влияния на уро-

жайность сенокосов не оказывают.

Закключение

Таким образом, из ряда проанализированных факторов внешней среды существенное влияние на урожайность естественных сенокосов Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги оказывают только гидрологические параметры половодий. Причем, при сложившемся режиме попусков их можно свести к двум - максимальным расходам воды во время половодий и общему объему попуска воды из Волгоградского водохранилища, осуществляемого во втором квартале. Оптимальным значением максимального расхода воды является 30 тыс. м³/сек, а общего объема по-

пуска - 110-120 км³.

Поскольку объем попуска воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла планируется в апреле-мае, а реальные сборы сена в низовьях Волги становятся известны лишь в сентябре-октябре, приведенные в статье уравнения позволяют за несколько месяцев до этого срока прогнозировать вероятные заготовки грубых кормов в Астраханской обл.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грин Г.Б. Попуски в нижние бьефы. М., 1971.
2. Терентьев В.П. Метод корреляционных плеяд // Вестник ЛГУ. Сер. биол. 1959. №9.

THE DEPENDENCE EVALUATION OF NATURAL GRASSLAND PRODUCTIVITY OF ASTRAKHAN REGION ON THE HYDROLOGICAL AND METEOROLOGICAL FACTORS DURING 1970-1999

© 2002 A.N. Barmin¹, V.B. Golub²

¹Astrakhan' State Pedagogical University

²Institute of Ecology of the Volga River Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti

The dependence of natural grassland productivity of Volga-Akhtuba flood plain and Volga river delta on the meteorological and hydrological factors on the territory of the Astrakhan region is reviewed. The significant effect of high water conditions on natural grassland productivity was established. Peak discharge and total amount of spill water from the Volgograd reservoir are the most important parameters, which influence on the productivity of natural grassland. The best value of these parameters is determined.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПАХОТНОМ СЛОЕ ПОЧВ ВЫСОКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

© 2002 В.Н. Матвеев

Самарский государственный университет

Установлено, что в пахотном слое (0...30 см) почв Высокого Заволжья содержатся мышьяк, кобальт, медь, железо, ртуть, никель, свинец, цинк и другие тяжелые металлы. В расчете на 1 га запасы тяжелых металлов в почве колеблются от 3,09...4,846 кг (Hg) до 96,4222... 145,0412 тонн (Fe). На всей посевной площади административных районов Самарской области в провинции Высокого Заволжья запасы тяжелых металлов в пахотном слое почв составляют: As - до 14256.154; Co - до 29443,377; Cu - до 69903,626; Hg - до 2227,254; Ni - до 76630,585; Pb - до 18578,694; Zn - до 173373,168; Fe - до 74548684,54 тонн.

Введение

Тяжелые металлы, относящиеся к числу наиболее опасных для биоты и человека загрязнителей природной среды, привлекают в настоящее время большое внимание исследователей [2, 3, 26].

Неоднократно доказана важная биологическая и биогеохимическая роль тяжелых металлов в биологических (организм, популяция) и биокосных (биогеоценоз, ландшафт и др.) системах [1, 5, 8, 11, 24, 27, 30, 31].

Установлено, что основным аккумулятором тяжелых металлов в наземных экосистемах является почва [1, 7, 10, 11, 15, 23, 24, 28]. В связи с этим интенсивно исследуется концентрация тяжелых металлов в почвенном покрове различных регионов: Подмосковье, Центральное Черноземье, Северный Кавказ, Среднее Поволжье, Западная Сибирь и др. [1-3, 7, 11, 23, 26, 28].

Подчеркнем, что, во-первых, большинство регионов России в названном направлении еще не изучены, а, во-вторых, концентрация тяжелых металлов, выраженная в процентах или в миллиграммах на килограмм (килограммах на тонну) почвы, достаточно четко не отражает реальных запасов отдельных элементов, так как для этого надо осуществить расчеты на определенную мощность (толщину слоя) и площадь почвы. Такого рода данных в научной литературе практически нет, а они необходимы для оценки биогеохимических путей миграции тяжелых металлов

по трофическим цепям. Этим и продиктовано выполнение данной работы.

Материалы и методы

Исследования осуществлялись в агрофитоценозах северо-восточных административных районов Самарской области, входящих в провинцию Высокого Заволжья, западная граница которой проходит по р. Кондурче, а южная - по рекам Малый Кинель и Большой Кинель [19].

Данная территория относится к лесостепной зоне и представляет собой возвышенно-увалисто-волнистую равнину с тяжелосуглинистыми и глинистыми выщелоченными, типичными и остаточно-карбонатными почвами на пахотных угодьях [19, 20].

В элементарных ландшафтах закладывались пробные площади 10×10 м, на которых после геоботанического описания из слоя 0...30 см с помощью лопаты отбирались усредненные образцы почвы для последующего элементного анализа, а также образцы для определения объемной массы с соблюдением общепринятых методов [1, 21]. В лабораторных условиях определяли объемную массу почвы [21], а средний образец воздушно-сухой почвы растирали в фарфоровой ступке, просеивали через капроновое сито с диаметром отверстий 1 мм и навеску 5г помещали в маркированные пергаментные пакеты.

Элементный анализ почвенных образцов осуществлен на установке "Элеан" в Харь-

ковском физико-техническом институте по характеристическому рентгеновскому излучению с относительной ошибкой средней арифметической 0,3...5,0%, что допустимо при статистической обработке [6].

Сведения о посевных площадях в исследуемых административных районах получены в управлении сельского хозяйства и продовольствия Самарской области. Содержание отдельных элементов в верхнем 30-сантиметровом слое пахотной почвы, в котором сосредоточено 60...70% корней культурных и сорных растений [11, 18], рассчитывали с учетом объемной массы почвы.

Результаты и их обсуждение

Исследования показали, что в пахотном слое почвы в агрофитоценозах всех административных районов Самарской области (Челно-Вершинский, Шенталинский, Клявлинский, Исаклинский, Сергиевский. Красноярский, Кинель-Черкасский, Похвистневский, Кинельский), входящих в геоморфологическую провинцию Высокого Заволжья, содержатся тяжелые металлы: As, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Ti, V, Zn. С учетом того, что официальные (государственные) санитарно-гигиенические нормативы определены не для всех выявленных нами элементов, в данной работе мы исследовали только As, Co, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn, которые, с одной стороны, наиболее распространены, а, с другой, оказывают особо негативное воздействие на живые организмы [7, 8, 11, 24].

По действующим нормативам [4, 14, 16, 17] для изучаемых элементов приняты следующие предельно-допустимые концентрации их валового содержания в почве: As - 2; Co - 50; Hg - 2; Ni - 85; Pb - 32; Zn - 100 мг/кг.

Как видно из табл.1, среднее (фоновое) содержание исследованных элементов в пахотной почве Высокого Заволжья колеблется в широких пределах, но не превышает ПДК. Исключение составляет Zn, которого в почвенном покрове Челно-Вершинского и Шенталинского районов больше ПДК, и As, концентрация которого превосходит данный норматив повсеместно.

Однако, на отдельных полях (локально)

содержание различных тяжелых металлов может существенно превышать ПДК. Так, в Красноярском, Кинель-Черкасском районах концентрация Co на локальных участках превышает ПДК в 1,7...1,8 раз, а в Кинельском районе - в 4,2 раза. Концентрация Cu в почве на отдельных полях Челно-Вершинского, Клявлинского, Исаклинского, Сергиевского, Красноярского, Кинель-Черкасского, Кинельского районов составляет от 1,4 до 4,3 ПДК. Только в почвенном покрове Шенталинского района максимальное содержание Cu существенно меньше ПДК (табл.1).

Нами отмечены поля во всех исследованных районах, за исключением Красноярского, в почве которых содержание Ni достигает от 1,03 до 2,8 ПДК. Превышение ПДК по содержанию Zn в пахотном слое почв на отдельных полях зафиксировано во всех районах Высокого Заволжья в 1,3...5,4 раза, а Pb - в Клявлинском, Исаклинском, Сергиевском, Красноярском районах в 1,09...1,8 раза.

Наибольшее среднее содержание железа в пахотном слое почв отмечено в Челно-Вершинском и Клявлинском районах. Однако, концентрация Fe в почвенном покрове Высокого Заволжья, во-первых, сильно варьирует, а во-вторых, на локальных участках может достигать больших величин (в Сергиевском районе - 61,422, в Клявлинском - 65,499 кг га) Это в 1,8...1,9 раза превышает региональный фон [11]. Установленное среднее содержание железа в пахотных почвах всех исследованных районов, за исключением Красноярского и Кинельского. также превосходит региональный фон.

Следует отметить, что среднее содержание в пахотном слое почвенного покрова Высокого Заволжья Co (Челно-Вершинский, Шенталинский, Исаклинский, Сергиевский. Красноярский, Кинель-Черкасский. Кинельский районы), Ni (Челно-Вершинский. Шенталинский, Клявлинский, Сергиевский, Красноярский. Кинель-Черкасский. Похвистневский. Кинельский районы), Pb (Исаклинский, Сергиевский районы). Zn (Челно-Вершинский, Шенталинский, Клявлинский, Исаклинский, Сергиевский, Красноярский районы) превышает региональный фон [11].

Таблица 1. Концентрация тяжелых металлов в почвенном покрове
Высокого Заволжья, мг/кг

Районы	As			Co		
	n	x ± m	max	n	x ± m	max
Челно-Вершинский	16	7,81 ± 1,4	17,0	16	15,5 ± 0,86	22,0
Шенталинский	28	11,9 ± 4,2	123,0	28	12,57 ± 0,51	16,0
Клявлинский	31	5,94 ± 0,88	19,0	31	15,52 ± 0,77	22,0
Исаклинский	26	5,88 ± 0,98	18,0	26	13,35 ± 0,82	20,0
Сергиевский	33	4,76 ± 0,82	17,0	33	13,58 ± 0,99	41,0
Красноярский	36	4,89 ± 0,7	14,0	36	16,22 ± 3,28	90,0
Кинель-Черкасский	35	4,74 ± 0,71	15,0	35	12,51 ± 2,23	86,0
Похвистневский	26	5,69 ± 1,03	18,0	26	12,12 ± 0,66	17,0
Кинельский	81	14,99 ± 2,33	102,0	81	20,27 ± 4,04	210,0
Районы	Cu			Fe		
	n	x ± m	max	n	x ± m	max
Челно-Вершинский	16	39,38 ± 5,17	79,0	16	43951,87 ± 1114,67	50427,0
Шенталинский	28	20,57 ± 1,47	37,0	28	34455,53 ± 1121,62	46348,0
Клявлинский	31	41,74 ± 3,84	98,0	31	44894,54 ± 2005,22	65499,0
Исаклинский	26	43,42 ± 8,69	238,0	26	40214,61 ± 118,57	58513,0
Сергиевский	33	38,42 ± 4,46	128,0	33	39424,84 ± 1235,78	61442,0
Красноярский	36	42,92 ± 5,37	159,0	36	30467,58 ± 2255,92	60030,0
Кинель-Черкасский	35	29,69 ± 3,03	84,0	35	36521,34 ± 1249,47	53786,0
Похвистневский	26	32,0 ± 2,63	56,0	26	36187,19 ± 1208,42	51224,0
Кинельский	81	30,59 ± 3,63	169,0	81	30038,07 ± 941,45	58372,0
Районы	Hg			Ni		
	n	x ± m	max	n	x ± m	max
Челно-Вершинский	16	1,0 ± 0,001	1,1	16	49,06 ± 10,76	128,0
Шенталинский	28	1,0 ± 0,01	1,01	28	44,36 ± 8,68	237,0
Клявлинский	31	1,0 ± 0,001	1,01	31	44,84 ± 8,07	138,0
Исаклинский	26	1,04 ± 0,04	2,0	26	26,0 ± 4,46	92,0
Сергиевский	33	1,03 ± 0,03	2,0	33	30,27 ± 4,63	88,0
Красноярский	36	1,11 ± 0,05	2,0	36	31,89 ± 4,38	84,0
Кинель-Черкасский	35	1,06 ± 0,04	2,0	35	44,66 ± 6,78	157,0
Похвистневский	26	1,0 ± 0,001	1,1	26	34,58 ± 8,16	169,0
Кинельский	81	1,51 ± 0,06	2,0	81	38,05 ± 3,82	119,0
Районы	Pb			Zn		
	n	x ± m	max	n	x ± m	max
Челно-Вершинский	16	6,38 ± 1,77	22,0	16	114,44 ± 12,8	203,0
Шенталинский	28	8,29 ± 1,39	27,0	28	105,82 ± 17,84	542,0
Клявлинский	31	10,81 ± 2,05	44,0	31	94,48 ± 8,14	186,0
Исаклинский	26	15,12 ± 2,34	59,0	26	97,88 ± 8,53	193,0
Сергиевский	33	12,06 ± 1,7	35,0	33	93,97 ± 7,35	221,0
Красноярский	36	9,83 ± 2,01	59,0	36	89,39 ± 7,49	219,0
Кинель-Черкасский	35	6,14 ± 1,1	20,0	35	73,49 ± 7,55	220,0
Похвистневский	26	10,3 ± 1,9	27,0	26	75,31 ± 6,62	127,0
Кинельский	81	5,88 ± 0,72	28,0	81	55,18 ± 4,46	183,0

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в пахотном слое (0...30 см) почвы в условиях Высокого Заволжья в расчете на единицу площади, кг/га

Районы	As		Co	
	n	x ± m	n	x ± m
Челно-Вершинский	16	25,773 ± 4,62	16	51,15 ± 2,84
Шенталинский	28	39,27 ± 13,86	28	41,481 ± 1,68
Клявлинский	31	18,355 ± 2,72	31	47,957 ± 2,38
Исаклинский	26	18,169 ± 3,03	26	41,252 ± 2,53
Сергиевский	33	14,708 ± 2,53	33	41,962 ± 3,06
Красноярский	36	15,697 ± 2,25	36	52,066 ± 7,38
Кинель-Черкасский	35	15,215 ± 2,28	35	40,157 ± 7,16
Похвистневский	26	17,582 ± 3,18	26	37,451 ± 2,04
Кинельский	81	48,118 ± 7,48	81	65,067 ± 12,97
Районы	Cu		Fe	
	n	x ± m	n	x ± m
Челно-Вершинский	16	129,954 ± 17,06	16	145041,17 ± 3678,41
Шенталинский	28	67,881 ± 4,85	28	113703,24 ± 3701,35
Клявлинский	31	128,976 ± 11,86	31	138724,12 ± 6196,13
Исаклинский	26	134,168 ± 26,85	26	124263,14 ± 366,38
Сергиевский	33	118,718 ± 13,78	33	121822,75 ± 3818,56
Красноярский	36	137,773 ± 17,24	36	97800,93 ± 7241,5
Кинель-Черкасский	35	85,675 ± 9,73	35	117233,5 ± 4010,79
Похвистневский	26	98,88 ± 8,13	26	111818,41 ± 3734,02
Кинельский	81	98,194 ± 11,65	81	96422,2 ± 3050,29
Районы	Hg		Ni	
	n	x ± m	n	x ± m
Челно-Вершинский	16	3,3 ± 0,003	16	161,598 ± 35,51
Шенталинский	28	3,3 ± 0,03	28	146,388 ± 28,64
Клявлинский	31	3,3 ± 0,003	31	138,555 ± 24,94
Исаклинский	26	3,214 ± 0,12	26	80,34 ± 14,34
Сергиевский	33	3,183 ± 0,09	33	93,534 ± 14,31
Красноярский	36	3,563 ± 0,16	36	102,367 ± 14,06
Кинель-Черкасский	35	3,403 ± 0,13	35	143,358 ± 21,76
Похвистневский	26	3,09 ± 0,003	26	106,852 ± 25,21
Кинельский	81	4,847 ± 0,19	81	122,14 ± 12,36
Районы	Pb		Zn	
	n	x ± m	n	x ± m
Челно-Вершинский	16	21,054 ± 5,84	16	377,852 ± 42,24
Шенталинский	28	27,357 ± 4,59	28	349,206 ± 58,87
Клявлинский	31	33,403 ± 6,33	31	291,943 ± 25,15
Исаклинский	26	46,721 ± 7,23	26	302,449 ± 26,36
Сергиевский	33	37,265 ± 5,25	33	290,367 ± 22,71
Красноярский	36	31,554 ± 6,45	36	286,942 ± 24,04
Кинель-Черкасский	35	19,709 ± 3,53	35	235,903 ± 24,23
Похвистневский	26	31,827 ± 5,87	26	232,708 ± 20,45
Кинельский	81	18,875 ± 2,31	81	177,128 ± 14,32

Это свидетельствует о том, что в названных районах, во-первых, отмечается повышенное загрязнение пахотных почв железом, кобальтом, никелем, свинцом и цинком, а, во-вторых, здесь действуют некоторые антропогенные источники данных элементов.

Содержание тяжелых металлов в 30-сантиметровом слое почв в расчете, на единицу площади отражает тот потенциальный запас, который доступен для корней растений. Наибольшие запасы As отмечены при этом в пахотной почве Кинельского, Шенталинского и Челно-Вершинского районов (25,773...48,118 кг/га), а наименьшие - в Сергиевском, Кинель-Черкасском и Красноярском (14,708...15,697 кг/га) районах (табл.2).

Запасы тяжелых металлов в почве исследованных районов Самарской области подвержены существенному варьированию: Co - от 37,451 до 65,067; Cu - от 67,881 до 137,773; Hg - от 3,09 до 4,847; Ni - от 80,34 до 161,898; Pb - от 18,875 до 46,721; Fe - от 96422,2 до 145041,2 кг/га.

Причем, если наибольший запас в пахотном слое почвы As, Co и Hg характерен для Кинельского района, то Cu - для Красноярского, Fe, Ni, Zn - для Челно-Вершинского, Pb для Исаклинского районов. Минимальные запасы в почве свойственны для As - в Сергиевском, Co - в Похвистневском, Cu - в Шенталинском, Hg - в Похвистневском, Ni - в Исаклинском, Fe, Zn, Pb - в Кинельском районах (табл.2).

В связи с повсеместным распространением в Высоком Заволжье глинистых и тяжелосуглинистых почв, их объемная масса варьирует незначительно: от 1,03 до 1,1 г/см³. Поэтому запасы тяжелых металлов в пахотном слое в расчете на единицу площади прямо зависят от их концентрации (табл.1 и 2). Попытка связать их с гумусированностью, эродированностью, биопродуктивностью пашни, ее обеспеченностью азотом, фосфором, калием, с климатическими условиями (атмосферные осадки, сумма активных температур), с общей оценкой техногенного загрязнения атмосферного воздуха конкретных административных районов Самарской области [9, 11, 19, 20, 22, 29] оказалась неудачной.

Таким образом, причины неравномерности в распределении тяжелых металлов в почвенном покрове исследованных районов остаются до конца не выясненными. Тем не менее, данные о запасах тяжелых металлов в корненасыщенном слое почв (табл.2) сами по себе совершенно необходимы для определения объемов отдельных элементов, извлекаемых с растениеводческой продукцией с единицы посевной площади [12, 13, 25].

Как видно из табл.3, в пахотном слое посевных площадей отдельных административных районов, входящих в провинцию Высокого Заволжья, аккумуляровано от 836,382 (Клявлинский район) до 3666,688 (Кинельский район) тонн As, от 1796,417 (Шенталинский район) до 4958,235 (Кинельский район) тонн Co, от 2939,722 (Шенталинский район) до 12146,664 (Сергиевский район) тонн Cu, от 142,913 (Шенталинский район) до 409,496 (Кинель-Черкасский район) Hg, от 4245,326 (Исаклинский район) до 17250,841 (Кинель-Черкасский район) тонн Ni, от 1029,983 (Челно-Вершинский район) до 3812,843 (Сергиевский район) тонн Pb, от 13302,966 (Клявлинский район) до 29709,48 (Сергиевский район) тонн Zn, от 4924146,215 (Шенталинский район) до 14107175,99 (Кинель-Черкасский район) тонн Fe.

В расчете на всю посевную площадь Высокого Заволжья запасы тяжелых металлов в пахотном слое почвы достигают: As - до 14256,154; Co - до 29443,377; Cu - до 69903,626; Hg - до 2227,254; Ni - до 76630,585; Pb - до 18578,694; Zn - до 173373,168; Fe - до 74548684,54 тонн. Они составляют начальное звено в биогеохимическом круговороте данных элементов.

Заключение

1. В пахотном слое почвенного покрова Высокого Заволжья содержатся тяжелые металлы (As, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Ti, V, Zn), из которых повсеместно распространены As, Co, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn, Cu.

