

## ЕСТЕСТВЕННО-ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ВОЛЖСКОГО БАССЕЙНА

© 1999 Г. П. Краснощеков, Г. С. Розенберг

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Обсуждаются пути становления территории Волжского бассейна в свете достижения устойчивого развития систем разного масштаба. Даны рекомендации по стратегическим направлениям эколого-хозяйственной реабилитации территории.

Волга - крупнейшая река Европы, национальная гордость России, - протянулась на 3531 км; площадь водосбора (территория Волжского бассейна) оценивается в 1360 тыс. кв.км (62,2% европейской части и 8% всей площади России или почти 13% территории Европы), она включает 39 административных единиц (областей и республик; две из них - в Казахстане, остальные - в России). Современной экологической обстановке в Волжском бассейне посвящена специальная монография авторов [1] и коллективные монографии [2,3] и потому в настоящей работе мы не будем останавливаться на ее характеристике специально. Приведем лишь табл.1, которая дает некоторое представление о степени зарегулированности Волги.

### 1. Этапы формирования экологической ситуации в Волжском бассейне

Развитие экокризисной ситуации в Волжском бассейне обычно связывается со сталинским планом Великого преобразования природы. Но это скорее идеологическая оценка, чем результат глубокого анализа развития событий в исторической ретроспективе. Действительно, при Сталине проводилась интенсивная индустриализация страны, освоение «второго Баку», был построен каскад Волжских водохранилищ, ряд каналов. Все это неизбежно влияло на экологическую обстановку в бассейне. Но эти действия были определены логикой исторического развития территории Волжского бассейна, где интенсивно «развертывалось» взаимодействие

суши и моря, ледников и зон умеренного климата, леса и степи, цивилизаций Запада и Востока, оседлых и кочевых народов (встречные широтные миграции на севере и юге, меридианальные миграции), государства и «вольницы», экономическое развитие в условиях метрополии и окраин. И вообще, не тривиальным и достаточно обоснованным выглядит вопрос о пользе экологических кризисов [5].

Уже в конце XIX века на Волге проявились признаки экологического кризиса. В результате вырубki лесов, многократно возросшей после отмены крепостного права (табл.2), был нарушен водный баланс Волги, исчезли многие мелкие реки (статистика отсутствует, но счет идет на тысячи). Волга прогрессивно мелела, складывались крайне неблагоприятные условия для судоходства. О безжалостном уничтожении лесов в России с большой скорбью писали Н.А.Некрасов:

*Где, бывало, леса вековечные  
На огромных пространствах шумят,  
Там теперь пустыри бесконечные  
Пеленою могильной лежат*

и А.П.Чехов (словами доктора Астрова из «Дяди Вани»): «Русские леса трещат под топором, гибнут миллиарды деревьев, опустошаются жилища зверей и птиц, мелеют и сохнут реки, исчезают безвозвратно чудные пейзажи...»

В 1885 г. на обложке одного из номеров журнала «Будильник» (№ 34) была изображена умирающая Волга, над которой печально стояли История, Торговля и Поэзия. «Умирает могучий русский богатырь, подаривший

Таблица 1. Некоторые характеристики водохранилищ р.Волги

Водохранилище	Год заполнения	Длина, км	Площадь		Полный объем, км <sup>3</sup>	Выработка электроэнергии, млрд.кВт.ч
			водосбора, тыс.км <sup>2</sup>	зеркала, км		
Иваньковское	1937	145	41,00	327	1,12	0,1
Угличское	1940	136	60,02	249	1,24	0,2
Рыбинское	1940-49	360	15,50	4550	25,42	0,9
Горьковское	1955-57	448		1591	8,82	1,5
Чебоксарское*	1982-85	340		2190	13,80	3,3
Куйбышевское	1955-57	484	1210,00	5900	58,00	19,8
Саратовское	1967-68	348		1831	12,37	5,3
Волгоградское	1958-60	546		3117	31,45	10,9
Все водохранилища Волжско-Камского каскада**		3000	1360	20700	143,80	49,0***

Примечание

\* - при проектном НПУ (нормальном подпорном уровне), \*\* - см. [4]; \*\*\* - см. [2].

сотни красивейших страниц нашей истории» - так прокомментировал журнал эту картинку. Пессимистические прогнозы судьбы Волги высказывались неоднократно. Экономист А.Маликов в книге «Край без будущего» писал: «Может быть, не особенно далеко то время, когда и эту великую реку понемногу проглотит громадная азиатская пустыня, надвигающаяся медленными, но верными шагами и иссушающая не только реки, но и моря». «Обмеление Волги - хроническое вряд ли поправимое зло» - так оценивал состояние реки в начале века С.Монастырский (см., например, [6]).