2. Средняя концентрация тяжелых металлов в почве различных районов, входящих в провинцию Высокого Заволжья, колеблется в широких пределах: As - от 4,74 до 14,99,

Таблица 3. Аккумуляция тяжелых металлов в пахотном слое (0...30 см) почвы на посевных площадях Высокого Заволжья, тонн

<i>Районы</i>	<i>As</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>
Челно-Вершинский	1260,841 ± 226,01	2502,309 ± 138,93	6357,479 ± 834,59	7095559,078 ± 179951,49
Шенталинский	1700,666 ± 600,23	1796,417 ± 72,75	2939,722 ± 210,04	4924146,215 ± 160294,36
Клявлинский	836,382 ± 123,94	2185,256 ± 108,45	5877,049 ± 540,42	6321241,976 ± 282339,05
Исаклинский	960,086 ± 160,11	2179,838 ± 133,69	7089,705 ± 1418,81	6566312,844 ± 19360,25
Сергиевский	1504,878 ± 258,86	4293,426 ± 313,09	12146,664 ± 1409,93	12464538,31 ± 390703,6
Красноярский	1162,347 ± 166,61	3855,435 ± 546,48	10201,952 ± 1276,6	7242061,066 ± 536225,83
Кинель-Черкасский	1830,882 ± 274,36	4832,252 ± 861,59	10309,615 ± 1170,85	14107175,99 ± 482634,4
Похвистневский	1333,384 ± 241,16	2840,209 ± 154,71	7498,861 ± 616,56	8480084,578 ± 283180,61
Кинельский	3666,688 ± 569,99	4958,235 ± 988,34	7482,579 ± 887,75	7347564,484 ± 232438,2
Сумма	14256,154	29443,377	69903,626	74548684,54
	<i>Hg</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
Челно-Вершинский	161,439 ± 0,15	7920,212 ± 1737,18	1029,983 ± 285,69	18475,113 ± 2066,42
Шенталинский	142,913 ± 1,29	6339,625 ± 1240,31	1184,749 ± 198,78	15123,064 ± 2549,48
Клявлинский	150,371 ± 0,14	6313,535 ± 1136,44	1522,074 ± 288,44	13302,966 ± 1146,01
Исаклинский	169,834 ± 6,34	4245,326 ± 757,75	2468,831 ± 382,05	15982,01 ± 1392,91
Сергиевский	325,675 ± 9,21	9570,118 ± 1464,16	3812,843 ± 537,16	29709,48 ± 2323,62
Красноярский	263,836 ± 11,85	7580,174 ± 1041,13	2336,542 ± 477,62	21247,768 ± 1780,14
Кинель-Черкасский	409,496 ± 15,64	17250,841 ± 2618,47	2371,663 ± 424,78	28387,151 ± 2915,69
Похвистневский	234,339 ± 0,23	8103,442 ± 1911,87	2413,696 ± 445,17	17648,109 ± 1550,89
Кинельский	369,351 ± 14,48	9307,312 ± 941,85	1438,313 ± 176,03	13497,507 ± 1091,21
Сумма	2227,254	76630,585	18578,694	173373,168

Со - от 12,12 до 20,27, Cu - от 20,57 до 43,24, Hg - от 1,0 до 1,51, Ni - от 26,0 до 49,06, Pb - от 5,88 до 15,12, Zn - от 55,18 до 114,44, Fe - от 30038,07 до 44894,54 мг/кг. На локальных участках содержание As, Co, Cu, Ni, Zn, Pb в почве превышает установленные ПДК.

3. Потенциально доступные для корней растений запасы тяжелых металлов в 30-сантиметровом слое пахотных почв в расчете на 1 га составляют: As - 14,709...48,118; Co - 37,451...65,067; Cu - 67,881...137,773; Hg - 3,09...4,847; Ni - 80,37...161,898; Pb - 18,875...46,721; Fe - 96422,2...145041,2 кг/га

4. В расчете на посевную площадь всех административных районов, входящих в провинцию Высокого Заволжья, запасы тяжелых металлов в пахотном слое почвенного покрова достигают: As - до 14256,154; Co - до 29443,377; Cu - до 69903,626; Hg - до 2227,257; Ni - до 76630,585; Pb - до 18587,694; Zn - до 173373,168; Fe - до 74548684,54 тонн. Они составляют начальное звено в биогеохимическом круговороте данных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А.* Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Наука, 1990.
2. Геохимия биосферы // Тез. докл. III междунар. совещ., посвящ. 10-летию НИИ геохимии биосферы Ростовск. гос. ун-та / Под ред. В.А. Алексеев. Ростов-на-Дону: Ростовский гос. ун-т, 2001.
3. Геохимия биосферы // Тез. докл. II междунар. совещ., посвященного памяти проф. А.И. Перельмана. Новороссийск, 1999.
4. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почва. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. М.: Госстандарт, 1984
5. *Добровольский В.В.* Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами // Почвоведение. 1999. №3.
6. *Зайцев Г.Н.* Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984.
7. *Ильин В.Б.* Оценка буферности почв по отношению к тяжелым металлам // Агрохимия. 1995. №10.
8. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989.
9. Карта состояния и деградации земель Самарской области (по результатам обследования 1991 года). Самара: ВолгоНИИ-гипрозем, 1991.
10. *Касимов Н.С., Перельман А.И.* О геохимии почв // Почвоведение. 1992. №2.
11. *Матвеев Н.М., Павловский В.А., Прохорова Н.В.* Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Самарский университет, 1997.
12. *Матвеев Н.М., Прохорова Н.В., Матвеев В.Н.* К вопросу о массообмене в системе "почва-растения" на примере агрофитоценозов Кинельского района Самарской области // Изучение и охрана биологического разнообразия ландшафтов Русской равнины. Сб. матер. междунар. науч. конф. Пенза, 1999.
13. *Матвеев Н.М., Прохорова Н.В., Матвеев В.Н.* Об объемах тяжелых металлов, вовлекаемых в биогеохимический круговорот из почвы с растениеводческой продукцией в условиях Высокого Заволжья // Геохимия биосферы. Тез. докл. III междунар. совещ. Ростов-на-Дону: Ростовский ун-т, 2001.
14. Нормативные данные по предельно-допустимым уровням загрязнения вредными веществами объектов окружающей среды. Справочный материал. СПб., 1993.
15. *Обухов А.И., Попова А.А.* Сезонная динамика и пространственная вариабельность содержания тяжелых металлов в почвах и почвенно-грунтовых водах // Почвоведение. 1992. №9.
16. Письмо Госкомприроды СССР от 28.01.91 г. №04-19-16/198 "О загрязнении почв опасными веществами".
17. Письмо Минприроды РФ от 09.03.1995 г. №25/8-34. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель (утв. Роскомземом 28 дек. 1994 г., Минсельхозпродом РФ 26 янв.

- 1995 г., Минприроды РФ 15 февр. 1995 г.)
18. *Подгорный П.И.* Растениеводство. 2-е изд., перераб. М.: Сельскохозяй. лит-ра, 1963.
 19. Почвенная карта Куйбышевской области. М. 1:300000. М.: Гл. упр-е геодезии и картографии при СМ СССР, 1988.
 20. Почвы Куйбышевской области / Под ред. Г.Н. Лобова. Куйбышев: Куйбыш. кн. изд-во, 1985.
 21. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 1989.
 22. *Горелов М.С., Матвеев В.И., Устинова А.А. и др.* Природа Куйбышевской области / Куйбышев: Куйбыш. кн. изд-во, 1990.
 23. *Протасова Н.А., Щербакова А.П., Копалева М.Т.* Редкие и рассеянные элементы в почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Воронежский ун-т, 1992.
 24. *Прохорова Н.В., Матвеев В.Н., Матвеев Н.М.* Извлечение тяжелых металлов из почвы с урожаем сельскохозяйственных растений в агрофитоценозах Кинельского района Самарской области // Вопросы экологии и охраны природы в лесостепной и степной зонах. Междунар. межвед. сб. науч. тр. Самара: Самарский университет, 1999.
 25. *Прохорова Н.М., Матвеев Н.М., Павловский В.А.* Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Самарский университет, 1998.
 26. Тяжелые металлы в окружающей среде: Матер. междунар. симпозиума / Под ред. В.Н. Башкина. Пущино: ОНТИ НЦБИ РАН, 1997.
 27. *Цветкова Н.Н.* Особенности миграции органо-минеральных веществ и микроэлементов в лесных биогеоценозах степной Украины. Днепропетровск: Днепропетр. ун-т, 1992.
 28. *Росляков Н.А., Ковалев В.П., Сухоруков Ф.В. и др.* Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды / Под ред. Г.В. Полякова. Новосибирск: СО РАН, 1996.
 29. Экологическая ситуация в Самарской области. Состояние и прогноз / Под ред. Г.С. Розенберга и В.Г. Беспалого. Тольятти: Ин-т экологии Волжского бассейна РАН, 1994.
 30. *Ягодин Б.А.* Тяжелые металлы в системе почва-растение // Химия в сельском хозяйстве. 1996. №5.
 31. *Punz W., Engenhardt M., Kyrber-Ulrich S., Kovacs G., Punz-Guschlbauer U., Thonke A., Wielönder B., Wieshofer J.* Pflanzen auf Schwermetallhalten in Ostalpenraum – Neue Befunde // Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss. Math. Naturwiss. Kl. Abt. I. 1993. B.200. №1-10.

HEAVY METAL RESERVES IN THE ARABLE LAYER OF THE HIGH ZAVOLZHYE SOILS

© 2002 V.N. Matveev

Samara State University

The arable layer of the High Zavolzhye soil-cover contains heavy metals (As, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Ti, V, Zn), the following of which are spread in all areas: As, Co, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn and Cu. The average concentration of heavy metals in the soils of different regions, included within the province of High Zavolzhye, ranges between widely spread limits: from 4,74 to 14,99 mg/kg As, from 12,12 to 20,27 mg/kg Co, from 20,57 to 43,24 mg/kg Cu, from 1,0 to 1,51 mg/kg Hg, from 26,0 to 46,06 mg/kg Ni, from 5,88 to 15,12 mg/kg Pb, from 55,18 to 114,44 mg/kg Zn, from 30038,07 to 44894,54 mg/kg Fe. In local areas the As, Co, Cu, Ni, Zn, Pb elements content in the soil exceeds the established M.A.C.

Heavy metal reserves in the 30 cm layer of the arable soils (from an estimation of 1 hectare), potentially accessible to plant roots, are in kilogrammes/hectare: As – 14,709...48,118; Co – 37,451...65,067; Cu – 67,881...137,773; Hg – 3,09...4,847; Ni – 80,37...161,898; Pb – 18,875...46,721; Fe – 96422,2...145041,2.

Based upon the areable area of all the administrative regions, included within High Zavolzhye province, the heavy metals stock in arable soil-cover reach: up to 14256,154 of As, 29443,377 of Co; 69903,626 of Cu; 2227,254 of Hg; 76630,585 of Ni; 18578,694 of Pb; 173373,168 of Zn and 74548684,54 of Fe tonnes. They form the initial link in the biochemical cycle of the above mentioned elements.

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ В ПШЕНИЦЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СТОЧНЫХ ВОД

© 2002 С.В. Мурзаева

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Исследовали накопление тяжёлых металлов (ТМ) в зерне пшеницы при воздействии многокомпонентных загрязнителей (промышленных стоков разной степени очистки). Показано, что степень очистки стоков определяет абсолютное содержание токсических металлов: *Zn, Cd, Cu, Cr, Ni, Co, Pb* и *Mn*. Увеличение загрязнённости зерна ТМ сопровождалось повышением уровня активностей антиоксидантных ферментов: супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы в листьях и супероксиддисмутазы, пероксидазы в корнях проростков. Обнаружено высокое отношение мембранных форм ферментов к цитозольным. Обсуждается мембранотропное воздействие многокомпонентных загрязнителей, опосредованное ТМ (через образование активных форм кислорода), которые индуцировали антиоксидантную защиту в проростках нового поколения пшеницы.

Открытые системы сброса промышленных и бытовых стоков являются многокомпонентными загрязнителями. Проблема оценки токсичности смесей загрязнителей заключается в малой изученности механизмов аддитивного, синергического и конкурентного взаимодействия составляющих вредных веществ [1]. Разнообразный состав, химическое взаимодействие и динамика изменений присутствующих компонентов усложняет проблему. Особо опасными токсичными веществами в стоках представляются тяжёлые металлы (ТМ) [2]. ТМ способны метаболизировать в растениях и накапливаться в их биомассе [3]. По пищевым цепям, через растения, они попадают в организм животных и человека, вызывая тератогенное, мутагенное и канцерогенное действие [4].

В литературе обсуждаются вопросы инициирования тяжёлыми металлами свободнорадикальных реакций при контакте с биологическими мембранами, приводящие к образованию активных форм кислорода (АФК) [5] и индуцированию окислительных стрессов [6]. В живых организмах существует многоуровневая система защиты от окислительного стресса, включающая специализированные антиоксидантные ферменты и низкомолекулярные антиоксиданты. Ферментные системы супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ) и пероксидазы (ПО)

составляют первую линию защиты от окислительного стресса, регулируя уровень и устранения излишки АФК [7]. Степень устойчивости и надёжности живых систем, их старение в сильной степени зависят от активности антиоксидантных ферментов [8]. Существуют доказательства экспрессии генов СОД, КАТ и других антиоксидантных белков, индуцированных ТМ и АФК – супероксидом кислорода (O_2^-) и перекисью водорода (H_2O_2) [7, 9, 10]. С этой точки зрения, идентификация мишеней воздействия многокомпонентных загрязнителей по изменению активностей защитных антиоксидантных ферментов представляется актуальной задачей для выявления механизмов трансформации ТМ в растениях.

В настоящей работе исследовали накопление ТМ в пшенице под влиянием промышленных стоков разной степени очистки. Проведена оценка изменения генеративной и ферментативной антиоксидантной функций в проростках в зависимости от уровня загрязнённости зерна токсичными ТМ.

Методика

Пшеницу (не сортовую) выращивали в вегетационных ящиках при естественном освещении на открытом воздухе. Поливали свежесобранными стоками 1-2 раза в неделю (1 л на 10 см² при плотности посева семян 1

шт на см²). Контрольные варианты поливали отстоянной водопроводной водой. Использовали сточные воды завода производства минеральных удобрений разной степени очистки: А₁ – стоки после биологической очистки, А₂ – неочищенные стоки и СМ – условно-чистые, содержащие промышленные и бытовые стоки города. Во избежание постороннего увлажнения, ночью и во время дождя, вегетационные сосуды с растениями накрывали пленкой. После созревания урожая, целые растения с корнем отмывали от почвы, высушивали и обмолачивали зерно. В отдельных частях – колосках без зерна, стеблях с листьями, корнях и молотом зерне определяли тяжелые металлы методом атомно-адсорбционной спектроскопии [11].

Семена полученного урожая пшеницы проращивали в темноте, в чашках Петри на фильтровальной бумаге по 100 шт в 3-х повторностях. Увлажняли по мере подсыхания дистиллированной водой. Наклюнувшиеся семена выставляли на свет под люминесцентные лампы (интенсивность 20 Вт м⁻²) и выращивали, с периодом освещения 12 ч, при температуре 20-27°. Прорастание учитывали по количеству наклюнувшихся семян, биомассу – по весу зеленой массы проростков. В гомогенатах растертых листьев, определяли концентрацию хлорофилла по Вернону [12].

Цитозольные и мембранные белки выделяли из листьев и корней проростков. Навеску растительного материала, 2 г, растирали в ступке с жидким азотом в 20 мл среды, содержащей 50 мМ КН₂РO₄ и 0,5 мМ этилендиаминтетраацетат (ЭДТА), рН 7,8. Гомогенат листьев или корней фильтровали через четыре слоя капрона и центрифугировали 30 мин при 17000 g. Супернатант использовали для выделения цитозольных, а осадок – для выделения мембранных белков.

Супернатант пропускали через обеззоленный бумажный фильтр, растворимые белки из фильтрата осаждали сульфатом аммония до 80 % насыщения, выдерживая сутки в холодильнике. Высоленные белки отделяли центрифугированием 15 мин при 1300 g, растворяли в минимальном объеме среды, содержащей 0,01 М фосфатный буфер, рН 7,8 и

0,1 мМ ЭДТА, затем обессоливали на колонке с сефадексом g-25, уравновешенной 0,05 М Трис – ацетатным буфером, рН 8,0. В полученном элюате определяли активность растворимых цитозольных ферментов.

Мембранные белки получали из осадка ступенчатым экстрагированием, как описано в работе [13]. Первую экстракцию проводили 1 М NaCl, выдерживая раствор 1 ч при 4°, непрерывно перемешивая. Экстракт отделяли центрифугированием и обессоливали на колонке с сефадексом g-25, как описано выше. Элюат содержал от 40 до 70 % мембранных ковалентно связанных белков. Оставшийся осадок обрабатывали охлажденным до -18° абсолютным ацетоном (объемное отношение осадка к ацетону 1:9), выдерживали, помещивая, 1 ч на ледяной бане, затем после осаждения на центрифуге (режим указан выше), промывали охлажденным 80 % ацетоном до полного удаления пигментов. Ацетоновые экстракты, содержащие растворимые пигменты и липиды, отбрасывали. Оставшийся осадок подсушивали под феном и из него экстрагировали липидорастворимые мембранные белки раствором, содержащим 10 мМ фосфатный буфер и 0,1 мМ ЭДТА, рН 7,8, непрерывно помещивая 1 ч при 4°. Нерастворимую фракцию отделяли центрифугированием и заливали раствором 100 мМ NaOH на 1 ч при 4° для экстрагирования щелочнорастворимых мембранных белков. В результате последовательных трех экстракций удавалось наиболее полно (до 98 %) извлечь труднорастворимые мембранные белки из растений.

В экстрактах, содержащих цитозольные и мембранные белки, определяли содержание белка по методу Бредфорд [14] и активность антиоксидантных ферментов: супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ), пероксидазы (ПО), как описано в работе [15]. За 1 относительную единицу активности СОД принято количество фермента, ингибирующее восстановление нитросинего тетразолия на 50 %, на мг белка в пробе. За единицу активности КАТ (или ПО) принято количество фермента, разрушающего 1 мкмоль Н₂О₂ (или ммоль) в мин на мг белка в пробе.

В работе использовали реактивы отече-

ственного производства марки Х.Ч. и О.С.Ч., кроме: НАДН и ЭДТА фирмы "Reanal" (Венгрия), сефадекс g-25 средний и ФМС фирмы "Serva" (Швеция).

Результаты

В пшенице, выращенной при поливе сточными водами A_1 , A_2 и СМ, определяли девять металлов - *Fe*, *Mn*, *Cu*, *Zn*, *Cr*, *Co*, *Ni*, *Pb* и *Cd*. Все эти элементы присутствуют в сточных водах, сбрасываемых в водохранилище [16]. В табл.1 представлено абсолютное содержание исследуемых элементов и их суммы (ΣTM) в четырех вариантах пшеницы (контроль, A_1 , A_2 , СМ) в целых растениях и в отдельных частях - корнях, зерне, соломе (листья + стебель и колос без зерна). Для удобства сравнения с контролем, увеличение содержания тяжелых металлов в опытных вариантах A_1 , A_2 и СМ выделено в таблице затенением ячеек и жирным шрифтом.

Суммарное содержание элементов в целых растениях пшеницы (ΣTM) соответствует принятой классификации абсолютного содержания металлов в растениях на кг сухой массы [3, 17]: высокие концентрации (выше 100 мг) - *Fe*, *Mn*, *Zn*; средние (1-100 мг) - *Cu*, *Cr*, *Ni*, *Co*, *Pb* и низкие (меньше 1 мг) - *Cd*, табл. 1. Характер распределения элементов по органам пшеницы акропетальный [3], однако, несмотря на концентрирование ТМ в корнях, они активно переходят в надземные части растений и накапливаются в зерне. Для сравнения показаны ПДК *Cu*, *Zn*, *Cr*, *Co*, *Ni*, *Pb* и *Cd*, допускаемые ГОСТом в зерне и кормовых [18]. Исходя из норм ПДК, можно сказать, что контрольный вариант зерна пшеницы загрязнен и неудовлетворителен по содержанию *Co*, *Ni*, *Pb*, а соломы - *Zn*, *Cr*. Возможно, это было связано с загрязнением почвы, которую использовали для выращивания пшеницы. По данным работы [19] в почвах нашего региона содержание этих металлов, превышает величины кларка.

Сравнивая с контролем, можно видеть, что сточные воды избирательно способствовали накоплению элементов в пшенице (целое растение). Воды A_1 снижали на 27-47% содержание *Cd*, *Pb*, *Co*, незначительно уве-

личивали - *Fe*, *Mn*, *Cr*, *Ni*. Общий уровень тяжелых металлов, ΣTM , под действием этих стоков был повышен только на 5 %.

Воды СМ увеличивали накопление *Cd*, *Ni*, *Mn* и *Cu* на 6-14 %, концентрации остальных металлов - уменьшали, особенно, *Fe* и *Co* (на 22 и 42 %), в итоге сумма элементов была уменьшена на 20 %.

Воды A_2 способствовали накоплению всех металлов, кроме *Co*. Значительно увеличивали содержание *Fe* и *Cr* (на 71 и 101%). Общий уровень металлов в растениях возрастал на 67 %. Причиной тому, по-видимому, была большая загрязненность неочищенных стоков, по сравнению с двумя другими, которые частично очищаются [16 с.140].

По суммарному накоплению ТМ целыми растениями, исследуемые варианты пшеницы представляют ряд: $A_2 > A_1 > K > CM$, что показывает зависимость действия стоков от очистки и положительное влияние условно-чистых стоков СМ. Такой же ряд соответствует загрязнению ТМ корней. Однако, при распределении металлов по другим органам пшеницы ряд накопления ΣTM варьирует: в соломе - $A_2 > A_1 > CM > K$, а в зерне - $CM > K > A_2 > A_1$.

Относительно накопления ТМ зерном, следует отметить, что все стоки способствовали активному транспорту из корней в зерно *Zn* и *Mn*. Стоки СМ оказывали заметное действие по продвижению *Cr* и *Fe* из корней в зерно. В данном случае превышение по железу в зерне составляло в 1,5 раза, а по хрому в 10 раз по сравнению с контролем, поэтому приоритетными загрязнителями зерна по ΣTM были стоки СМ.

Оценивая фитотоксичность пшеницы в целом, отметим, что в основном, ТМ аккумулируется в корнях и, следовательно, остаются в почве. Определенная часть металлов трансформируется по растению и, в зависимости от метаболизма фотосинтезирующими органами, попадает в стебли, листья и зерно. В итоге, солома (кормовой продукт для скота) обогащена не менее чем 5-7, а зерно - 3-4 аккумулярованными элементами. Среди них высоко токсичные - *Zn*, *Cd* и токсичные - *Cu*, *Cr*, *Ni*, *Co*, *Pb*, *Mn* (классификация токсично-

Таблица 1. Содержание металлов в пшенице, мг на кг сухой массы

Вариант пшеницы	Органы пшеницы	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Cr</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Cd</i>	Σ TM
Контроль	корни	4550,8	117,3	10,4	44,8	6,1	2,1	9,9	2,63	0,13	4744,16
	*солома	322,3	76,9	7,2	52,9	0,74	1,7	2,5	0,95	0,23	465,42
	зерно	35,6	44,7	4,3	39,5	0,07	2,1	2,2	0,71	0,12	129,3
	целое растение	4908,7	238,9	21,9	137,2	6,91	5,9	14,6	4,29	0,48	5338,88
Стоки А ₁	корни	4773,3	117,8	10,7	34,8	6,26	2,0	10,1	2,21	0,14	4957,31
	солома	415,8	82,3	7,0	46,9	1,08	1,1	3,6	0,69	0,1	558,57
	зерно	11,3	48,4	3,1	47,6	н/о	н/о	2,5	н/о	0,11	113,01
	целое растение	5200,4	248,5	20,8	129,3	7,34	3,1	16,2	2,9	0,35	5628,99
Стоки А ₂	корни	7800,4	139,7	13,2	42,2	13,02	3,4	13,7	2,95	0,14	8028,71
	солома	606,9	101,4	6,6	52,0	0,89	2,3	3,8	2,62	0,21	776,72
	зерно	9,7	54,0	4,4	49,5	н/о	н/о	2,5	0,54	0,27	120,91
	целое растение	8417,0	295,1	24,2	143,7	13,91	5,7	20,0	6,11	0,62	8926,34
Стоки СМ	корни	3433,0	132,8	11,8	33,9	5,6	1,0	9,1	1,69	0,21	3629,1
	солома	333,3	84,5	8,0	42,3	0,92	1,7	4,3	2,17	0,19	477,38
	зерно	53,0	55,2	3,6	52,5	0,2	0,7	2,2	н/о	0,11	167,51
	целое растение	3819,3	272,5	23,4	128,7	6,72	3,4	15,6	3,86	0,51	4273,99
ГОСТ 1986 г	ПДК для зерна,	-	-	10	50	0,35	0,06	0,7	0,5	0,1	
	для кормовых	-	-	30	50	0,5	-	-	3,0	0,5	

Таблица 2. Влияние стоков на генеративную функцию семян пшеницы

Вариант	Проросло, %	Зеленая часть			
		Рост, см	Биомасса растений, 100 г	Хлорофилл, мкг на мг сырой массы	Белок,*
Контроль	97	5	4,4	0,95	32
A ₁	98	9	7,0	0,95	34
A ₂	99	7	5,6	0,9	29
СМ	98	8	5,4	1,0	37

Примечание: * - общий белок (мембранные + цитозольные белки). Возраст проростков 9 суток, освещение 20 Вт на м². Приведены средние данные трех биологических опытов, хлорофилл и белок определяли в каждом опыте в двух аналитических повторностях - отклонение от среднего не превышало $\pm 5\%$.

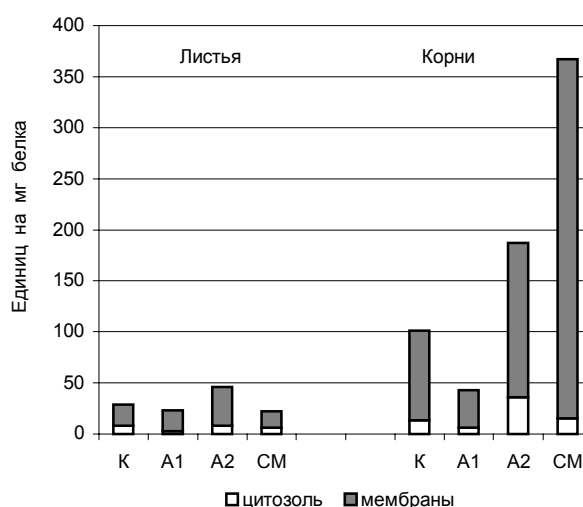
сти элементов по ГОСТу 1983 [20]). Качественный состав стоков и степень их очистки определяли абсолютное содержание токсикантов в органах пшеницы. Так, стоки A₁, прошедшие биологическую очистку аккумулялировали в зерне *Mn*, *Zn* и *Ni*, стоки A₂ - *Mn*, *Zn*, *Ni* и *Cd*, а стоки СМ - *Mn*, *Zn* и *Cr*. Содержание *Ni* в зерне соответствующих вариантов превышало ПДК в 3,6, *Cd* - в 2,7, а *Zn* - 1,05 раза. В то же время стоки A₁ и СМ ограничивали поступление в репродуктивные органы пшеницы *Cd*, *Pb* и *Cu*. В итоге ряд загрязнения зерна токсичными ТМ соответствует степени очистки стоков: A₂ > СМ $\geq$ A₁ > К и отличается от такового по суммарному накоплению ТМ зерном, где на первое место выходили стоки СМ и контроль, а затем уже A₂ и A₁.

Пролонгирующее действие ТМ на генеративную функцию полученных семян показано в табл.2. Оказалось, что семена всех четырех вариантов пшеницы при проращивании имели одинаковую энергию прорастания. По скорости роста и наращиванию зеленой биомассы все опытные варианты проростков опережали контроль. Наибольшие показатели по биомассе имели проростки A₁. Впрочем, такие же результаты были получены нами при проращивании "родительских" семян в присутствии соответствующих стоков [21]. Следовательно, те изменения, которые произошли на уровне родительских форм под воздействием стоков проявились при генерации нового поколения, но каких-либо новых морфологических отклонений

обнаружено не было.

Проростки практически не различались по биохимическим показателям - содержанию хлорофилла и белка. Незначительные изменения, которые наблюдали, скорее можно расценивать как тенденцию негативного или положительного влияния соответствующих стоков на биохимические синтезы белков и пигментов в пшенице.

Главные и заметные изменения на биохимическом уровне обнаружены в антиоксидантной защите проростков. Они проявлялись в изменении активностей ферментов СОД, КАТ и ПО. Эти ферменты присутствуют в растительной клетке в мембранах и цитозоле [13, 15, 22]. На рис.1, 2, 3 представлены активности мембранных и цитозольных форм ферментов в листьях и корнях исследу-

**Рис. 1.** Активность супероксиддисмутазы в проростках пшеницы

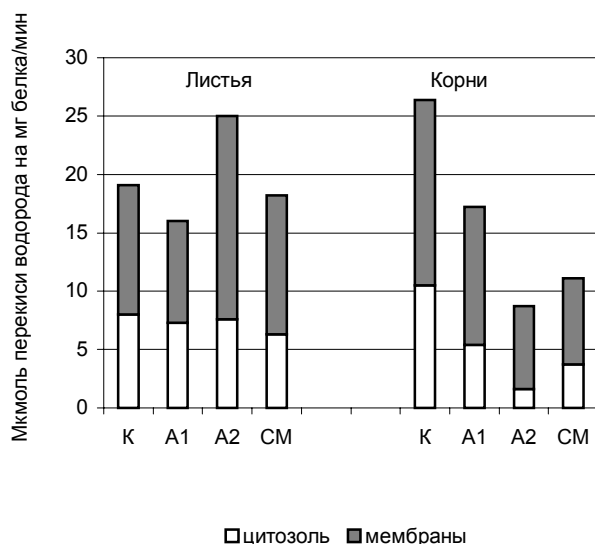


Рис. 2. Активность каталазы в проростках пшеницы

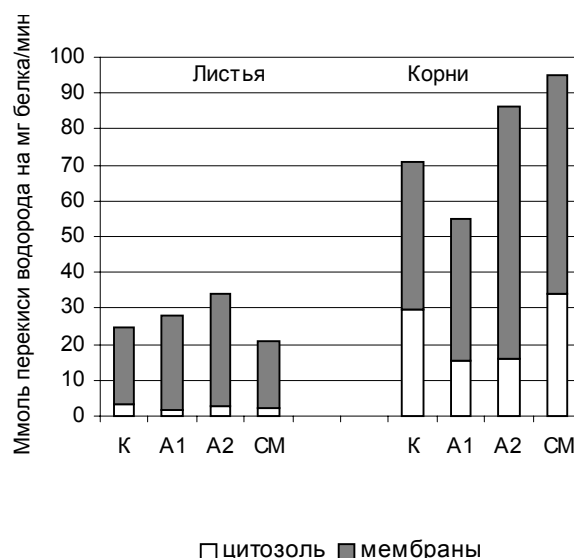


Рис. 3. Активность пероксидазы в проростках пшеницы

емых вариантов проростков пшеницы.

На рис.1. показаны изменения активности СОД. Характерным признаком была большая активность СОД в корнях, по сравнению с листьями (в 2-16 раз) и преобладание активности мембранной формы фермента над цитозольной. В листьях отношение мембранная/цитозольная СОД варьировало в пределах 2,5-9,2 раза, в корнях – 4,2-22,8. Сравнивая с контролем, видно, что стоки A_1 повлияли на уменьшение активности фермента в листьях и корнях в 1,3 и 2,3 раза, а A_2 - на увеличение - в 1,6 и 1,9 раза, соответственно. Воды СМ уменьшали активность СОД в листьях в 1,3, но увеличивали - в корнях в 3 раза. Увеличения активности связаны, в основном, с мембранной формой фермента.

В отличие от СОД, каталазная активность была выше в листьях, а не в корнях, за исключением контроля, и отмечалось наличие большей доли цитозольной формы фермента, рис.2. Отношение мембранная/цитозольная КАТ было меньше чем для СОД (варьировало в пределах 1,2-2,3), но преобладала также мембранная форма. Увеличение активности КАТ в 1,3 раза происходило только в листьях проростков A_2 и оно было связано, в основном, с мембранной формой. В остальных случаях наблюдали уменьшение активности КАТ - незначительное в листьях A_1 (в 1,2 раз) и более сильное в корнях

A_1 , A_2 и СМ (в 1,5 - 3 раза).

Общая активность ПО в проростках, также как и СОД, была выше в корнях (в 2-5 раз), по сравнению с листьями, рис.3. Подобно СОД в листьях присутствовала, в основном, мембранная форма фермента и следы цитозольной. В корнях обнаруживали обе формы пероксидазы с преобладанием в 1,4 – 2,6 раза мембранной над цитозольной. Стоки A_1 незначительно повышали активность ПО в листьях (в 1,1), A_2 - в листьях и корнях (в 1,4 и 1,2, соответственно), а СМ - только в корнях (в 1,3 раза). Стоки СМ способствовали снижению активности фермента в листьях (в 1,2), а стоки A_1 - в корнях (в 1,3 раза).

Динамика изменения активностей ферментов в зависимости от стоков, в процентном отношении к контролю, показана в табл.3. Видно, что колебания активности СОД в проростках происходили в пределах от -58 до +265, КАТ – от -67 до +30, а ПО - от -23 до +40 %. Самые большие изменения в активности под влиянием стоков происходили с СОД, особенно в корнях. Ферменты КАТ и ПО испытывали меньшие изменения. Следует также отметить соответствие увеличения или уменьшения активностей всех трех ферментов СОД, КАТ, ПО в листьях и пары СОД, ПО в корнях в зависимости от уровня, присутствующих в зерне токсичных ТМ: $A_2 > СМ \geq A_1$.

Таблица 3. Динамика изменений активностей антиоксидантных ферментов в проростках пшеницы в зависимости от стоков, %

Вариант	Листья			Корни		
	СОД	КАТ	ПО	СОД	КАТ	ПО
A₁	-23	-16	+10	-58	-35	-23
A₂	+60	+30	+40	+87	-67	+20
СМ	-23	-5	-15	+265	-58	+30

± - увеличение или уменьшение по отношению к контролю.

Обсуждение результатов

Данные, представленные в настоящей работе, показывают, что в присутствии сточных вод пшеница накапливает ТМ. Характер количественных изменений распределения отдельных элементов по органам пшеницы, свидетельствуют о сложных механизмах трансформации загрязнителей в растениях. Возможно, действующим началом поглощения растениями элементов являются неорганические и органические комплексы металлов, содержащиеся в стоках и образующиеся при поступлении в органы растений. Они могли конкурировать между собой и составлять конкуренцию подвижным формам элементов используемой почвы [23-25], что можно проследить по *Cd*.

Подвижный элемент *Cd*, проявляющий повышенную мобильность в растениях [4], обнаруживался в значительных количествах во всех органах контрольного варианта пшеницы. Биологически очищенные стоки *A₁* снижали, а неочищенные стоки *A₂* и условно-чистые СМ способствовали увеличению этого элемента в целых растениях пшеницы, по сравнению с контролем. Причем, стоки СМ задерживали кадмий в корнях, а стоки *A₂*, напротив, способствовали трансформации токсиканта по растению и накоплению в семенах. По-видимому, в стоках СМ содержались компоненты, способные связывать кадмий и ограничивать его поступление в фотосинтезирующие, а затем в репродуктивные органы растений. Это могли быть основания, сдвигающие рН в щелочную сторону и способствующие осаждению *Me* [3, 18, 23]. В действительности, измерение рН стоков во время наших экспериментов показывали более щелочной показатель у СМ (рН 8-9), по

сравнению со стоками *A₁* и *A₂* (рН 6-8).

Не следует исключать и конкуренцию между *Me* или, образуемыми органическими комплексами с катионами металлов, стабильность которых определяется природой металла [23, 25]. Стоки СМ и *A₁* задерживали в корнях и листьях не только *Cd*, но и *Cu*, *Pb*, *Mn*, что уменьшало их накопление в зерне. Следовательно, репродуктивные органы пшеницы были защищены от наиболее активных ТМ, легко реагирующих с физиологически важными веществами. *Cd* и *Pb* - вызывают мутагенез [3, 4], а *Cu* индуцирует оксидазные системы в живых организмах [25]. В итоге, фитотоксичность зерна по загрязнению токсичными ТМ была снижена, по сравнению со стоками *A₂*.

В работе [21] нами было показано, что во время вегетации пшеница в присутствии стоков *A₂* быстрее проходила все стадии развития, но отставала в росте и имела более ломкий стебель. Кроме того, эти стоки увеличивали долю уродливых растений. Вероятно, это было следствие канцерогенного действия *Cd* [3,4], которое, как показали данные в настоящей работе, не проявилось при проращивании новых семян. Увеличение в два раза количества этого элемента в зерне варианта *A₂*, не вызывало каких-либо внешних морфологических нарушений в эмбриогенезе. Энергия прорастания и биологическая продуктивность (биомасса) проростков увеличивались (см. табл.2) и были сходны тем, что наблюдали у родительских форм [21]. Данные показывают, что при явном отсутствии внешних морфологических нарушений, в пшенице нового поколения на ранней стадии развития происходили изменения на биохимическом уровне - изменялись активнос-

ти антиоксидантных ферментов: СОД, КАТ, ПО. Под действием стоков отмечается увеличение доли мембранных форм ферментов по отношению к цитозольным. Этот факт указывает на мембранотропное последствие стоков.

Увеличение загрязненности зерна токсичными ТМ приводит к повышению уровня антиоксидантной защиты в проростках. Это прослеживается по возрастанию активности трех ферментов СОД-КАТ-ПО в листьях у варианта A_2 или пары - СОД-ПО в корнях вариантов A_2 и СМ, см. рис.1-3, родительские растения которых имели больший уровень накопления ТМ в соответствующих органах и зерне см табл.1. Напротив, у пшеницы подверженной действию менее загрязненных сточных вод A_1 (которые, в дополнение, уменьшали накопление токсичных металлов в зерне), в проростках обнаруживали уменьшение активностей СОД-КАТ-ПО в корнях и СОД-КАТ в листьях.

Функция ферментов СОД, КАТ и ПО связана с утилизацией активных форм кислорода [5]. СОД осуществляет дисмутацию супероксидного радикала ($O_2^{\cdot-}$) до менее токсичной перекиси водорода [5], а H_2O_2 удаляется каталазой и пероксидазой разными путями [22, 26]. КАТ разрушает избыток образующейся перекиси водорода, а ПО использует H_2O_2 для окисления широкого спектра веществ, в том числе при детоксикации чужеродных соединений [26, 27]. При оксидативном механизме пероксидазы при определенных условиях могут продуцироваться $O_2^{\cdot-}$ и, более токсичный гидроксил радикал ($OH\cdot$) [28]. Эти формы АФК инактивируют СОД и, особенно, КАТ [29]. Есть сообщения, что и СОД может продуцировать $OH\cdot$ [25, 29, 30]. Таким образом, СОД и ПО, кроме антиоксидантного, проявляют еще и прооксидативное свойство, что может способствовать развитию окислительных реакций и инициированию окислительного стресса.

Экспериментально, в работе [15], нами было показано, что развитие окислительного стресса в растениях при токсических дозах ксенобиотика сопровождается гиперусилением пероксидазной активности, в 10 и

более раз, на фоне увеличения СОД в 2-3 раза. Растения при этом погибали. В настоящей работе морфологических нарушений в проростках не наблюдали, следовательно окислительный стресс на ранней стадии развития растения не испытывали. Однако индуцирование пары ферментов СОД-ПО и уменьшение каталазной активности свидетельствуют об активно протекающих окислительных реакциях в корнях проростков. Известно, что ферменты СОД и ПО участвуют в детоксикации ксенобиотиков [26, 30]. Возможно, увеличение окислительной активности связано с продолжающимися реакциями инактивирования ТМ, осажденных в виде каких либо хелатов и комплексов в мембранах клеток корней, через окислительные реакции и образование неактивных лигандов [25]. В любом случае это следует расценивать как индукцию прооксидативного действия ферментов СОД-ПО в растительных клетках тяжелыми металлами и возможность усиления окислительной активности в растениях при дальнейшем развитии.

Итак, заключая полученные данные, отметим следующее.

- Многокомпонентные загрязнители - сточные воды, способствуют накоплению ТМ растениями пшеницы, адсорбируя их в зерне.

- В проростках пшеницы семян 1-го поколения индуцируются активности антиоксидантных ферментов СОД, КАТ и ПО с высоким отношением мембранные/цитозольные формы.

- Уровень и качественный состав ТМ в зерне определяют мембранотропный уровень антиоксидантной защиты - СОД-КАТ-ПО в новом поколении на ранней стадии развития проростков.

- Увеличение активностей СОД – ПО, на фоне уменьшения каталазной активности, показывают возможность прооксидативного действия антиоксидантных ферментов при токсическом воздействии ТМ.

Остается вопрос о механизме индукции антиоксидантной защиты. Был ли это синтез ферментов *de novo*, вызванный экспрессией генов в родительских формах растений и пе-

реданный новому поколению, или это активация ферментов, связанная с защитой мембран от ТМ, накопленных зерном и трансформируемых в проростках? Оба эти механизма могут иметь место. Из литературы известно, что индукторами экспрессии генов белков, защищающих от окислительного и других стрессов, являются факторы, вызывающие соответствующий стресс, в том числе АФК (O_2^- , H_2O_2) и ТМ [7, 9, 10]. На наш взгляд, некоторым подтверждением синтеза ферментов *de novo*, по крайней мере СОД, служит сильная активация этого фермента по сравнению с КАТ и ПО. Если такое происходило у родительских форм, то продуцируемая СОД перекись водорода, не успевая разрушаться, свободно проникала в цитозоль к ядерному матриксу и, как сигнальная молекула, могла индуцировать соответствующие участки в генах [10]. Вызывает интерес закрепления этих признаков - индуцирования антиоксидантной защиты, далее в поколениях пшеницы, что безусловно способствует формированию устойчивости растений к загрязнению окружающей среды ТМ. Эти вопросы является предметом наших дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазухина С.И., Моисеенко Т.И. Моделирование поведения элементов химического состава воды в условиях комплексного загрязнения (на примере оз. Имандра) // Водные ресурсы. 2000. Т.27. №5.
2. Романенко Н.А. Санитарные требования к сельскохозяйственному использованию сточных вод и осадков // Гигиена и санитария. 1986. №7.
3. Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловский В.А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Самарский университет, 1998.
4. Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992.
5. Фридович И. Радикалы кислорода, пероксид водорода и токсичность кислорода // Свободные радикалы в биологии / Под ред. У. Прайер. М.: Мир, 1979. Т.1. (Free Radicals in Biology / Edited by William A. Pryor. New York San Francisco. London: Acad. Press, 1976).
6. Inze D., Van Montagu M. Oxidative stress in plants // Current Opin. Biotechnol. 1995. V.5.
7. Луцк В.И. Окислительный стресс и механизмы защиты от него у бактерий (обзор) // Биохимия. 2001. Т.66. Вып.5.
8. Анисимов В.Н. Современные представления о природе старения // Успехи совр. биол. 2000. Т.120. №2.
9. Турнаев К.Т. Активные формы кислорода и регуляция экспрессии генов // Биохимия. 2002. Т.67. Вып.3.
10. Тарчевский И.А. Сигнальные системы клеток растений. М.: Наука, 2002.
11. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственной и продукции растениеводства. М.: ЦИ-НАО, 1989.
12. Vernon L.P. Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts // Analit. Chem. 1960. V.32.
13. Barcelo A.R., Munoz R., Sabater F. Subcellular location of basic and acidic soluble isoperoxidase in lupinus // Plant Science. 1989. V.63.
14. Bredford M.M. A Rapid and Sensitive Method for Principle of Protein-Dye Binding // Analyt. Biochem. 1976. V.72.
15. Мурзаева С.В. Индуцирование антиоксидантных ферментов в растениях гороха избытком хлористого аммония // Известия Самарского научного центра РАН. 2000. Т.2. №2.
16. Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Сульди-миров Г.К. Экологические проблемы города Тольятти. Тольятти: Институт экологии Волжского бассейна, 1995.
17. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991.
18. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. САНПИН 42-123-4089-86 МЗ СССР, 1986.
19. Прохорова Н.В., Матвеев Н.М. Территориальные особенности распределения тяжелых металлов в почвах Самарской области // Известия Самарского научного

- центра РАН. 2000. Т.2. №2.
20. *Фирсова В.П., Павлова Т.С., Тоцев В.В., Прокопович Е.В.* Сравнительное изучение содержания тяжелых металлов в лесных, луговых и пахотных почвах лесостепного Зауралья // *Экология*. 1997. №2.
 21. *Мурзаева С.В.* Морфометрические и продукционные изменения пшеницы под действием сточных промышленных вод // *Продукционный процесс, его моделирование и полевой контроль*. Сб. науч. трудов под ред. В.А. Кумакова. Саратов, 1990.
 22. *Мурзаева С.В., Акулова Е.А.* Роль каталазы и пероксидазы в регуляции фотохимических реакций хлоропластов, связанных с метаболизмом перекиси водорода // Сб. "Механизм фотодыхания и его особенности у растений различных типов" под ред. Ю.С.Карпилова и А.К. Романовой . Пушчино, 1978.
 23. *Добровольский В.В.* Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почвы // *Почвоведение*. 1997. №4.
 24. *Матвеев Н.М., Павловский В.А., Прохорова Н.В.* Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Самарский университет. 1997.
 25. *Демидчик В.В., Соколик А.И., Юрин В.М.* Токсичность избытка меди и толерантность к нему растений // *Успехи современной биологии*. 2001. Т.121. №5.
 26. *Gaspar T., Penel C., Thorpe T., Greppin H.* Peroxidases / 1970-1980: A Survey of Their Biochemical and Physiological Roles in Higher Plants. Geneve, Centre de Botanique. 1982.
 27. *Роговин В.В., Муравьев Р.А., Акимов В.С., Бавыкина И.В.* Пероксидазосомы растительных клеток // *Физиология растений*. 1987. Т.34.
 28. *Yamazaki J.* Peroxidase. Molecular Mechanisms of Oxygen Activation. N.Y. London: Acad. Press, 1974.
 29. *Метелица Д.И., Еремин А.Н.* Изменения антиоксидантных свойств полисульфидов замещенных фенолов при их взаимодействии с сывороточным альбумином человека // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2002. Т.38. №3.
 30. *Canada A.T., Calabrese E.J.* Superoxide Dismutase: Its Role Xenobiotic Detoxification // *Pharmac. Ther.* 1989. V.44.

THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND THE ACTIVITY OF ANTIOXIDATIVE ENZYMES IN WHEAT EXERCISE INFLUENCE OF SEWAGES

© 2002 S.V. Murzaeva

Institute of Ecology of the Volga River Basin
of Russian Academy of Sciences, Togliatti

Investigated accumulation of heavy metals in the wheaten grain exercise influence of multicomponent pollutants (industrial sewages differ by degree of cleaning). It is significant, that the degree of clearing of sewages determines the absolute contents of toxic metals: *Zn, Cd, Cu, Cr, Ni, Co, Pb* and *Mn*. The increase polluted of a grain by heavy metals was accompanied by increase of a level activity of antioxidative enzymes: a superoxide dismutase, catalase and peroxidase in leaves and superoxide dismutase, peroxidase in the roots of young growth wheat's. The high relation of the membranous to cytosoling forms of enzymes is revealed. The membranotropism effect of multicomponent pollutants, through action of heavy metals (through formation of the activity forms oxygen), which one induced the antioxidative protection in young growth wheat of a new generation is discussed.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

© 2002 Д.Б. Гелашвили¹, Т.Д. Зинченко², Л.А. Выхристюк², А.А. Карандашова¹

¹Нижегородский государственный университет

²Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

В работе получили развитие методические принципы конструирования обобщенных критериев оценки экологического состояния водных объектов, предложенные ранее [1].

Разработка научно-обоснованных критериев оценки экокризисности пресноводных экосистем, находящихся под антропогенным воздействием различной природы становится все более актуальной и чрезвычайно сложной задачей. Необходима методология построения обобщенных критериев как для контроля "критичности" антропогенной нагрузки так и для оценки степени трансформации экосистемы.

Для практической оценки экологического состояния водных объектов рационален, на наш взгляд, путь комплексирования тем или иным способом параметров функционирования экосистемы в один или несколько индексов, играющих роль интегрального критерия.

Принципы конструирования интегрального индекса экологического состояния (ИИЭС) водотоков, разработаны нами ранее [1] при исследованиях экосистемы одной из самых загрязненных рек Волжского бассейна р. Чапаевка (Самарская область). Для расчета индекса использованы наиболее информативные и широко используемые в практике гидрохимические (органическое вещество, минеральные формы азоты, фосфаты, летучие фенолы) и гидробиологические (численность

и биомасса макрозообентоса, число видов, видовое разнообразие, биотический и олигохетный индексы) показатели.

С целью уточнения и детализации предложенного индекса (ИИЭС), который представляет собой комбинацию двух составляющих, характеризующих качество воды в водотоке по гидрохимическим показателям (ИХС) и по биологическим параметрам (на примере сообществ зообентоса) (ИБС), внесены некоторые дополнения:

- Предлагается для установления непрерывности шкалы оценки качества состояния экосистемы, каждый из принятых нами [1] четырех измеряемых или рассчитываемых показателей, именуемых диапазоном или балльным классом (B_i - от 1 до 4), дополнительно разделить на три разряда (табл. 1).

- Разряды характеризуются весовым коэффициентом (a_i), таким, что значения $a_i B_i$ правого разряда предшествующего диапазона должно быть меньше соответствующего значения левого разряда последующего диапазона:

$$a_{i-1} B_{i-1} < a_i B_i.$$

Центральный разряд каждого диапазона (балльного класса) имеет $a_i = 1$, тогда средне-

Таблица 1. Градации балльной оценки и весовые коэффициенты биотических и абиотических факторов

Баллы, B_i	1			2			3			4		
Весовые коэффициенты, a_i	0,7	1,0	1,3	0,7	1,0	1,3	0,9	1,0	1,1	0,9	1,0	1,1
$a_i B_i$	0,7	1,0	1,3	1,4	2,0	2,6	2,7	3,0	3,3	3,6	4,0	4,4

Таблица 2. Градации балльной оценки биологических показателей для вычисления экологического состояния водного объекта

Баллы B_i	1			2			3			4		
Весовые коэф-фициенты, a_i	0,7	1,0	1,3	0,7	1,0	1,3	0,9	1,0	1,1	0,9	1,0	1,1
Численность, экз./м ² , N	0-165	166-330	331-500	501-665	666-830	831-1000	1001-4000	4001-7000	7001-10000	10001-15000	15001-20000	>20000
Биомасса, г./м ² , B	0,00-1,50	1,51-3,00	3,01-5,00	5,01-6,50	6,51-8,00	8,01-10,0	10,01-11,50	11,51-13,50	13,51-15,00	15,01-18,00	18,01-21,00	>21,00
Количество видов, n	0-2	3-4	5	6-7	8-9	10	11-12	13-14	15	16	17-18	>19
Индекс видового разнообразия Шеннона, бит/экз., H	0-0,40	0,41-0,70	0,71-1,00	1,01-1,40	1,41-1,70	1,71-2,00	2,01-2,40	2,41-2,70	2,71-3,00	3,01-3,40	3,41-3,70	>3,70
Биотический индекс Вудивисса, V	0	1	2	3	-	4	5	-	6	7	8	9
Индекс Пареле, D	0,93-1,00	0,86-0,92	0,81-0,85	0,73-0,80	0,65-0,72	0,57-0,64	0,56-0,49	0,48-0,40	0,39-0,31	0,30-0,21	0,20-0,11	<0,1

Таблица 3. Градации балльной оценки химических показателей для вычисления химического состояния водного объекта

Баллы B_i	1			2			3			4		
Весовые Коэффициенты, a_i	0,7	1,0	1,3	0,7	1,0	1,3	0,9	1,0	1,0	0,9	1,0	1,1
Химическое потребление кислорода, ХПК	>100	99-80	79-60	59-50	49-40	39-30	29-27	26-24	23-20	19-12	11-8	7-0
Азот аммонийный, N-NH ₄	>4,00	3,99-3,00	2,99-2,50	2,49-1,85	1,84-1,20	1,19-0,51	0,50-0,41	0,40-0,31	0,30-0,21	0,20-0,13	0,12-0,06	0,05-0,00
Азот нитратный, N-NO ₃	>4,00	3,99-3,00	2,99-2,50	2,49-1,90	1,89-1,30	1,29-0,70	0,69-0,57	0,56-0,44	0,43-0,30	0,29-0,20	0,19-0,10	0,10-0,00
Азот нитритный, N-NO ₂	>0,30	0,30-0,20	0,19-0,10	0,099-0,007	0,069-0,040	0,039-0,002	0,019-0,015	0,014-0,011	0,010-0,005	0,0049-0,003	0,0029-0,001	0,001-0,000
Фосфаты, P-PO ₄	>0,61	0,60-0,41	0,40-0,31	0,30-0,21	0,20-0,15	0,14-0,11	0,100-0,081	0,080-0,061	0,060-0,031	0,030-0,021	0,020-0,011	<0,011
Фенолы	20-17	16-13	12-10	9-7	6-4	3-1	-	следы	-	-	0	-

взвешенное значение разряда совпадает с величиной его балльной оценки (табл.1).

В этом случае предложенная ранее [1] формула определения интегрального индек-

са экологического состояния (ИИЭС) водного объекта

$$\text{ИИЭС} = (\Sigma H_i + \Sigma B_i) / \Sigma (N_h + N_b)$$

будет иметь вид

$$\text{ИИЭС} = \Sigma a_i B_i + \Sigma a_i H_i / \Sigma a_i$$

Расчет индексов экологического состояния по гидрохимическим (ИХС) и биологическим (ИБС) показателям производится по:

$$\text{ИБС(ИХС)} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i B_i (H_i)}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

То есть, для более точного ранжирования уровня антропогенной нагрузки предлагается рассчитывать значения ИБС и ИХС не как среднеарифметическую, а как средневзвешенную величину (табл.2, 3).

Результаты расчетов индексов экологи-

ческого состояния р.Чапаевка с учетом детального ранжирования и весовых коэффициентов представлены в таблицах 4-6.

Апробация предложенного метода оценки состояния водных экосистем проведена в 2000г. на малых реках Верхней Волги (табл.7). Исследуемые реки, протекающие в пределах урбанизированной территории г. Нижний Новгород, испытывают значительный антропогенный пресс; ряд рек принимают сточные воды промышленных предприятий, объемом 3503,1тыс. м³/год. Комплексные исследования на реках проведены с использованием общепринятых методик гидрохимических и гидробиологических анализов, которые были использованы на р.Чапаевка [1, 2].

Качество воды рек по гидрохимическим параметрам оценивается V – VI классами, т.е. вода "грязная" и "очень грязная". По данным биологического анализа получены аналогичные результаты [3, 4]. Расчеты интегрально-

Таблица 4. Интегральная оценка экологического состояния водоема по гидрохимическим показателям на примере р. Чапаевка (а по [1], б-с учетом а₁)

Показатели	Участок реки											
	Ст. 1		Ст. 2		Ст. 3		Ст. 4		Ст. 5		Ст.6	
	а	б	а	б	А	б	а	б	а	б	а	Б
ХПК	2	2	2	2,6	2	2,6	1	0,7	1	1,0	2	1,4
Азот аммонийный, N-NH ₄	3	3,3	4	3,6	2	2,6	2	1,4	2	2,6	2	2,6
Азот нитратный, N-NO ₃	4	3,6	4	3,6	3	3,3	3	2,6	3	3,3	3	3
Азот нитритный, N-NO ₂	4	4,0	3	3,3	2	2	1	1,0	1	1,3	2	1,4
Фосфаты, P-PO ₄	4	4,0	2	3,3	4	3,6	2	1,4	2	2,6	2	2
Фенолы	2	2,6	4	4,0	4	4,0	2	2,6	2	2,6	2	2,6
ΣH _i Σ (H _i a _i)	19	19,5	19	20,4	17	18,1	11	9,7	11	13,4	13	13
N _h (Σ a _i)	6	6,3	6	6,3	6	6,7	6	5,7	6	7,3	6	5
ИХС	3,2	3,1	3,2	3,2	2,8	2,7	1,8	1,7	1,8	1,8	2,2	2,6

H_i - гидрохимический показатель, N_h – количество химических показателей

Таблица 5. Интегральная оценка экологического состояния водоемов по биологическим показателям на примере р. Чапаевка (а по [1], б-с учетом а₁)

Показатели	Участок реки											
	Ст.1		Ст. 2		Ст.3		Ст.4		Ст.5		Ст. 6	
	а	б	а	б	А	б	а	б	а	б	а	Б
Численность, экз./м ² , N	4	4,0	3	3,0	2	1,4	1	0,7	1	0,7	2	2,6
Биомасса, г./м ² , В	4	4,4	4	4,0	2	1,4	1	0,7	1	0,7	2	1,4
Количество видов, n	3	2,7	4	4,4	2	1,4	1	0,7	1	0,7	2	1,4
Индекс видового разнообразия Шеннона, бит/экз., Н	2	2,6	3	3,0	2	2,0	1	0,7	1	0,7	3	2,7
Биотический индекс Вудвисса, V	3	2,7	3	2,6	1	1,3	1	0,7	1	0,7	2	1,4
Индекс Пареле, D	3	2,7	3	3,0	3	3,3	1	1	1	1	2	1,4
* ΣB_i $\Sigma (B_i a_i)$	19	19,1	20	20	12	10,8	6	4,5	6	4,5	13	10,9
* N_b , (Σa_i)	6	6,1	6	6,4	6	5,5	6	4,5	6	4,5	6	5
ИБС	3,2	3,1	3,3	3,1	2,0	1,9	1,0	1,0	1,0	1,0	2,2	2,2

B_i^* - биологический показатель, N_b^* – количество биологических показателей

го индекса экологического состояния экосистем рек Верхней Волги приведены в табл. 8-10.

Уместно напомнить, что интегральный индекс позволяет выделить зоны экологического состояния рек в соответствии с нормативными документами [5] и оценить их чис-

ловые диапазоны [1]. Исходя их рассчитанных индексов ИХС и ИБС в отдельности для р.Чапаевка была выполнена классификация водотока по степени экологического состояния отдельных его участков. Зоне экологического бедствия, согласно проведенным расчетам,

Таблица 6. Обобщенная оценка экологического состояния р. Чапаевка (а по [1], б-с учетом а₁)

Показатель	Участок реки											
	1		2		3		4		5		6	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
$\Sigma H_i + \Sigma B_i$ $N_i a_i + B_i a_i$	38	41,2	39	40,4	29	28,9	17	14,2	17	17,9	26	23,9
$N_b + N_h$ (Σa_i)	12	12,4	12	12,7	12	12,2	12	10,2	12	11,8	12	10
ИИЭС	3,2	3,3	3,2	3,2	2,4	2,4	1,4	1,4	1,4	1,5	2,2	2,4

Таблица 7. Некоторые показатели рек Верхней Волги (г. Нижний Новгород)

Реки	L, км	S, км ²	h _{макс} , м	Q, м ³ /сек	V, м/сек	H _{макс} , м	Класс качества
Черная	19,0	61,2	0,7	0,27	0,2	10	VI
Рахма	18,0	132,0	-	1,0-21,0	0,5	6	V
Кова	11,0	41,0	1,0	3,0-5,0	-	6,5	V
Левинка	-	-	2,0	-	0,1-0,15	2,5	VI

Таблица 8. Интегральная оценка экологического состояния рек г.Нижний Новгород по гидрохимическим показателям (а - метод расчета по [1], б - с учетом а₁)

Показатели	р. Черная		р. Левинка		Шувалов-ский канал		р. Ржавка		р. Борзовка		р. Рахма		р. Старка	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
Химическое потребление кислорода, ХПК	1	0,7	2	2,0	2	2,6	4	3,6	4	4,0	1	1,3	1	0,7
Азот аммонийный, N-NH ₄	2	2,6	2	2,6	2	1,4	2	2,6	3	3,0	2	2,0	1	1,0
Азот нитратный, N-NO ₃	4	4,4	4	4,4	4	4,4	4	4,4	4	4,4	1	0,7	1	0,7
Азот нитритный, N-NO ₂	2	1,4	2	1,4	1	0,7	1	1,0	1	1,3	1	1,0	1	0,7
Фосфаты, P-PO ₄	1	1,3	2	2,6	3	3,3	3	3,3	2	2,0	4	4,0	4	4,0
Фенолы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ΣH _i (H _i a _i)	10	10,4	12	13	12	12,4	14	14,9	14	14,7	9	9	8	7,1
N _n (Σa _i)	5	5,1	5	5,4	5	4,9	5	5,4	5	5,4	5	5	5	4,1
ИХС	2,0	2,0	2,4	2,4	2,4	2,5	2,8	2,8	2,8	2,7	1,8	1,8	1,6	1,7

соответствует значения величин ИИЭС менее 2, зоне экологического кризиса - от 2 до 3, выше 3- зоне относительного экологического благополучия.

Величины ИИЭС, рассчитанные для малых рек г. Нижний Новгород изменяются в интервале 1,5-2,0, что позволяет отнести все водотоки к зоне экологического кризиса.

Таким образом, метод интегральной оценки экологического состояния для малых равнинных рек Верхнего и Среднего Поволжья показал возможность использования его для водотоков с разным уровнем антропогенной нагрузки. Применение в расчетах ИИЭС весовых коэффициентов приводит к некоторому утяжелению расчетов, но к повышению достоверности получаемых числовых величин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зинченко Т.Д., Выхристюк Л.А., Шитиков В.К. Методологический подход к оценке экологического состояния речных систем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Изв. Самарского научн. центра РАН. 2000. №2.
2. Экологическое состояние реки Чапаевка в условиях антропогенного воздействия (биологическая индикация). Тольятти: ИЭВБ РАН, 1997. Вып.3. Изд.2.
3. Карандашова А.А. Макрозообентос, его продукция и значение при оценке качества воды р. Свини // Наземные и водные экосистемы. Горький, 1990.
4. Гелашивили Д.Б., Шахматова Р.А., Каран-

Таблица 9. Интегральная оценка экологического состояния малых рек г. Нижний Новгород по биологическим показателям (а - метод расчета по [1], б - с учетом а₁)

Показатели	р. Черная		р. Левинка		Шувалов- ский канал		р. Ржавка		р. Борзовка		р. Рахма		Р. Старка	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
Численность, экз./м ² , N	1	0,7	1	1,0	3	3,0	1	0,7	3	2,7	4	3,6	4	3,6
Биомасса, г./м ² , В	1	0,7	1	1,3	4	4,4	1	0,7	1	1,0	4	4,4	4	4,4
Количество видов, n	1	0,7	1	1,0	4	3,6	1	0,7	1	0,7	1	1,3	1	1,3
Индекс видового разнообразия Шеннона, бит/экз., Н	1	0,7	2	2,6	3	3,3	1	0,7	1	1,0	2	1,4	2	2,0
Биотический индекс Вудивисса, V	1	0,7	1	1,3	3	3,3	1	0,7	1	1,3	1	1,3	1	1,3
Индекс Пареле, D	-	0,7	4	4,4	3	2,7	1	0,7	4	4,4	1	1,0	1	0,7
$\Sigma B_i(a_i B_i)$	5	4,2	10	11,6	20	20,3	6	4,2	11	11,1	13	13	13	13,3
$N_b, (\Sigma a_i)$	5	4,2	6	7	6	6,1	6	4,2	6	6	6	6,3	6	6,3
ИБС	1,0	1,0	1,7	1,7	3,3	3,3	1,0	1,0	1,8	1,9	2,2	2,1	2,2	2,1

Таблица 10. Обобщенная оценка экологического состояния экосистем малых рек г. Нижний Новгород (а - метод расчета по [1], б - с учетом а₁)

Показатели	р. Черная		р. Левинка		Шувалов- ский канал		р. Ржавка		р. Борзовка		р. Рахма		р. Старка	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
$\Sigma H_i + \Sigma B_i$ ($a_i H_i + a_i B_i$)	15	14,6	22	24,6	22	22,7	20	19,1	25	25,8	22	22	21	20,4
$(N_b + N_h),$ (Σa_i)	10	9,3	11	12,4	11	11	11	9,6	11,4	11,4	11	11,3	11	10,4
ИИЭС	1,5	1,6	2,0	2,0	2,0	2,1	1,8	2,0	1,8	2,3	2,0	1,9	1,9	1,9

дашова А.А. Шуваловский канал // Экологический паспорт городского водоема. Н.Новгород, 2000.

5. Критерии оценки экологической обста-

новки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: Минприрода, 1992.

THE INTEGRAL ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATES OF A WATER OBJECTS BY HYDROCHEMICAL AND HYDROBIOLOGICAL INDEXES

© 2002 D.B. Gelashvili¹, T.D. Zinchenko², L.A. Vikhristyuk², A.A. Karandashova¹

¹Nizhniy Novgorod State University

²Institute of Ecology of the Volga River Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti

The methodological principles of construction of complex generalized criteria for assessment ecological state of water objects had been early [1], there are a description.

ДВУХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ "ЦВЕТЕНИЯ ВОДЫ" В ВОДОХРАНИЛИЩЕ РАВНИННОГО ТИПА

© 2002 С.В. Крестин, Г.С. Розенберг

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

На основе уравнений Вольтерра построена математическая модель с учетом диффузии по пространству, позволяющая объяснить процесс возникновения "волны цветения" с весенним и осенним пиками.