Идеи обустройства Волги имеют многовековую историю, но реализовываться они начали при Петре Великом. С созданием северной столицы особую актуальность приобрела необходимость ее связи с остальной территорией страны. В планах Петра I было установление через Волгу единой сети судоходных рек России. При нем в 1709 г. была создана Вышневолоцкая судоходная система, длиной 800 км. Она функционировала периодически, три раза в год. Для обеспечения судоходства по верхней Волге был возведен Верхневолжский бейшлот - плотина ниже озера Волго. Посредством его паводковые воды собирались в обширное водохранилище, из которого вода спускалась летом

при необходимости проводки судов до Твери. В среднем по этой системе проходило в год 1900 судов, продолжительность плавания - 50-70 суток. В 1844 г. для Вышневолоцкой системы было сооружено крупнейшее в России Верхневолжское водохранилище площадью 150 кв.верст. Уже тогда были ясны недостатки равнинных водохранилищ - многочисленные мелководья, заболачивание прилежащих территорий, повышение заболеваемости населения.

Помимо Вышневолоцкой в 1810 г. была открыта Мариинская, а в 1811 г. - Тихвинская системы. Через Тихвинскую систему проходило в Петербург 7000 и обратно 4300 судов, но она была мелководна, что вызвало необходимость перевалки грузов на небольшие суда в г.Рыбинске, превращавшемся во время навигации в крупный порт. Эта система была дополнена Северо-Двинским каналом (1829 г.), обеспечивавшим сообщение Волги с Белым морем. Мариинская система реконструировалась в конце XIX века и в 1960-64 гг. В результате последней реконструкции был создан сквозной глубоководный путь, соединивший Волгу с Балтийским и Белым морями, позволявший проводить суда водоизмещением до 5 тыс.т; продолжительность прохождения системы снизилась с 10-15 до 2,5-3 суток.

**Таблица 2.** Изменение лесистости по Волжскому региону за последние 300 лет по 24 основным территориям Волжского бассейна, представляющим 90% его площади [1]

Регионы Волжского бассейна	Лесистость, %						
	1696	1763	1868	1887	1914	1970	1988
Тверская область	73,0	57,7	34,6	35,0	24,2	37,9	50,0
Ярославская область	52,3	49,8	35,9	37,2	28,2	37,3	44,8
Костромская область	85,1	76,5	71,4	64,7	65,7	70,4	73,7
Ивановская область	66,4	60,8	57,0	48,8	44,8	40,5	43,9
Владимирская область	49,7	48,6	46,8	37,2	26,4	48,1	51,6
Московская область	48,3	45,2	36,5	36,3	25,2	40,7	41,7
Нижегородская область	63,2	58,9	53,0	43,6	43,6	46,1	46,2
Рязанская область	46,4	37,3	21,0	18,9	18,6	25,3	26,0
Тульская область	24,2	18,2	8,6	9,4	7,8	12,4	12,7
Калужская область	50,9	45,2	26,6	30,7	24,8	43,3	44,6
Мордовия	49,2	42,6	34,9	26,2	23,4	27,2	25,5
Пензенская область	41,5	33,7	26,1	18,1	15,1	21,5	20,5
Чувашия	53,3	47,0	37,7	30,2	27,7	31,2	29,6
Марий Эл	72,3	64,4	49,0	38,6	32,4	57,6	54,4
Кировская область	89,1	83,2	72,5	58,2	46,5	58,7	61,9
Татарстан	71,4	62,2	47,8	38,0	32,3	16,7	16,3
Удмуртия	87,3	80,4	68,3	52,2	40,2	45,7	45,9
Ульяновская область	36,9	35,1	33,0	26,4	25,0	25,8	26,2
Самарская область	33,6	29,0	25,3	20,5	17,8	12,4	12,5
Башкортостан	78,2	64,6	52,5	41,8	35,4	39,0	39,0
Саратовская область	12,7	11,4	10,9	10,5	12,1	5,1	5,2
Пермская область	73,7	70,1	74,4	57,2	59,5	63,3	70,0
Волгоградская область	8,7	7,8	6,9	6,7	7,3	3,4	3,6
Астраханская область	2,5	2,0	0,6	0,4	0,9	2,4	2,2

*Примечание:* Использованы данные М.А.Цветкова [7] (1696 - 1914 гг.), «Атласа лесов СССР» [8] (1970 г.) и данные сборника «Народное хозяйство РСФСР...» [9] (1988 г.). Вся информация приведена в пересчете на современные территориально-административные единицы; выделены годы с минимальной лесистостью.

Воплощение идеи водного пути из Черного моря в Каспийское так же связано с Петром I. Первоначально был выбран вариант соединения верховьев рек через Иван-озеро, из которого берут начало Дон и Упа (приток Оки), для чего требовалось построить канал протяженностью 225 км с 33 шлюзами. Канал строился в течение 1700-1720 гг., но от продолжения строительства пришлось отказаться - России не удалось закрепить за собой устье Дона, без чего невозможен был выход к Черному морю. К этому варианту Волго-Донского канала вернулись в начале XIX века, но строительство было вновь не завершено - слишком длителен и сложен был путь между Каспийским и Черным морями, значительная часть которого пролегла по

мелководным верховьям Дона и Оки.

Существовала другая, более привлекательная, возможность Каспийско-Черно-морского сообщения - через Волго-Донское междуречье, где притоки двух великих рек - Камышинка и Иловля почти сходились. Издавна здесь существовал волок, которым, в частности, пользовался еще князь Игорь, возвращаясь из похода в Грецию. Неудачная попытка сооружения канала здесь была предпринята опять же при Петре I - в 1679 г. было начато строительство, но в 1698 г. проворовался и бежал за границу руководивший работами инженер Беркель. А затем началась Северная война со шведами и к идее Волго-Донского канала на основе проекта Н.Л.Пузыревского (1911 г.) вернулись перед

Великой отечественной войной. Но начатое строительство было прервано и возобновилось в 1949 г., одновременно с сооружением Цимлянского водохранилища на Дону. Волго-Донской канала им.Ленина был открыт 12 июля 1952 г.

Не была нова и идея строительства крупных гидроэлектростанций на Волге. К концу XIX века сложилась железнодорожная сеть России и Поволжье заняло центральное положение в этой транспортной сети. Здесь скрещивались меридианальные и широтные грузопотоки, что создавало благоприятные условия для развития промышленности. Кроме того, потребности водного транспорта диктовали необходимость развития судостроения. Созданные перед революцией предпосылки для индустриализации Поволжья были в полной мере реализованы в 30-40-х годах. Только в Нижегородской области за 1928-40 гг. построено 50 крупных заводов и фабрик: автозавод, завод фрезерных станков, Балахнинский бумажный комбинат, комплекс химических заводов в г.Дзержинске и пр. Объем валовой продукции увеличился в 1940 г. в 23 раза, а промышленности г.Горького - в 44 раза к объему 1913 г. В общей сложности до войны на Волге было построено 143 крупных предприятия, а во время войны сюда были эвакуированы еще более 200.

Естественно, что в условиях дефицита энергоносителей внимание привлекали гидроресурсы самой Волги. Г.М.Крижижановский еще в 1910 г. предложил строительство крупной гидроэлектростанции в районе Жигулей. Идея для своего времени очень смелая - в то время Россия располагала единичными гидроэлектростанциями общей мощностью 8 тыс.кВт.ч. Со своим предложением Г.М.Крижижановский выступил на Самарском отделении Русского технического общества. Судьбу проекта решил управляющий графа Орлова-Давыдова, заявивший, что граф не позволит возводить на своей земле такие сумасбродные постройки. Но уже в 1919 г. Г.М.Крижижановский командирован в район Самарской Луки для выбора места строительства.

План реконструкции и освоения ресур-

сов Волги известен как проект «Большая Волга». По тем временам он был достаточно хорошо проработан, ему были посвящены специальные сессии Академии наук СССР в 1929 г. (69 докладов) и 1934 г. (77 докладов; [10]). С 1931 г. развернулись проектно-исследовательские работы под руководством акад.-А.В.Чаплыгина. Проект задумывался как комплексный, призванный решить проблемы судоходства, снабжения Москвы водой, получения электроэнергии, удовлетворения нужд сельского и развитие рыбного хозяйств. Ретроспективно можно по-разному оценивать этот грандиозный проект, но очевидно, что его научное обоснование было неизмеримо выше, нежели не менее грандиозных проектов по переброске северных рек, строительства каналов Волго-Чограй и Волго-Дон-2 [11]. В постсталинское время, когда мировой науке стали известны опасности экологически необоснованных решений, в Советском Союзе бессмысленное «преобразование природы» приняло поистине грандиозный размах.