В предыдущих работах авторов [1, 2] дано описание оригинальной модели вольтерровского типа процесса "цветения воды" (массового развития фитопланктона – до 100 и более мг/л) в равнинных водохранилищах:

$$\begin{aligned} dx_1/dt &= \alpha_1 x_1 P - r_{12} x_1 x_2, \\ dx_2/dt &= \alpha_2 x_2 P - r_{21} x_1 x_2 - \gamma x_2 z, \\ dz/dt &= \gamma x_2 z - \alpha_3 z - \sigma_1 z M, \\ dP/dt &= \xi_p - \beta_1 x_1 P - \beta_2 x_2 P, \\ dM/dt &= \xi_M - \sigma_2 z M, \end{aligned} \quad (1)$$

где x_1 и x_2 – концентрации "обычных" (зеленые, протококковые, диатомовые, эвгленовые и др.) и синезеленых водорослей, z – концентрация зоопланктона, α_1 и α_2 – коэффициенты экспоненциального роста "обычных" и синезеленых водорослей, α_3 – коэффициент экспоненциального вымирания зоопланктона, r_{12} и r_{21} – коэффициенты межвидовой конкуренции, γ – коэффициент "переработки" биомассы зеленых водорослей в биомассу зоопланктона, P – концентрация в воде биогена (например, фосфора), β_1 и β_2 – скорости "выедания" этого биогена водорослями, ξ_p – постоянное количество сбрасываемого в воду биогена за единицу времени, M – концентрация в воде тяжелых металлов, σ_1 и σ_2 – коэффициенты "потребления" тяжелых металлов зоопланктоном, ξ_M – постоянное количество сбрасываемых в воду тяжелых металлов за единицу времени. При этом, коэффициент α_2 , строго говоря, зависит от температуры воды T . Температура воды в каждой точке равнинного водоема определяется, в основном, ветровым перемешиванием и режимом

"сработки" водохранилищ, поэтому ее можно определять (в самом простом варианте) по уравнению линейной регрессии и для простоты считать:

$$\alpha_2 = \begin{cases} 0, & T < T_0, \\ \alpha_0, & T \geq T_0. \end{cases}$$

где T_0 – граничное значение температуры, после которой начинается активное развитие синезеленых водорослей.

Проведенный анализ этой "нульмерной" модели позволил в рамках данных гипотез о взаимодействии биотических и абиотических компонент системы описать механизм возникновения пиков "цветения воды" весной и осенью, вскрыть некоторые особенности "поведения" тяжелых металлов и биогенов в водоеме. При этом (рис.1) данную модель можно с высокой степенью качественной адекватности [3, 4] считать весьма удовлетвори-

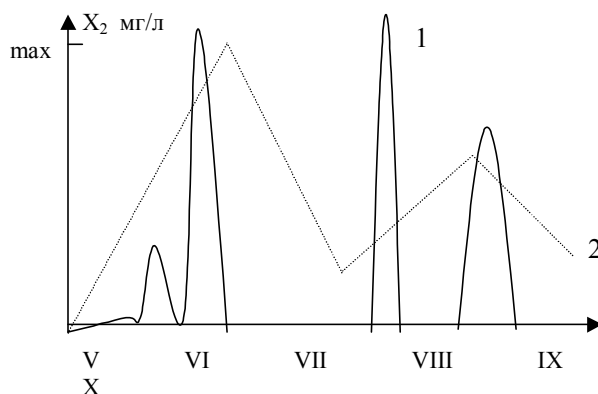


Рис.1. Зависимость биомассы синезеленых водорослей (x_2) от времени (t) по результатам моделирования (1) и по наблюдаемым данным на Ульяновском плесе Куйбышевского водохранилища в 1982г. (данные нормированы на максимум биомассы)

тельной для описания феномена "цветения воды", который хорошо прослеживался по данным ИЭВБ РАН [5, 6].

Для описания динамики в системе "ресурс – потребитель" предлагается следующая "линеаризация" модели [7] (потребитель считается неподвижным, ресурс – не возобновляемым):

$$\begin{aligned} dR/dt &= v \, dR/dx + D \, d^2R/dx^2 - V(R)N, \\ dN/dt &= V(R)N - mN, \end{aligned} \quad (2)$$

где R и N – концентрации ресурса и потребителя соответственно, v – скорость течения реки, D – коэффициент адвективной диффузии, $V(R)$ – трофическая функция, m – коэффициент естественной смертности потребителя. Иными словами, в модели (2) учитывается диффузия вещества по одной пространственной координате (такого рода модель должна качественно адекватно описывать динамику системы (1) в "узких" и "длинных" водохранилищах; примерами таковых в Волжском бассейне могут служить Саратовское и Волгоградское).

Наблюдениями гидробиологов (см., например, [8]) показано, что для "широких" и "длинных" водохранилищ (например, Куйбышевское) имеет место феномен, который можно определить как "волну цветения" по пространству водохранилища. Для объяснения механизма этого феномена предлагается следующим образом модифицировать модель (1).

Рассмотрим квадрат $[0, Y] \times [0, Y]$. Уравнение переноса и турбулентной диффузии гидрозоля (в двумерном варианте и при постоянном коэффициенте диффузии D) имеет следующий вид [9]:

$$\begin{aligned} d\Phi/dt - D \, \Delta \Phi + \sigma_0 \Phi + v_x \, d\Phi/dx + \\ + v_y \, d\Phi/dy &= Q \, w(r - r_0), \\ dv/dx + dv/dy &= 0, \end{aligned}$$

где Φ – концентрация загрязняющего гидрозоля, $w(r - r_0)$ – функция источника, $r = r(x, y)$, Q – мощность источника, r_0 – точка предполагаемого стока, v – скорость течения по координатам x и y . Будем считать, что сброс гидрозоля идет с берегов водоема равномерно по всей их длине $[0, Y]$. Тогда функция ис-

точника имеет вид:

$$w(r - r_0) = \begin{cases} \zeta, & y = 0, Y \\ 0, & 0 < y < Y. \end{cases}$$

Начальные условия: $\Phi(0, x, y) = \Phi_0(x, y)$, граничные условия на верхнем "срезе" течения: $\Phi(t, 0, y) = \Phi^0(t)$, $d\Phi(t, 0, y)/dx = q(t)$, на берегах заданы "условия непротекания": $d\Phi(t, x, 0)/dy = d\Phi(t, x, Y)/dy = 0$.

С учетом этих соотношений итоговая система уравнений будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} dx_1/dt &= \alpha_1 x_1 P - r_{12} x_1 x_2 + D \, \Delta x_1 - \\ &- \sigma_0 x_1 - v_y \, dx_1/dy - v_x \, dx_1/dx, \\ dx_2/dt &= \alpha_2 x_2 P - r_{21} x_1 x_2 - \gamma x_2 z + \\ &+ D \, \Delta x_2 - \sigma_0 x_2 - v_y \, dx_2/dy - v_x \, dx_2/dx, \\ dz/dt &= \gamma x_2 z - \alpha_3 z - \sigma_1 z M + D \, \Delta z - \\ &- \sigma_0 z - v_y \, dz/dy - v_x \, dz/dx, \\ dP/dt &= \xi_P - \beta_1 x_1 P - \beta_2 x_2 P + \\ &+ D \, \Delta P - \sigma_0 P - v_y \, dP/dy - v_x \, dP/dx, \\ dM/dt &= \xi_M - \sigma_2 z M + D \, \Delta M - \\ &- \sigma_0 M - v_y \, dM/dy - v_x \, dM/dx, \end{aligned} \quad (3)$$

где v_x и v_y – компоненты вектора скорости v .

Соответствующим образом задаются начальные условия:

$$\begin{aligned} x_1(0, x, y) &= x_{10}(x, y); \quad x_2(0, x, y) = x_{20}(x, y); \\ z(0, x, y) &= z_0(x, y); \quad P(0, x, y) = P_0(x, y); \\ M(0, x, y) &= M_0(x, y); \end{aligned}$$

и граничные условия:

$$\begin{aligned} x_1(t, 0, y) &= x_1^0; \quad dx_1(t, 0, y)/dx = q_{x1}; \\ dx_1(t, x, 0)/dy &= 0; \\ x_2(t, 0, y) &= x_2^0; \quad dx_2(t, 0, y)/dx = q_{x2}; \\ dx_2(t, x, 0)/dy &= 0; \\ z(t, 0, y) &= z^0; \quad dz(t, 0, y)/dx = q_z; \\ dz(t, x, 0)/dy &= 0; \\ P(t, 0, y) &= P^0; \quad dP(t, 0, y)/dx = q_P; \\ dP(t, x, 0)/dy &= 0; \\ M(t, 0, y) &= M^0; \quad dM(t, 0, y)/dx = q_M; \\ dM(t, x, 0)/dy &= 0; \end{aligned}$$

Аппроксимация уравнений (переход от непрерывных уравнений в частных произ-

водных к дискретным) и оценка устойчивости схем осуществлялась по [10]. По пространственным координатам интегрирование велось по 25 точкам, по временной – по 100 (фактически, охватывался весь вегетационный период развития фитопланктона).

При расчетах проводилась проверка на точность: первоначально численное интегрирование велось с одним шагом по времени; затем шаг уменьшался вдвое и вычислялись нормы решения с обычным шагом и разности двух решений. Если норма разности решений превышала 5% от нормы решения с обычным шагом, новый шаг по времени принимался в два раза меньшим и процедура проверки на точность повторялась. Расчеты проводились при двух наборах коэффициентов, которые различались лишь в следующем: по сравнению с первым при втором режиме в модели (3) коэффициент роста биомассы жертвы-фитопланктона (α_2) увеличен на 25% (синезеленые водоросли растут более интенсивно).

На рис.2 показано распределение плотности популяции синезеленых водорослей (x_2) через одни сутки после начала интегрирования при первом режиме. Наблюдаемая картина почти полностью совпадает с начальной. С течением времени (через 40 точек-суток) вдоль оси X образуется волна, которая начинает распространяться по пространству и через 80 точек-суток становится вполне заметной (рис.3). Аналогичная, но более "яркая", картина наблюдается при моделировании второго режима (рис.4 и 5). При этом, первоначально появляющийся пик не дости-

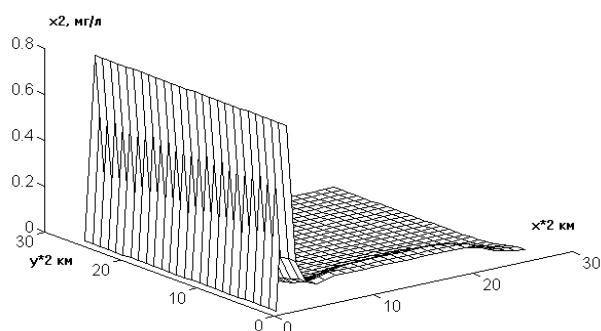


Рис.3. Зависимость концентрации синезеленых водорослей от пространственных координат при значении времени $t = 100$ сут

гает начальных значений концентрации, но по мере движения "волны" концентрация синезеленых водорослей доходит до 5 мг/л, что по ГОСТ 17.1.01-77 принято за "умеренное цветение вод" [11].

Так как "цветение вод" чаще всего связывается с поступлением в водоемы биогенов (чаще всего, фосфоросодержащих), интересно посмотреть динамику именно этой (Р) переменной модели (3). На рис.6 показан результат моделирования, который отличается от первого режима тем, что на "поднятии" концентрации биогена вдоль берегов (последнее объясняется его диффузионным смывом) наблюдается небольшая выемка, объясняемая поглощением биогена развивающимися синезелеными водорослями. При моделировании "интенсивного" (10-100 мг/л) или "гиперцветения" (более 100 мг/л) следует ожидать более заметного воздействия синезеленых водорослей на концентрацию биогенов.

Таким образом, предложенная модель (3) позволяет объяснить и явление "цветения воды" (весенние и осенние пики), и "волну

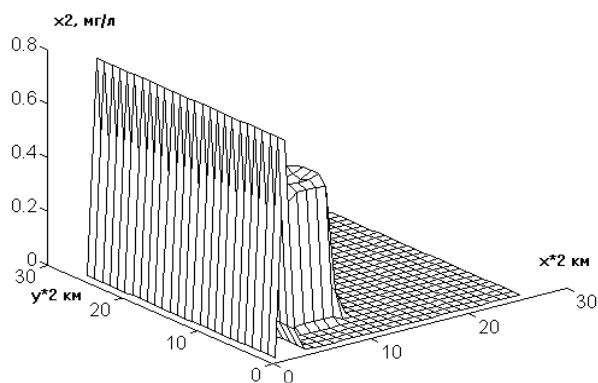


Рис.2. Зависимость концентрации синезеленых водорослей от пространственных координат при значении времени $t = 1$ сут

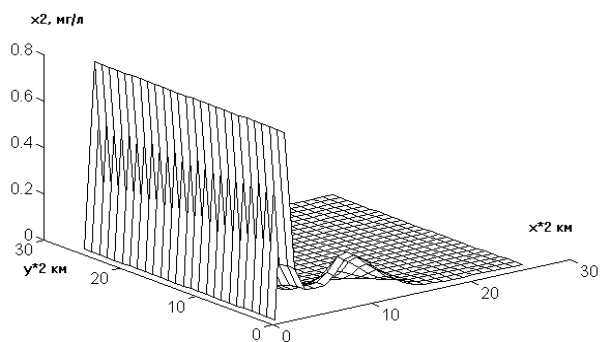


Рис.4. Зависимость концентрации синезеленых водорослей от пространственных координат при значении времени $t = 50$ сут и $\alpha_0 = 1250$

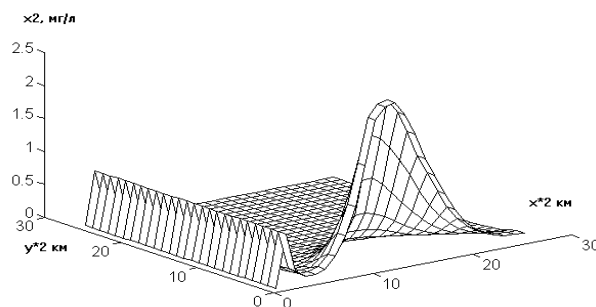


Рис.5. Зависимость концентрации синезеленых водорослей от пространственных координат при значении времени $t = 90$ сут и $\alpha_0 = 1250$

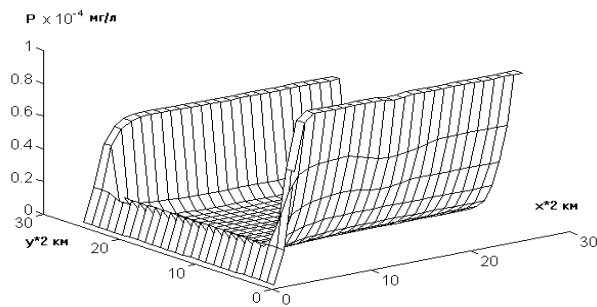


Рис.6. Зависимость концентрации фосфора от пространственных координат при значении времени $t = 100$ сут и $\alpha_0 = 1250$

цветения" по поверхности водоема. Заключение в модель механизм отличается от принятого в гидробиологии механизма евтрофикации (в основном, через воздействие только биогенов) большей "реалистичностью", что делает его полезным как для целей объяснения наблюдаемых феноменов, так и для синтеза на его основе сложных прогнозирующих имитационных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крестин С.В., Розенберг Г.С. Об одном механизме "цветения воды" в водохранилище равнинного типа // Биофизика. 1996. Т.41. Вып.3.
2. Rozenberg G.S., Krestin S.V. System of analytical models of processes of eutrophication in reservoir (block approach) // Programme and Abstracts. 3rd International Conference on Reservoir Limnology and Water Quality. Ceske Budejovice (Czech Republic). 1997.
3. Брусиловский П.М., Розенберг Г.С. Проверка неадекватности имитационной модели динамической системы с помощью алгоритмов МГУА // Автоматика. 1981. №6.
4. Розенберг Г.С. Адекватность математического моделирования экологических систем // Экология. 1989. №6.
5. Экология фитопланктона Куйбышевского водохранилища / Под ред. С.М. Коновалова, В.Н. Паутовой. Л.: Наука, 1989.
6. Паутова В.Н., Номоконова В.И. Динамика фитопланктона Нижней Волги от реки к каскаду водохранилищ. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2001.
7. Свирижев Ю.М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М.: Наука, 1987.
8. Жариков В.В. Концепция природно-технического каскадного комплекса экосистем Волжских водохранилищ // Экологические проблемы бассейнов крупных рек. Тез. докладов Международной конференции. Тольятти: ИЭВБ РАН, 1998.
9. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1989.
10. Годунов С.К., Рябенский В.С. Введение в теорию разностных схем. М.: Гос. изд-во физико-матем. лит., 1962.
11. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990.

THE TWO-DIMENSIONAL MODEL OF "FLOWERING OF WATER" IN PLAIN-TAPE RESERVOIR

© 2002 S.V. Krestin, G.S. Rozenberg

Institute of Ecology of the Volga River Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti

On the basis of Volterra equations, the authors construct the mathematical model with diffusion along area; this model explains the process of rise of "wave of flowering" in the spring and autumn.

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПО ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

© 2002 В.К. Шитиков, Т.Д. Зинченко, Л.В. Головатюк

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Представлен опыт использования искусственных нейронных сетей для моделирования стохастической связи показателей качества поверхностных вод со структурно-функциональными характеристиками донных сообществ. Приведены примеры обучения сетей различной конфигурации для оценки класса качества вод. Описан генетический алгоритм для выделения таксономических групп зообентоса, являющихся индикаторами состояния водоемов.

Постановка задачи

Пусть задано пространство признаков X размерностью $n > 1$, точками которого являются конкретные данные гидробиологического мониторинга $x = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}$, где x_i – значение i -го гидробиологического показателя, измеренное в определенный момент времени в заданной точке отбора пробы. Анализируемая матрица из m наблюдений $\|x_{ij}\|$, $j = 1, 2, \dots, m$, в общем случае представлена двумя классами переменных ($n = n_b + n_n$): непосредственными измерениями биомассы и численности экземпляров отдельных видов гидробионтов x_{bi} ($i = 1, 2, \dots, n_b$) и некоторым подмножеством обобщенных индексов x_{nk} ($k = 1, 2, \dots, n_n$), которые являются в конечном итоге функциями того же видового обилия. К числу обобщенных индексов X_n могут быть отнесены такие общепризнанные показатели как информационный индекс Шеннона, биотический индекс Вудивисса, сапробиологические показатели, отдельные составляющие материального или энергетического баланса экосистемы, абсолютные или относительные показатели обилия некоторых таксономических групп гидробионтов, считающихся *индикаторами* (олигохеты, хирономиды и др.) [1]. Единственным критерием для включения индекса в модель является его предполагаемая информативность, т.е. возможность учесть при анализе данных новые информационные аспекты, не содержащиеся в явном виде в исходном пространстве видов X_b .

Пусть "качество вод" – некоторая внешняя характеристика водоема [2, 3], оцени-

вающая возможность его использования в тех или иных практических целях, которая может быть представлена шкалой заданного непрерывного или дискретного показателя Y (для определенности предположим, что величина Y возрастает с уменьшением качества вод). Поскольку структурные и функциональные характеристики водных биоценозов являются важными индикаторами состояния водной экосистемы, то существует статистически значимая стохастическая связь между показателем Y и матрицей гидробиологических измерений X , а оператор Ψ выражения $Y = \Psi(X)$ доставляет нам состоятельную и эффективную оценку неизвестного качества воды по результатам мониторинга. Линейная интерпретация задачи прогнозирования Y имеет вид

$$Y = a_0 - \left(\sum_{i=1}^{n_b} a_{bi} x_{bi} + \sum_{k=1}^{n_n} a_{nk} x_{nk} \right), \quad (1)$$

где: a_{bi} и a_{nk} – найденные коэффициенты статистической модели, a_0 – свободный член.

Любая гидробиологическая среда представляет собой большой, сложный, слабо детерминированный и эволюционирующий объект исследования. Поэтому, как показывает практика, предположения о линейности аппроксимирующей функции (1) недостаточны для отображения сложности изучаемого процесса развития экосистем ("Время простых моделей прошло" [5]). Теория самоорганизации моделей показывает, что огромное большинство процессов в природе может быть описано, например, в виде полиномов

высокой степени, являющихся частным случаем обобщенного полинома Колмогорова – Габора [4]:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_i a_j a_k x_i x_j x_k + \dots \quad (2)$$

Число членов полного полинома равно C_{m+q}^q , где m – число переменных, q – степень полинома, и уже при $n = q = 7$ достигает 3600. Поэтому основная задача моделирования сложных систем с использованием регрессионных уравнений заключается в том, чтобы исключить в полиноме (2) подмножество "лишних" неинформативных коэффициентов и сохранить необходимое и достаточное сочетание объясняющих членов. Сложность синтезированной модели будет оптимальной, если необходимая адекватность обеспечивается при минимальном количестве составляющих ее элементов [5].

В этих условиях традиционная параметрическая статистика требует либо очень большого объема известных данных, либо очень сильных предположений о виде функций распределения. Поэтому естественным является желание иметь единую парадигму построения различных эмпирических моделей, решающих задачи предсказания и классификации, которая бы удовлетворяла следующим условиям:

1. Достаточно высокая вычислительная эффективность, позволяющая получить работоспособные модели при разумных ресурсных издержках.

2. Отсутствие определяющих ограничений на функцию распределения данных.

3. Обеспечение возможности обработки разнотипных экспериментальных данных (без сведения всех признаков к одной шкале) и инвариантность к допустимым преобразованиям шкал признаков.

4. Робастность и технологичность при наличии пропусков в таблице, а также в случае, если число измеренных признаков n значительно превышает число объектов m .

5. Простота получения результата и инвариантность к конкретной проблемной области.

В некотором смысле большинству перечисленных требований удовлетворяют разнообразные алгоритмы, получившие бурное развитие за последние 20 лет и моделирующие процессы искусственного интеллекта [6]. Предметом настоящей работы явилось моделирование оценки качества воды поверхностных водоемов с использованием эволюционных методов и нейронных сетей различной конфигурации.

Экспериментальный материал

Анализ эффективности методов нейросетевого моделирования осуществлялся на массиве гидробиологических наблюдений [7], проведенных на 34 малых реках разного типа и степени антропогенной нагрузки, расположенных в степной и лесостепной зонах Самарской области. В обучающую выборку были включены 542 пробы, взятые на 247 станциях за период с 1987 по 2001 г.г. Для каждой станции наблюдения по совокупности гидрохимических показателей оценивали класс качества вод (Y) от 1 до 6 в соответствии с методиками [2, 3]. В качестве объектов биологического мониторинга в отобранных точках наблюдения использовались показатели обилия 546 видов организмов зообентоса. Суммарные значения численности T_{sj} и биомассы B_{sj} видов, принадлежащих к различным таксонам, пересчитывались в величины логарифма плотности населения $x_j = \ln((T_{sj} B_{sj})^{0.5})$, которые использовались в качестве варьируемых переменных X_v , $n_v = 49$. Для наиболее представительного семейства хирономид детализация таксономических групп была выполнена на уровне подсемейств и триб. Подпространство признаков X_{ii} было сформировано из 9 широкоупотребляемых индексов и обобщенных показателей, рекомендуемых к применению [1]. Вычисления проводились с применением универсальной программы нейросетевого анализа STATISTICA Neural Networks (адрес в Интернете <http://www.statsoft.ru/home/products/Neuralnetwork>).

Генетический алгоритм селекции информативных переменных

Важным условием применения любых статистических методов является предварительный анализ заданного набора признаков, который разбивается на две категории: информативные переменные, существенные для решения поставленной задачи, и незначимые переменные, несущие мало дополнительной информации для нахождения искомой зависимости. Для этой цели в традиционной статистике используют различные секвенциальные (пошаговые) процедуры, не всегда приводящие к результату, достаточно близкому к оптимальному. Элегантный автоматизированный подход к выбору значимых входных переменных может быть реализован с использованием генетического алгоритма, который можно считать "интеллектуальной" формой метода проб и ошибок.

Генетический алгоритм [8, 9], позаимствованный у природных аналогов, является наиболее ярким представителем эволюционных методов и представляет собой мощное поисковое средство, эффективное в различных проблемных областях и основанное на трех компонентах:

- генетической памяти, сконцентрированной в "хромосомах";
- воспроизведения, осуществляемого при помощи операторов кроссинговера и мутации;
- селекции продуктивных решений методами оптимизации многоэкстремальных функций.

Каждый возможный вариант набора входных переменных X_v представлялся в виде *хромосомы* - битовой маски длиной $n_v = 50$ по одному биту на каждую переменную. Ноль в соответствующей позиции означает, что эта исходная переменная не включена во входной набор, а единицы соответствуют базовому набору признаков. *Популяция* – совокупность решений на конкретной итерации, состоящая из некоторого количества хромосом r , которое задавалось изначально ($r = 100$) и в процессе мутаций не изменялось. Исходная популяция потенциальных решений на начальной итерации формировалась с исполь-

зованием специальных простых правил.

Эффективность каждой найденной комбинации признаков, представленной в популяции хромосомой z_j ($j = 1, \dots, r$), оценивалась функцией оптимальности $f(z)$, равной стандартному отклонению от регрессии при обучении обобщенно-регрессионной нейронной сети одинаковой конфигурации с коэффициентом сглаживания, равном 0,3. Мутации популяций осуществлялись с учетом вероятностей дальнейшего воспроизведения отдельных хромосом:

$$p(z_j^t) = \frac{f(z_j^t)}{\sum_{j=1}^r f(z_j^t)}, \quad j = 1, \dots, r,$$

в результате чего создавалась новая версия популяции, причем на каждом шаге с большей вероятностью воспроизводились наиболее эффективные элементы. Хромосомы производили потомков, используя операции рекомбинации: кроссинговера и мутации.

Оператор *кроссинговера* (эволюционного приспособления) производит скрещивание хромосом и обмен генетическим материалом между родителями для получения наиболее жизнеспособных потомков. Простейший одноточечный кроссинговер производит обмен частями кода, на которые хромосома разбивается точкой кроссинговера, выбираемой случайно. Оператор *мутации* (эволюционного исследования) применяется к каждому биту хромосомы с небольшой вероятностью ($p_1 \approx 0,001$), в результате чего бит (аллель) изменяет значение на противоположный.

Процесс эволюции продолжали на протяжении 100 поколений, т.е. цикл "отбор-порождение-оценка" был повторен 100 раз и при этом в поисках оптимального набора генов было построено и оценено 10000 версий нейросетевых моделей. В соответствии с найденным субоптимальным решением, все таксоны зообентоса разбили на две примерно равные категории: 27 групп информативных индикаторов качества воды (табл.1, левый столбец) и 22 группы организмов, мало значимых для нейросетевого моделирования (см. табл.1, правый столбец). Следует под-

Таблица 1. Результаты селекции информативного набора переменных с использованием генетического алгоритма

Информативные таксономические группы зообентоса	Таксономические группы зообентоса, незначимые для прогноза качества воды
<i>Amphipoda, Ceratopogonidae, Chaoboridae, Coleoptera, Dermaptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, Odonata, Limoniidae, Megaloptera, Psychodidae, Ptychopteridae, Simuliidae, Tabanidae, Hidracarina, Bivalvia, Dreissenidae, Gastropoda, Nematoda, Oligochaeta, Polychaeta, Chironomidae: Diamesinae, Orthocladinae, Prodiamesinae, Tanypodinae, Chironomini, Tanytarsini.</i>	<i>Crustacea, Arachnoidae, Hirudinea, Unionidae, Collembola, Culicidae, Cylindrotomidae, Dolichopodidae, Diplura, Dixidae, Ephydriidae, Hemiptera, Homoptera, Muscidae, Nematocera, Rhagionidae, Stratiomyidae, Tipulidae, Hydrida,</i>

черкнуть, что отнесение какого-либо таксона к малоинформативной категории вовсе не означает отсутствие фактической биологической зависимости обилия организмов этого таксона от уровня загрязнения, а, например, его сильной корреляцией с какой-либо другой значащей группой.

Иногда бывает полезно уменьшить размерность задачи даже ценой некоторой потери точности, создав дополнительный стимул к исключению лишних переменных в виде специального штрафа за элемент λ . Варьируя этим параметром генетического алгоритма можно эшелонировать весь список переменных по уровню их связи с целевой функцией. Жирным шрифтом в таблице 1 показаны группы организмов, информативные при $\lambda = 0,002$. Если же увеличить штраф за элемент до 0,005, то выбирается только один значимый признак - обилие организмов семейства *Ephemeroptera*, которое с этих позиций оказывается наиболее значимым индикатором качества воды.

Альтернативная классификация на основе многослойного персептрона

Современные искусственные нейронные сети (ИНС) конструируются из *формальных нейронов*, отдалённо напоминающих свой биологический прототип. Структура нейрона имеет вид, представленный на рис. 1, при следующих обозначениях:

$x_1...x_n$ – значения, поступающие на входы

(синапсы) нейрона;

$w_1...w_n$ – *веса* синапсов, которые могут быть как тормозящими, так и усиливающими;

S – взвешенная сумма входных сигналов:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i - T,$$

где T – *порог* нейрона;

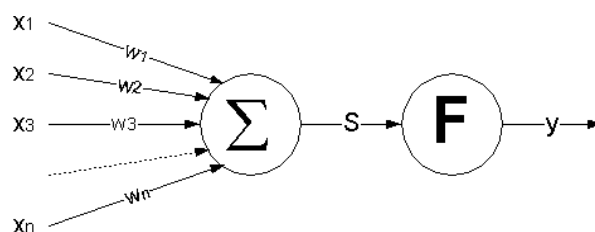
F – *функция активации* нейрона, преобразующая взвешенную сумму в выходной сигнал $y = F(S)$.

Вид функции активации F может иметь различное математическое выражение, из которых наиболее широкое распространение получили линейная $y = k \cdot S$ и логистическая

$y = \frac{1}{(1 + e^{-CS})}$ функции, где $C > 0$ – ко-

эффициент ширины сигмоидной кривой, имеющей S-образную форму.

В основе нейросетевого подхода [10] лежит идея построения вычислительного устройства из большого числа параллельно работающих простых элементов (т.е. описанных выше формальных нейронов), которые функ-

**Рис.1.** Структура искусственного нейрона

ционируют независимо друг от друга и связаны между собой однонаправленными каналами передачи информации. Каждый отдельный нейрон моделируется довольно простой функцией, но зато совокупная сложность модели, гибкость ее функционирования и другие важнейшие качества определяются структурой связей и многоуровневой иерархией всей сети.

На сегодня описано много разновидностей нейронных сетей [10-13], характерных для различных типов задач. Рассмотрим возможности обучения ИНС на примере трехслойного персептрона [11] с прямым распространением информации, представленного на рис.2 и моделирующего альтернативное значение отклика Y .

Нейроны регулярным образом организованы в слои, причем элементы любого слоя связаны только с нейронами предыдущего слоя, т.е. информация распространяется от предыдущих слоёв к последующим. Во входной (распределительный) слой сети подаются значения обилия 27 таксономических групп зообентоса, отобранных в результате генетического алгоритма, а также количество видов в пробе. Взвешенные линейные комбинации функций преобразования элементов промежуточного слоя, состоящие из 14 ассоциативных нейронов, составляют реакцию системы. На выходе обученной нами сети формируется логическое высказывание "Чисто" (класс

качества вод I-III) или "Грязно" (классы качества вод- IV-VI) в виде некоторого значения апостериорной вероятности на интервале от 0 до 1. Эффективность синтезируемой ИНС зависит от многих структурных и вычислительных факторов, которые обычно подбираются полуэмпирическим путем:

- количества промежуточных слоев и числа элементов в каждом слое;
- математического выражения для функции активации нейронов каждого слоя;
- используемого алгоритма и критерия оптимизации ошибки при обучении сети;
- соотношения между обучающей и контрольной выборками для независимой кросс-проверки качества сети.

Наилучшая сеть, конфигурация которой представлена на рис.2, была обучена методом оптимизации Левенберга-Маркара с оценкой качества ИНС по информационному критерию (простой энтропии). Вариант построения нелинейной разделяющей поверхности с использованием сигмоидной функции активации оказался более эффективен по сравнению с вариантом линейных разделяющих гиперплоскостей. Сеть обучалась на 400 примерах, а остальные 120 примеров выделялись в качестве внешнего дополнения и независимого контроля качества сети. Результаты моделирования, представленные в табл.2, по традиции для всех задач классификации оценивались как доли ошибочных

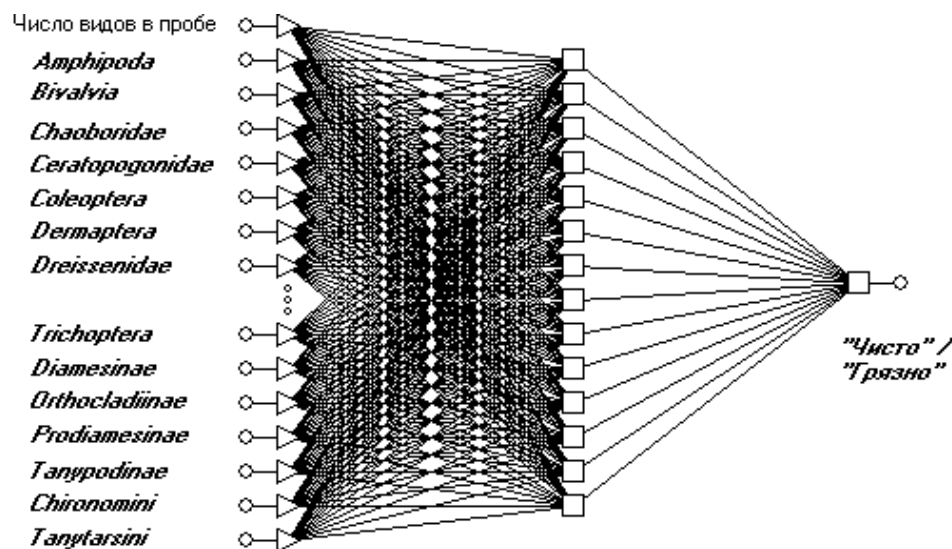


Рис.2. Схема многослойного персептрона для оценки категории качества воды по обилию групп зообентоса

Таблица 2. Результаты использования модели персептрона с одним промежуточным слоем для оценки категории качества воды

Результат прогноза	Обучающая выборка			Контрольное множество		
	Класс "Чисто"	Класс "Грязно"	Правильный прогноз, %	Класс "Чисто"	Класс "Грязно"	Правильный прогноз, %
"Чисто"	141	0	97,9	34	4	91,9
"Грязно"	2	276	100	2	58	92,1
Отказ	1	0		1	1	
Итого	144	276	99,3	37	63	92,0

опознаний на обеих выборках.

Решение задачи классификации с многими классами

Другим примером нейронной сети для непосредственной оценки значения класса качества водоемов в виде числа от 1 до 6 является персептрон с одним промежуточным слоем, архитектура которого представлена на рис.3. В качестве девяти варьируемых переменных было использовано подмножество обобщенных гидробиологических показателей X_i . Сеть имеет 5 выходов, соответствующие каждому из присутствующих в обучающей выборке классов качества воды и при правильном распознавании на одном из выходных элементов появляется высокое значение активации при незначительной ее величине на остальных четырех. Нами использовалась в выходном слое специальная функция активации (Softmax), представляющая собой взвешенную и нормированную на еди-

ницу сумму экспонент. Нетрудно показать, что если входные данные представляют собой выборку из какого-либо экспоненциального распределения, то выходы софтмакс-элементов можно трактовать как вероятности. Например, если для измерения на ст.1 р. Байтуган активации выходных нейронов сети оказались равными $\{0,314; 0,503; 0,142; 0,028; 0,018\}$, то с вероятностью 0,503 можно предположить, что это измерение было взято из водоема 3 класса качества, а с вероятностью 0,817 – из водоема 2-3 классов.

Результаты достоверности оценки классов качества представим в виде таблицы сопряженности "Факт-Прогноз" (табл.3), где по главной диагонали проставлены частоты правильной оценки групп измерений, а в остальных клетках – имеющиеся ошибки прогноза отдельно для обучающей выборки и контрольной последовательности.

Нейронную сеть, вследствие ее принципиальной многомерности, обычно интерпре-

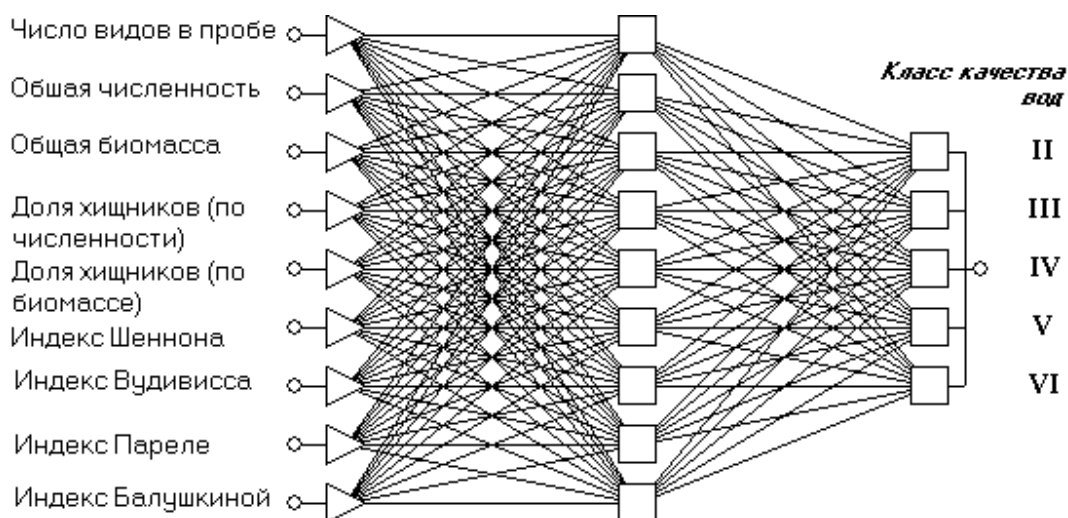
**Рис.3.** Нейронная сеть для прогнозирования пяти классов качества воды

Таблица 3. Результаты прогнозирования класса качества вод по модели многослойного персептрона

Классы качества вод		Фактические					Итого прогноз	Правильный прогноз, %	Ошибка на два и более класса, %
		2	3	4	5	6			
Прогноз по обучающей выборке	2	18	10	3	0	0	31	58,06	9,67
	3	13	52	24	6	0	95	54,47	6,31
	4	11	25	77	15	17	145	53,10	19,31
	5	0	10	14	36	15	75	48,0	13,3
	6	1	2	6	6	9	24	37,5	37,5
Итого факт		43	99	124	63	41	370	51,89	13,5
Прогноз по контрольной выборке	2	7	3	2	0	0	12	58,33	16,6
	3	2	15	14	3	1	35	42,86	11,42
	4	1	8	40	6	7	62	64,52	12,9
	5	0	2	5	13	11	31	41,94	6,45
	6	0	1	2	2	5	10	50,00	30,0
Итого факт		10	29	63	24	24	150	53,33	12,66

тируют как "черный ящик", поскольку визуальный или статистический анализ коэффициентов усиления и порогов, как это делается, например, в множественной регрессии, для всех структурных связей графа представляет собой весьма утомительную процедуру, не гарантирующую достоверных выводов. Тем не менее, при желании, можно заглянуть внутрь этого ящика и попытаться выяснить роль каждого скрытого элемента, создаваемый ими потенциал активации и прочие нейронные характеристики. Например, анализ чувствительности сети по ее входам дает возможность идентифицировать исходные переменные с низкой информативностью, которые могут быть игнорированы в последующих просчетах. Чувствительность каждой входной переменной измеряется как соотношение двух ошибок: ошибки сети без использования j -го признака к аналогичной ошибке при его наличии. Если это отношение η_j равно или менее 1, то анализируемая переменная либо не участвует в работе нейросетевой модели вообще, либо даже мешает ее работе, снижая общую надежность и компактность. Значения прироста ошибки δ_j и отношения чувствительности η_j для переменных, использованных в рассматриваемом примере, представлены в табл.4. Подробные выводы легко может сделать сам чита-

тель; мы же обращаем его внимание на рокировку ролей общей биомассы и индекса Шеннона при переходе от стадии обучения к контролю, которая объясняется не только случайными причинами.

Решение задачи о понижении размерности

Задача состоит в получении сжатого (редуцированного) представления исходных данных в виде матрицы F с меньшим числом переменных p ($n > p$) без существенной потери информации, содержащейся в исходной матрице X . Один из недостатков традиционного факторного анализа заключается в ортогональном характере преобразований, в результате чего улавливаются только линейные направления максимальной вариации. Более общий нелинейный вариант метода главных компонент основан на применении автоассоциативных сетей [14, 15]. Такая симметричная сеть предназначена для воспроизведения на выходе своих же сигналов, т.е. число выходов совпадает с числом входов, а все нейроны имеют особое свойство. Если число элементов промежуточного слоя сделать меньше числа входов/выходов, то это заставляет сеть "сжимать" информацию, представляя ее меньшим числом переменных. Трехслойная автоассоциативная сеть

Таблица 4. Анализ чувствительности входных переменных модели многослойного персептрона для прогнозирования класса качества вод

Анализируемые входные переменные	Обучающая выборка			Контрольная выборка		
	Ранг	δ_j	η_j	Ранг	δ_j	η_j
Биотический индекс Вудивисса	1	0,377	1,095	1	0,381	1,078
Олигохетный индекс Пареле	2	0,355	1,030	2	0,369	1,045
Общая биомасса (L_n мг/м ³)	3	0,351	1,018	7	0,354	1,003
Число видов в пробе	4	0,350	1,016	3	0,357	1,012
Хирономидный индекс Балушкиной	5	0,348	1,010	8	0,354	1,003
Общая численность (L_n экз/м ³)	6	0,348	1,009	5	0,356	1,007
Доля хищников (по численности)	7	0,347	1,007	9	0,353	0,999
Доля хищников (по биомассе)	8	0,347	1,006	6	0,356	1,007
Индекс Шеннона	9	0,346	1,003	4	0,356	1,008

сначала линейно преобразует входные данные в меньшую размерность промежуточно-го слоя, а затем снова линейно разворачивает их в выходном слое, реализуя стандартный алгоритм анализа главных компонент. Для того чтобы выполнить нелинейное понижение размерности, используют пятислойную сеть: ее средний слой служит для уменьшения размерности, а соседние с ним слои, отделяющие его от входного и выходного слоев, выполняют нелинейные преобразования.

Чтобы осуществить нелинейное понижение размерности исходной матрицы наблюдений для прогнозирования класса качества вод, используемой в предыдущем примере, выполняли следующие действия:

- построили и обучили на множестве из

520 примеров автоассоциативную сеть – персептрон с пятью слоями;

- удалили два последних слоя автоассоциативной сети и получили сеть для пре-процессирования, понижающую размерность данных, где количество варьируемых признаков было сведено от 9 до 3 без существенной потери информации;

- строили обрабатывающую сеть в виде второго трехслойного персептрона (при обучении на ее вход подавали выходные сигналы пре-процессирующей сети);

- объединив обе сети (см. рис.4), получили единую сеть, которая последовательно пересчитывает исходные данные в пространство трех главных компонент, после чего обрабатывает уже преобразованные факторы,

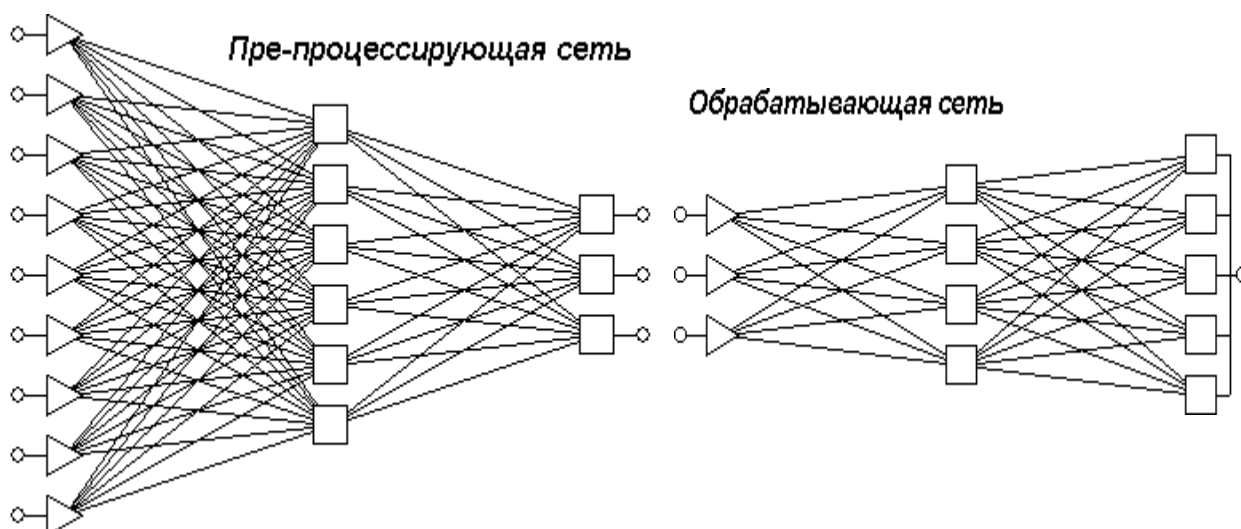


Рис.4. Последовательность двух сетей для понижения размерности признакового пространства

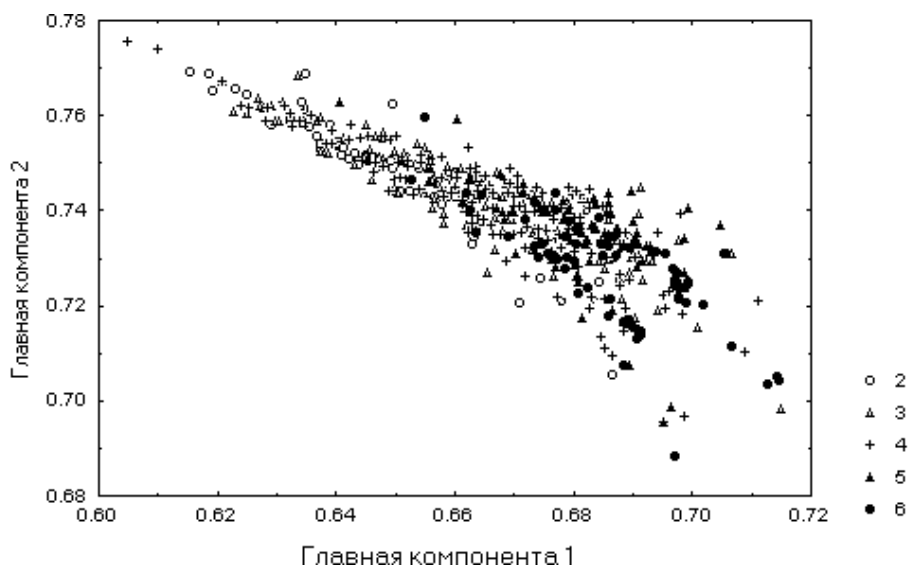


Рис.5. Изображение в пространстве двух главных компонент облака точек, соответствующих различным классам качества воды

прогнозируя значение отклика.

В нашем конкретном случае достоверность распознавания по полученной двухуровневой сетевой модели несколько снизилась по сравнению с обычным персептоном, представленным на рис.3. Однако общий смысл перехода в пространство небольшой размерности не столько в том, чтобы повысить эффективность прогноза, сколько в попытке дать какое-то содержательное объяснение имеющимся внутренним механизмам анализируемых явлений после сведения многочисленных взаимозависимых наблюдаемых переменных к немногим обобщенным ненаблюдаемым факторам. Один из способов это сделать – проанализировать двух- или трехмерную визуализацию классифицируемых объектов в осях главных факторов (см. рис.5). Изучив на полученном графике сильно трангрессирующее облако точек, принадлежащих разным классам качества воды, можно, по крайней мере, оценить, какая нетривиальная задача была поставлена перед системой распознавания.

Поскольку мы ограничены рамками настоящей публикации, вне обсуждения остался материал, посвященный следующим аспектам использования нейросетевых технологий для оценки качества воды водоемов:

– ИНС-модели, основанные на обоих классах признаков $X_{\text{и}}$ и $X_{\text{в}}$, а также сравни-

тельный анализ их информативности;

– решение задачи регрессии с помощью нейросетей различной архитектуры для прогнозирования гидрохимических и гидробиологических показателей, измеренных в непрерывных шкалах;

– кластерный анализ и визуализация полученных наблюдений с использованием самоорганизующихся карт Кохонена;

– оценка класса качества вод с использованием иерархических деревьев решений.

Заинтересованный читатель может воспользоваться нашим адресом электронной почты stok@tolcom.ru, чтобы высказать свое мнение или получить дополнительную информацию. В приложение к списку литературы приводим некоторые использованные нами сайты, где размещены Интернет-публикации, ссылки и библиография по проблемам искусственного интеллекта и нейросетевых технологий: <http://metalwarrior.narod.ru> и <http://vlasov.iu4.bmstu.ru/neurnews.html>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983.
2. ГОСТ 17.1.3.07-82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды

- водоемов и водотоков. М., 1982.
3. *Драчев С.М.* Борьба с загрязнением рек, озер и водохранилищ промышленными и бытовыми стоками. М.-Л.: Наука, 1964.
 4. *Ивахненко А.Г., Зайченко Ю.П., Димитров В.Д.* Принятие решений на основе самоорганизации. М.: Сов. радио, 1976.
 5. *Эшби Р.У.* Введение в кибернетику. М.: ИЛ, 1959.
 6. *Лорьер Ж.Л.* Системы искусственного интеллекта. М.: Мир, 1991.
 7. *Зинченко Т.Л., Шитиков В.К.* // Известия Самарского научного центра РАН. 1999. №1.
 8. *Goldberg D.E.* Genetic Algorithms. Reading, MA: Addison Wesley, 1989.
 9. *Скурихин А.Н.* Генетические алгоритмы // Новости искусственного интеллекта. 1995. №4.
 10. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника. М.: Мир, 1992.
 11. *Розенблатт Ф.* Принципы нейродинамики (перцептроны и теория механизмов мозга). М.: Мир, 1965.
 12. Нейроинформатика / *А.Н. Горбань, В.Л. Дунин-Барковский, А.Н. Кирдин и др.* Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998.
 13. *Горбань А.Н.* Обучение нейронных сетей. М.: ParaGraph, 1990.
 14. *Bishop C.* Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford: University Press, 1995.
 15. Нейронные сети. Statistica Neural Networks. М.: Горячая линия - Телеком, 2001.

METHODS OF NEURAL NETWORKS FOR ESTIMATION OF SUPERFICIAL WATER'S QUALITY BY USAGE OF HYDROBIOLOGICAL EXPONENTS

© 2002 V.K. Shitikov, T.D. Zinchenko, L.V. Golovatiyk

Institute of Ecology of the Volga River Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti

The experience of imitation neural networks using for creating models of casual connection of freshwater reservoir's quality with structure and functional characteristics of water ecosystem is presented. There are examples of different configuration's network training for estimation of water quality. The genetic algorithm for separation of taxonomical groups of zoobenthos, which are indicators of reservoir's state is described.

ЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ САМАРСКОЙ ЛУКИ. ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА

© 2002 М.В. Уманская

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Исследованы количественные и структурные характеристики бактериопланктона озер юго-восточной части НП "Самарская лука". Представлены результаты, характеризующие сезонную динамику и размерную структуру бактериопланктона пойменных водоемов, а также водоемов надпойменной террасы и Жигулевской возвышенности.

Микроорганизмам принадлежит важная роль в функционировании экосистем водоемов, поддержании стабильности состава и самоочищении водной среды. Они принимают участие в процессах сбалансированного разложения и продуцирования органического вещества и кругооборота биогенных элементов. Микроорганизмы играют основную роль в процессах минерализации органического вещества как естественного, так и антропогенного происхождения [1-3]. Поэтому для всесторонней оценки состояния водоемов необходима возможно более подробная характеристика бактериального сообщества. Наряду с общей численностью и биомассой, особенности функционирования бактериопланктона в значительной мере характеризует его морфологическая и размерная структура, которая определяется как таксономическим составом, так и физиологическим состоянием микроорганизмов [1, 4-6].

В 1999 году в рамках комплексной экспедиции ИЭВБ РАН было проведено микробиологическое исследование шести водоемов юго-восточной части НП "Самарская Лука": озера Большое Шелехметское (Шелехметский ландшафт пойм Волги [7]), Клюквенное, Опкан, Лизинка (Рождественский ландшафт надпойменных террас Волги [7]), Подгорское и пруд Верхний (Винновский ландшафт карстующихся возвышенностей [7]). Целью данной работы являлось исследование количественных и структурных особенностей развития и функционирования бактериопланктона в экосистемах озер различного типа.

Пробы воды на микробиологические показатели отбирали в течение вегетационного сезона 1999 г. с интервалами в 20-30 дней в зависимости от возможности взятия проб и смены биологических явлений в этих водоемах. В пруду Верхнем, озерах Лизинка и Опкан пробы отбирали только в поверхностном слое воды, т.к. их глубина в течение почти всего периода наблюдений не превышала 1 м. В озерах Б. Шелехметском, Клюквенном и Подгорском пробы отбирали в поверхностном и придонном слоях воды. Учет общего числа бактерий проводился на мембранных фильтрах СЫНПОР №8 с окраской эритрозином [8]. Дифференцировано подсчитывались кокки со средним диаметром 0,35 и 0,70 мкм; палочки со средними размерами 0,35×1,00 и 0,7×2,00 мкм и нитевидные формы, длина которых превышала 10 мкм. Биомассу бактерий рассчитывали по [9] и выражали в углероде. Для статистической обработки полученных данных был использован стандартный пакет Statistica for Windows.

Все исследованные водоемы являются мелководными и, кроме пойменного озера Б. Шелехметское, не имеют поверхностного стока. В работах [10-14] описано их ландшафтное положение, гидрохимический режим и некоторые гидрологические и гидробиологические особенности. Вода всех изученных водоемов пресная, мягкая до умеренно-жесткой, преимущественно гидрокарбонатно-кальциевая [11]. В таблице 1 представлены некоторые показатели химического состава воды исследованных водоемов. По совокуп-

Таблица 1. Гидрологические и гидрохимические показатели исследованных водоемов

Показатели	оз. Б. Шелехметское		оз. Клюквенное		оз. Лизинка	оз. Оп-кан*	оз. Подгорское		Пруд Верхний
	0 м	у дна	0 м	у дна			0 м	у дна	
Глубина, м	3,97		1,18		0,61	0,59	2,28		1,07
Прозрачность, м	1,06		0,48		до дна	до дна	0,61		0,66
Общая минерализация, мг/л	342	370	115	111	142	148	336	376	386
Общая жесткость, мг-экв./л	4,10	4,40	1,23	1,11	1,40	1,43	3,84	4,24	3,76
РН	7,78	7,69	8,20	7,55	6,65	7,45	8,75	8,05	7,90
Содержание кислорода, %	124	80	128	95	59	112	153	77	95
БПК ₅ , мг/л	4,85	5,08	10,19	10,84	8,63	3,88	10,23	13,93	4,68
Цветность, град	66	60	123	206	344	176	64	84	50

Примечание: * - пересыхающее озеро, данные относятся к периоду апрель – август. В таблице представлены средние данные за весь период наблюдений (апрель – ноябрь 1999 г.).

ности гидрохимических показателей их можно разделить на две группы: 1) озера с мягкой маломинерализованной водой с высокой цветностью (все террасные озера) и 2) водо-

Таблица 2. Некоторые микробиологические показатели исследованных водоемов

Показатели	оз. Б. Шелехметское		оз. Клюквенное		оз. Лизинка	оз. Оп-кан*	оз. Подгорское		Пруд Верхний
	0 м	у дна	0 м	у дна			0 м	у дна	
Общая численность бактерий, млн. кл./мл	4,64	4,84	12,05	14,97	11,50	7,10	5,04	7,76	3,61
Общая биомасса бактерий, мкг С/л	41,1	41,8	98,1	144,9	97,4	112	49,2	69,2	42,3
Средний объем клеток, мкм ³	0,118	0,115	0,108	0,129	0,113	0,21	0,13	0,119	0,156
<i>Численность, % общей</i>									
Мелких клеток	82,7	86,4	77,6	78,0	75,1	28,4	67,9	73,0	48,5
Крупных клеток	12,9	9,6	22,3	18,9	23,1	71,6	26,0	23,5	49,0
Агрегатов	4,3	4,0	0,1	3,2	1,8	0,0	6,1	3,4	2,6
<i>Биомасса, % общей</i>									
Мелких клеток	55,2	58,1	53,1	45,0	59,1	24,0	41,9	42,4	37,9
Крупных клеток	25,1	24,1	46,8	40,3	35,2	76,0	42,7	37,9	53,4
Агрегатов	19,8	17,5	0,1	14,7	5,7	0,0	15,5	19,8	8,8

Примечание: * - пересыхающее озеро, данные относятся к периоду апрель – август. В таблице представлены средние данные за весь период наблюдений (апрель – ноябрь 1999 г.).

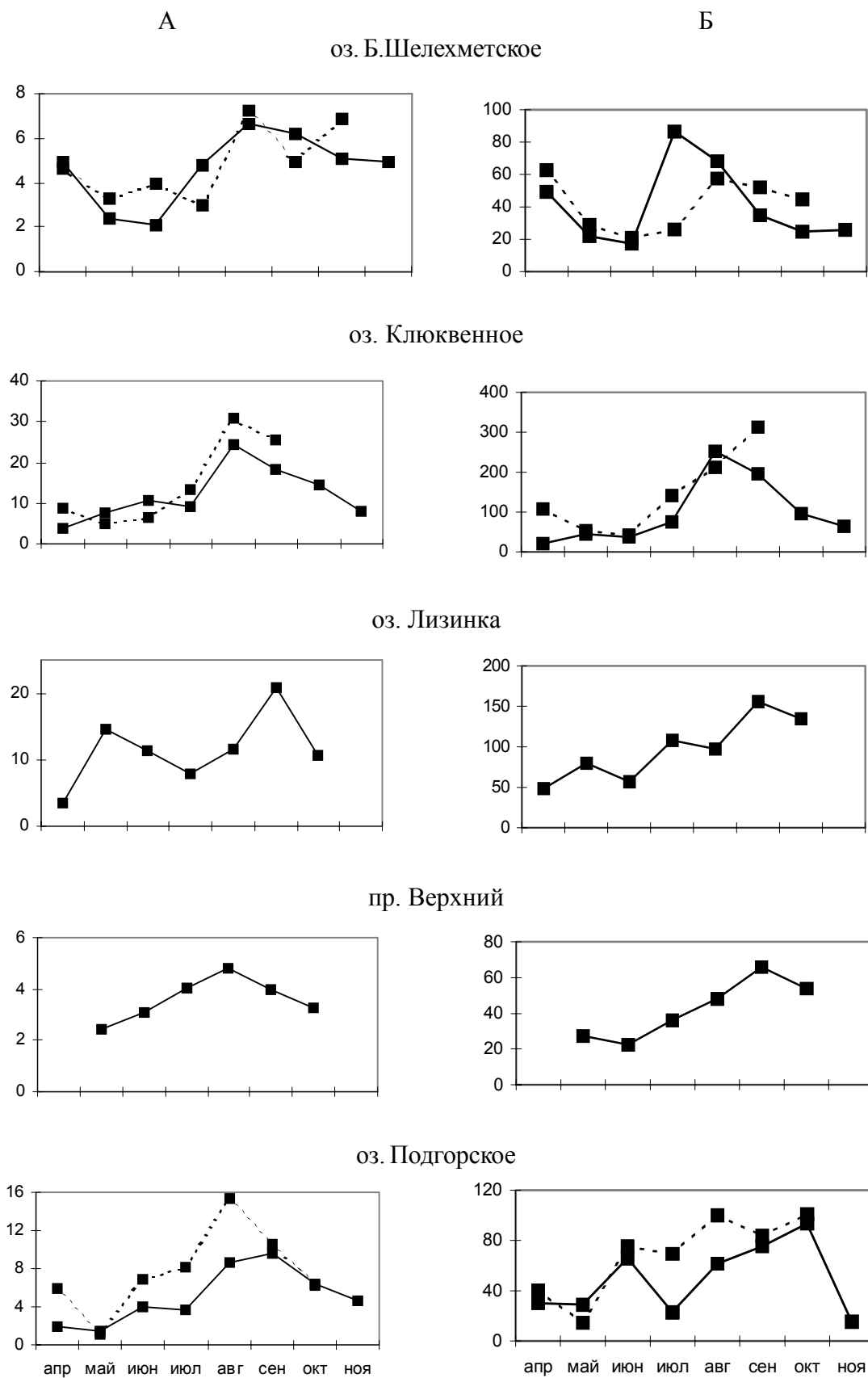


Рис.1. Колебания общей численности (А) и биомассы (Б) бактерий в исследованных водоемах. Сплошная линия - поверхностный слой воды, пунктирная линия - придонный слой воды. Общая численность бактерий выражена в млн. кл./мл; общая биомасса - в мкг С/л

емы с умеренно-жесткой среднеминерализованной водой с более низкой цветностью (водоемы карстующейся возвышенности и пойменное оз. Большое Шелехметское).

Общая численность бактерий (ОЧБ) в исследованных водоемах колебалась от 1 до 31 млн. кл./мл. В среднем в озерах Б. Шелехметском, Подгорском и пруду Верхнем она составляла $5,21 \pm 2,07$ млн. кл./мл, а в остальных – $12,00 \pm 5,50$ млн. кл./мл, причем численность бактерий в придонном слое воды была выше, чем в поверхностном (табл.2). В течение периода наблюдений в исследованных водоемах общая численность бактерий претерпевала сложные изменения, но при этом ее абсолютный максимум был зарегистрирован во всех водоемах в августе-сентябре (рис.1).

В течение всего периода наблюдений численности бактерий в поверхностном и придонном горизонтах оз. Б. Шелехметское были близки (разница между ними в среднем равна 4%). В поверхностном слое воды озера наибольшая численность бактерий отмечалась в августе, наименьшая – в июне. Численности бактерий ранней весной и поздней осенью были практически равны друг другу. Колебания численности в придонном слое воды носили нерегулярный характер, однако, весной и в начале лета численность бактерий была почти в 2 раза ниже, чем в конце лета и осенью (рис.1).

В поверхностном слое воды всех террасных озер было отмечено два максимума развития бактерий – в мае-июне и в августе-сентябре. Абсолютные минимумы численности бактерий были зарегистрированы в апреле. Максимальные плотности бактериальных клеток в придонном слое воды оз. Клюквенного отмечались в апреле и в августе, причем абсолютные максимумы развития бактерий в поверхностном и придонном слоях совпадали по времени. В среднем численность бактерий в придонном слое воды была на 24 % выше, чем в поверхностном (рис.1).

В поверхностном слое воды оз. Подгорского наибольшая численность бактерий была отмечена в сентябре, затем она значительно

уменьшалась, хотя и оставалась выше, чем весной. Небольшой промежуточный подъем был также зарегистрирован в июне. Изменения численности бактерий в придонном слое воды имели похожий характер, но максимальная численность наблюдалась в августе. В среднем численность бактерий в придонном слое воды была на 54 % выше, чем в поверхностном. Абсолютный минимум численности бактерий во всей толще воды был зарегистрирован в мае (рис.1). В пруду Верхнем общая численность бактерий была несколько ниже, чем в других озерах, и в течение периода наблюдений был отмечен единственный максимум численности в августе (рис.1).

Бактериопланктон всех изученных водоемов был представлен в основном свободноплавающими одиночными клетками различных размеров и формы. Бактериальные агрегаты в исследованных водоемах представляли собой скопления вокруг живых и разрушающихся клеток водорослей, пленочные скопления неправильной формы и микроколонию. Численность агрегированного планктона не превышала 15% общей численности бактерий (рис.2, 3), но его доля в общей биомассе была несколько выше (до 21%), так как клетки в бактериальных агрегатах были, в среднем, несколько крупнее свободных.

В Б. Шелехметском озере были зарегистрированы различные виды агрегированного бактериопланктона: скопления вокруг живых и разрушающихся клеток водорослей, пленочные скопления неправильной формы и микроколонию, в том числе *Lamprospedia sp* (в придонном слое воды). В оз. Подгорском агрегированный бактериопланктон был обнаружен во всех наблюдениях и, как правило, представлял собой бактериальные скопления вокруг живых и разрушающихся клеток водорослей. Наибольшее количество агрегированного планктона в придонном слое воды было отмечено в апреле – июне, в это же время у поверхности его численность была невелика, но увеличивалась к июлю и далее была практически постоянной. В пруду Верхнем агрегированный планктон не обнаруживался до июля, позднее он был представлен,

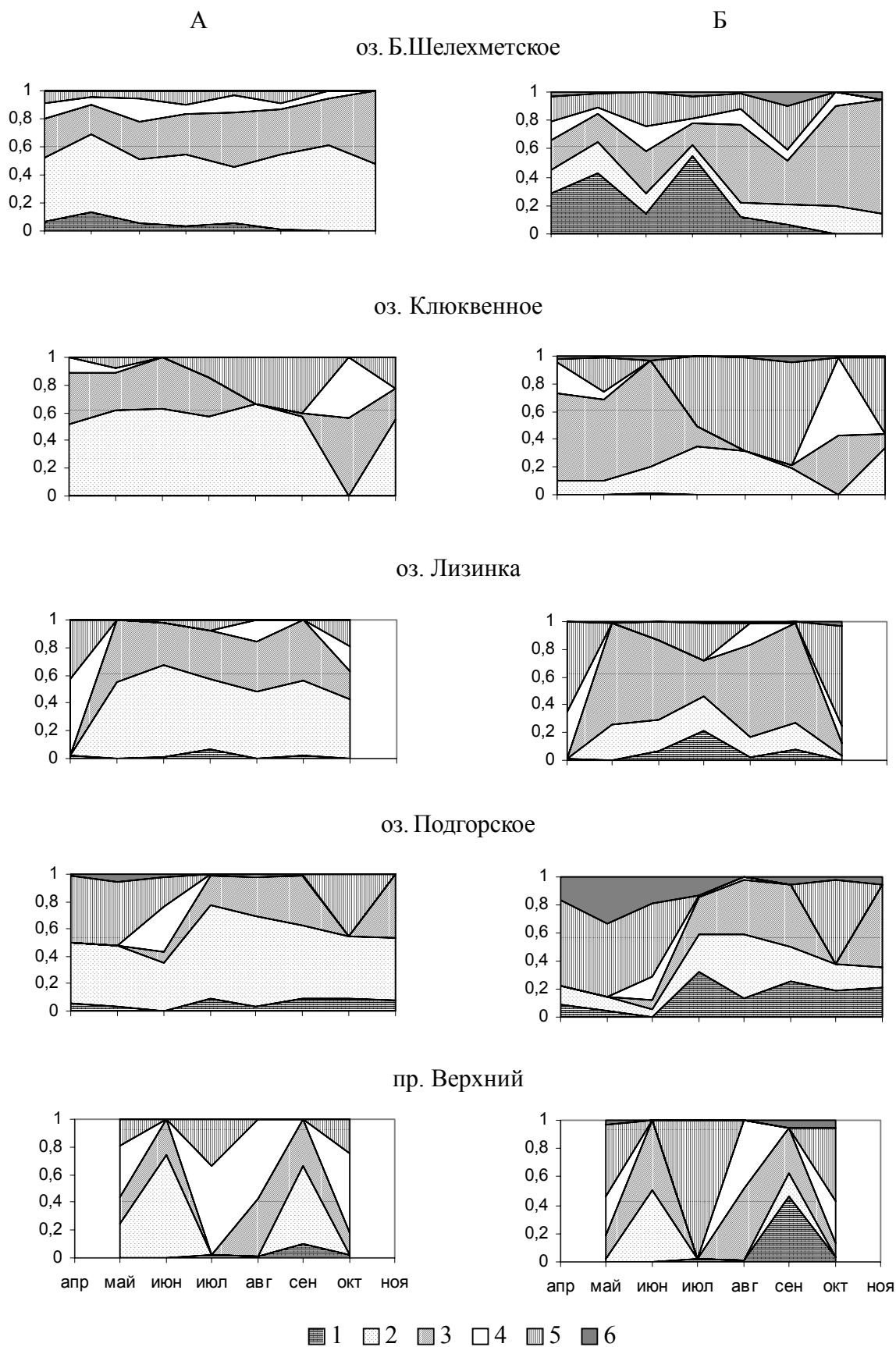


Рис.2. Численность (А) и биомасса (Б) различных групп бактериопланктона поверхностного слоя воды исследованных водоемов в долях от общей численности и биомассы:
1- агрегированный бактериопланктон, 2 – мелкие кокки, 3 – мелкие палочки,
4 – крупные кокки, 5 – крупные палочки, 6 – нити

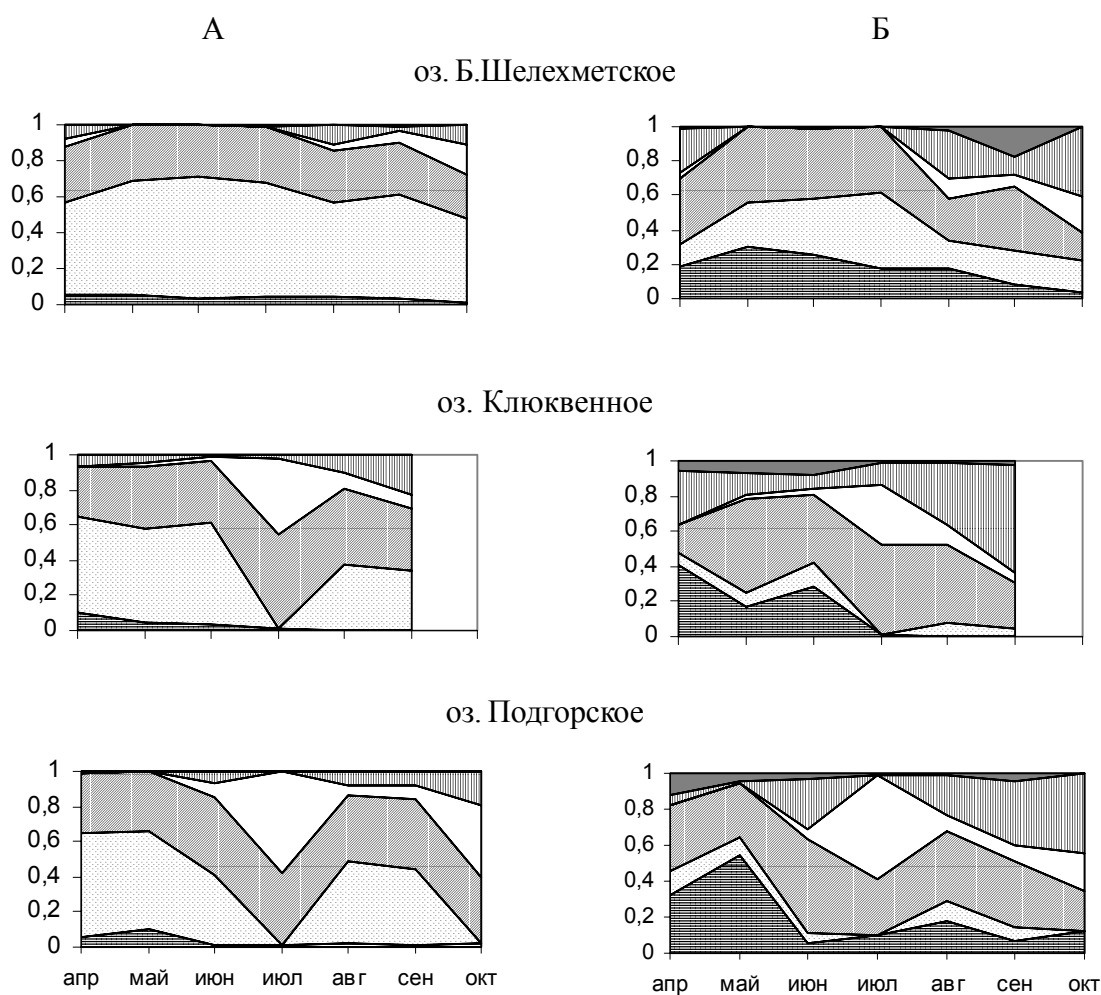


Рис.3. Численность (А) и биомасса (Б) различных групп бактериопланктона придонного слоя воды исследованных водоемов в долях от общей численности и биомассы. Условные обозначения как на рис.2

в основном, микроколониями *Lampropedia sp.*, а осенью отмечалось появление пленочных скоплений неправильной формы. В террасных озерах бактериальные скопления практически отсутствовали; в незначительном количестве они были обнаружены летом в оз. Лизинка и весной в придонном слое воды оз. Клюквенного.

Во всех исследованных водоемах мелкие кокки и палочки вносили основной вклад в общую численность бактериопланктона (табл.2, рис.2, 3), причем в некоторых случаях он достигал 95-100% ОЧБ. Развитие крупноклеточных форм было неодинаковым в разных водоемах. Крупные клетки преобладали в оз. Опкан (до 100% ОЧБ в августе) и пруду Верхнем (до 98,2% ОЧБ в июле). В остальных водоемах численность крупных клеток

была намного ниже (табл.2) и в отдельные даты они практически полностью отсутствовали (например, в ноябре в Б. Шелехметском и Подгорском озерах).

Практически в течение всего периода наблюдений крупные кокки присутствовали в озере Опкан (до 68,4% ОЧБ) и пруду Верхнем (до 64,4% ОЧБ). В оз. Б.Шелехметском в поверхностном слое воды крупные кокки в небольшом количестве (5,1-12,8% ОЧБ) также регистрировались в течение всего сезона (кроме ноября), а в придонном слое – только в конце лета и осенью (4,3-16,0% ОЧБ). В остальных водоемах крупные кокки регистрировались только в отдельные периоды сезона наблюдений, причем колебания их численности на поверхности и у дна не совпадали (рис.2, 3).

Крупные палочки в различном количестве присутствовали во всех водоемах практически в течение всего периода наблюдения. Наименьшей их доля была в Б.Шелехметском озере, а наибольшей – в Подгорском (рис. 2). Нитевидные формы клеток в озерах Подгорском (0,01-5,4% ОЧБ), Б. Шелехметском (0,01-1,48% ОЧБ), Клюквенном (0,02-0,34% ОЧБ), Лизинке (0,01-0,12% ОЧБ) присутствовали в течение всего сезона наблюдений. В пруду нити были обнаружены только весной и осенью (0,16-0,52% ОЧБ), а в оз. Опкан их не было вообще.

По размерной структуре бактериопланктона в целом, пруд Верхний и оз. Опкан сильно отличаются от других водоемов большим вкладом крупных кокков и палочек в общую численность (табл.2). Структура бактериопланктона остальных водоемов сходна, однако в озерах Б. Шелехметское и Лизинка доля крупных палочек ниже, чем в озерах Клюквенное и Подгорское. Эти различия, возможно, связаны с большим развитием фитопланктона [10, 13] в последних двух водоемах.

Хотя индивидуальные размеры бактериальных клеток во всех водоемах были одинаковы, из-за различного соотношения между крупными и мелкими клетками средневзвешенный объем клеток разных водоемов имел значительные отличия (табл.2). В табл.3 представлена динамика изменения средневзвешенного объема бактериальных клеток (мкм^3) в исследованных водоемах.

Большинство бактерий, входящих в состав бактериопланктона, вариабельны по размеру и, как правило, их линейные размеры уменьшаются в условиях интенсивного деления [4]. Как показано выше, в летний период, при максимальной скорости размножения

бактерий, средний объем клеток в большинстве исследованных водоемов минимален. Поэтому можно было ожидать отрицательной корреляции между абсолютными величинами численности и средним размером клеток бактериопланктона. Однако в целом для всех изученных водоемов корреляции между средневзвешенным объемом бактериальных клеток и общей численностью бактерий не наблюдалось ($r = -0,09$). В то же время в оз. Подгорское и Лизинка с увеличением общей численности средневзвешенный объем бактериальных клеток снижался ($r = -0,50$ и $-0,58$, соответственно), а в оз. Клюквенное, напротив, отмечалась небольшая положительная корреляция между этими показателями ($r = +0,10$). При этом необходимо отметить, что корреляция между объемом и численностью бактериальных клеток была практически одинаковой в поверхностном ($r = -0,56$) и придонном ($r = -0,61$) слоях воды оз. Подгорское, В оз. Клюквенное в поверхностном слое воды наблюдалась положительная корреляция между объемом и численностью бактериальных клеток ($r = +0,68$), тогда как в придонном слое была отмечена слабая отрицательная корреляция ($r = -0,13$). Отсутствие корреляции в целом может объясняться различным составом бактериопланктона в исследованных водоемах и, как следствие, различием средних объемов клеток в них, а также влиянием на численность бактерий, помимо скорости их размножения, других факторов, например, выедания. Значительная положительная корреляция между численностью и средним объемом клеток оз. Клюквенное, по-видимому, связана с развитием в период максимальной общей численности крупноклеточных форм, доля которых мала в остальное время.

Таблица 3. Динамика изменения средневзвешенного объема бактериальных клеток (мкм^3) в исследованных водоемах

	оз. Б. Шелехметское	оз. Клюквенное	оз. Лизинка	оз. Подгорское	пр. Верхний
весна	0,138	0,113	0,128	0,190	0,149
лето	0,129	0,103	0,121	0,124	0,117
осень	0,088	0,125	0,134	0,133	0,219

Сезонная динамика биомассы бактериопланктона в озерах зависела как от колебаний общей численности, так и от соотношения форм и размеров клеток, поэтому она проявляла относительно мало сходства с динамикой общей численности (рис.1). Средняя биомасса наиболее велика в озерах надпойменной террасы и минимальна в оз. Б. Шелехметское (табл.2).

В озерах Клюквенном и Опкане динамика биомассы во всей толще воды почти полностью совпадала с динамикой общей численности бактериопланктона. В поверхностном слое воды оз. Б. Шелехметское изменения биомассы также были похожи на колебания численности (максимальная величина биомассы зарегистрирована в августе, а минимальная – в мае), но были более четко выражены. Общая биомасса бактериопланктона осенью была ниже, чем ранней весной. В придонном слое воды этого озера колебания биомассы происходили практически независимо от колебаний численности. Наибольшая биомасса отмечалась в апреле, второй (меньший) максимум – в августе-сентябре (при более высокой общей численности), а абсолютный минимум биомассы был зарегистрирован в июне (рис.1).

В озерах Лизинка, Подгорское и пруду Верхнем динамика биомассы проявляла относительно мало сходства с динамикой общей численности. В оз. Лизинка общая биомасса практически монотонно возрастала с апреля по октябрь. В поверхностном слое воды оз. Подгорского обнаружено два четко выраженных пика биомассы, причем только первый из них – в июне – совпадает с меньшим максимумом численности бактериопланктона. В придонном слое воды этого озера также был зарегистрирован июньский максимум биомассы; после спада в июле величина общей биомассы стабилизировалась на высоком уровне (рис.1). В пруду Верхнем (рис.1, 2) в июне, несмотря на увеличение общей численности бактерий, общая биомасса уменьшилась (за счет увеличения доли мелких клеток) и далее она увеличивалась почти до конца сезона наблюдений.

Доля разных морфологических и размерных групп бактерий в общей биомассе была различной (табл.2, рис.2, 3). Во всех водоемах основной вклад в общую биомассу (26,3-98,1% ОБ) вносили мелкие и крупные палочки. Их средесезонная биомасса составляла 47-60% общей в водоемах Б. Шелехметском, Подгорском, Опкане и Верхнем, и 65-69% – в Лизинке и Клюквенном. Биомасса мелких и крупных кокков в исследованных водоемах изменялась в широких пределах от 0 до 60% ОБ. В среднем их вклад в общую биомассу составлял 22-25% в оз. Подгорском, Клюквенном и Лизинке, 27-29% - в оз. Б. Шелехметском и пруду Верхнем; и 46% в Опкане.

Несмотря на малую численность, вклад нитей в общую биомассу бактериопланктона водоемов был довольно значителен, за исключением оз. Опкан, где они полностью отсутствовали в течение всего периода наблюдений. В отдельных пробах (весной во всей толще воды оз. Подгорского (5-34% ОБ), в сентябре в пруду (5,5%) и в придонном слое воды оз. Б. Шелехметского (17,4%) биомасса нитей была сравнима или даже превышала биомассу кокков. Среднесезонная биомасса нитевидных клеток была минимальной в Лизинке (1,2%), а наибольшей (11,9%) - в поверхностном слое воды оз. Подгорское.

Была проведена оценка сходства и различия исследованных водоемов по количественным показателям бактериопланктона с использованием кластерного анализа. Озеро Опкан, пересохшее к началу осени, в анализе не учитывали из-за недостаточного количества данных. В качестве исходных использовали ежемесячные данные об общей численности и биомассе бактерий в различных водоемах.

Мерой сходства характера изменения численности бактериопланктона в исследованных водоемах служил коэффициент корреляции между соответствующими временными рядами данных. При этом было выделено 3 кластера: 1 – оз. Б. Шелехметское и пруд Верхний; 2 – озера Клюквенное и Подгорское; 3 – оз. Лизинка. В первый кластер

вошли водоемы с относительно низким содержанием растворенного органического вещества (по БПК₅) и умеренным развитием фитопланктона, во второй – озера с высоким содержанием растворенного органического вещества (по БПК₅) и интенсивным летним "цветением" воды. Оз. Лизинка, водоем с сильно гумифицированной водой, высоким содержанием растворенного органического вещества (по БПК₅), и слабым развитием фитопланктона, наиболее сильно отличается по динамике развития бактериопланктона от остальных водоемов. Аналогичные результаты были получены при анализе динамики биомассы бактерий.

При использовании в качестве меры различия эвклидова расстояния, которое, наряду с динамикой изменения показателя отражает различие его среднегодовых величин, водоемы объединялись в 2 кластера. В первый из них вошли озера Клюквенное и Лизинка с высокой численностью и биомассой бактериопланктона, во второй – Б. Шелехметское озеро, Подгорское и пруд Верхний, характеризующиеся средней и низкой степенью развития бактериопланктона. Водоемы, входящие в эти два кластера, резко различаются по уровню минерализации воды и цветности (см. табл. 1).

Таким образом, основываясь на результатах кластерного анализа, можно считать, что среднегодовая численность бактериопланктона в исследованных водоемах в значительной степени определяется особенностями состава воды, а характер изменений численности в течение сезона отражает, по видимому, динамику содержания легкоразлагаемого органического вещества и уровня развития фитопланктона. Выход следующих статей данной серии, посвященных особенностям содержания биогенных элементов и характеристикам развития сообществ других планктонных организмов, позволит сделать дальнейшие выводы о характере связи развития бактериопланктона с другими биотическими и абиотическими факторами и его роли в функционировании экосистем исследованных водоемов юго-восточной части Самарской Луки.

Автор выражает искреннюю благодарность В.Н. Паутовой за полезные замечания по содержанию рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов С.И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. Л., 1970.
2. Драбкова В.Г. Зональное изменение интенсивности микробиологических процессов в озерах. Л., 1981.
3. Драбкова В.Г. Гетеротрофный потенциал озер разного типа // Гидробиологические исследования морских и пресных вод. Л., 1988.
4. Гуренович Т.Г. Расчет продукции бактериопланктона с учетом его размерной структуры // Тр. ЗИН. 1989. Т.205.
5. Павельева Е.Б. Краткосрочные колебания структурно-функциональных характеристик бактериопланктона слабо эвтрофного озера // Биология внутренних вод. 1999. №1-3.
6. Гурняк Д., Олейник Г.Н., Свионтецки А. Структура и функционирование бактериопланктона озера Варняк (Польша) после биоманипуляционных экспериментов // Гидробиол. журн. 2002. Т.38. №2.
7. Мельченко В.Е. Ландшафты Самарской Луки // Самарская Лука. 1991. №1.
8. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Л., 1974.
9. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М., 1989.
10. Быкова С.В., Тишакова О.Г., Уманская М.В. Характеристика летнего планктона озер национального парка "Самарская Лука" // Материалы межрегиональной научно-практической конф. "Экологические проблемы Среднего Поволжья". 15-17 ноября. Ульяновск, 1999.
11. Поспелов А.П., Горбунов Ю.М., Уманская М.В., Поспелова М.Д. Характеристика гидрохимического режима водоемов Самарской Луки // Известия Самарского научного центра РАН. 2000. Т.2. №2.
12. Паутова В.Н. Лимнологические исследования в юго-восточной части Самарской

- Луки. Положение в ландшафте, гидрологические и гидрохимические особенности водоемов // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т.3. №2.
13. Горбунов М.Ю., Уманская М.В., Номоконова В.И., Тишакова О.Г. К оценке состояния бессточных водоемов национального парка "Самарская Лука" по химико-биологическим показателям // Материалы Всероссийск. науч. конф. "Фундаментальные и прикладные аспекты функционирования водных экосистем". Саратов: Саратовск. ун-т, 2001.
 14. Уманская М.В., Горбунов М.Ю., Быкова С.В., Шерышева Н.Г., Горохова О.Г., Паутова В.Н. Общая характеристика некоторых водоемов Самарской Луки // Материалы межд. науч. конф. "Заповедное дело России: принципы, проблемы, приоритеты". Жигулевский заповедник. 2002.

LIMNOLOGICAL RESEARCH IN THE SOUTHEAST PART OF THE SAMARSKAYA LUKA. CHARACTERISTICS OF BACTERIOPLANKTON DEVELOPMENT

© 2002 M.V. Umanskaya

Institute of Ecology of the Volga River Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti

Quantitative and structural characteristics of bacterioplankton community in several lakes of the Southeast part of the National Park "Samarskaya Luka" were investigated. The results showing the seasonal dynamics and size structure of bacterial community of water bodies of Volga floodplain, terrace and Zhiguli karsts height are given.