*Первый этап* «Большой Волги» осуществлялся, в основном, в 30-40-х годах и был направлен, преимущественно, на нужды водного транспорта и водоснабжения Москвы. Последняя проблема, как уже отмечалось, возникла в конце XVIII века, но только с сооружением канала им.Москвы проблема была решена на достаточно длительную перспективу.

*Второй этап* «Большой Волги» включал строительство каскада электростанций на Волге и Каме, сооружение Волго-Донского канала. На этом этапе все большее значение приобретает энергетическая составляющая возводимых объектов.

С завершением в 80-х годах этого этапа гидроэнергетические ресурсы Волги и Камы были практически исчерпаны и стали очевидны многочисленные негативные последствия зарегулирования Волги. Отчасти они были связаны с поспешностью стройки - под воду ушли крупные лесные массивы, безвозвратно были потеряны плодородные пойменные земли, надежды на повышение продуктивности сельского хозяйства не оправдались (в лучшем случае оно компенсир-

ровало потерю земель), значительные площади земель были подтоплены вследствие повышения уровня грунтовых вод, обширные площади орошаемых земель в Поволжье были выведены из пользования в результате засоления. Из-за быстрого индустриального роста прибрежных городов и отсутствия надлежащих очистных сооружений водохранилища стали превращаться в коллекторы коммунальных и промышленных стоков. Возможность разрушения плотин (как в результате их физического старения, так и «козырной карты» при межнациональных и мафиозных разборках) порождают угрозу катастрофических бедствий [12]. Таким образом, подтвердились «осторожно-отрицательные» прогнозы (завершался уже 1934 г.) крупнейших биологов того времени - Н.В.Вавилова, Б.А.Келлера, Д.Н.Прянишникова, А.А.Рихтера, Л.С.Берга и многих других [10, с.25-36].

Не произошло и повышения рыбопродуктивности Волги за счет водохранилищ (увеличение продукции частиковых видов не компенсирует потери ценных осетровых). На рыбопродуктивности реки неблагоприятно отразились сокращение нерестилищ, более позднее половодье с интенсивным нарастанием и быстрым спадом воды, изменение температурного режима водохранилищ, изменение распределения стока по сезонам и по рукавам дельты Волги. Исправить положение пытались сооружением вододеливателя (около г.Астрахани); с помощью шлюзов которого в половодье вода должна была направляться равномерно во все рукава дельты для обводнения нерестилищ. Однако, он оказался не эффективным в эксплуатации. Прогноз

ряда негативных экологических последствий заставил отказаться и от проекта дамбы протяженностью 430 км (от пункта 30 км южнее г.Каспийского до полуострова Бузачи с созданием Северокаспийского водохранилища), и от проекта Черноморо-Каспийского канала [13]. В.И.Лукьяненко [14] к этому списку добавляет еще острое и хроническое отравление рыб в результате загрязнения водных масс многочисленными поллютантами.

Продемонстрируем только один результат неправильного прогноза в рамках проекта «Большая Волга» (табл.3). Правда, эта таблица свидетельствует о том, что и резкого падения рыбопродуктивности не произошло (мы не рассматриваем структуру уловов) - падение уловов после 1991 г. требует специального анализа (оно скорее связано с перестройкой экономики). Следует так же учитывать, что загрязнение Волги по сравнению с уровнем 1938 г. многократно возросло. «Обвальное» падение уловов осетровых в последние годы (с 16,8 тыс.т в 1983 до 2,0 тыс. т в 1994 г.) связано с политоксикозом вследствие загрязнения - только в 1988 г. погибло 8,5 тыс. производителей (газета «Зеленый мир», 1995, № 3).

Наконец (*третий этап*), индустриализация региона, «привязка» к ГЭС крупных промышленных предприятий («дешевая», по социалистическим меркам, энергия и развитая строительная индустрия, справившаяся с возведением плотин), игнорирование экологических возможностей территорий к самоочищению, несовершенство технологических процессов и «опережающие» темпы строительства, когда очистные сооружения шли по остаточному принципу, - все это

**Таблица 3.** Прогнозные и реальные величины уловов в Волге до и после реконструкции, тыс.т (по [15, с.10])

До реконструкции			Прогноз		После реконструкции		
Год	Уловы	Автор	Уловы	Автор	Год	Уловы	Автор
1930	23,7	Берг, 1934	50,0	Тихий, 1934	-	12,6	Негановская, 1986
1934	19,3	Тихий, 1934			1991	13,7	Газ. "Зеленый мир", 1995, № 33
1938	12,2	Тихий, 1940			1994	6,6	- " -

привело к резкому росту загрязнения территории Волжского бассейна и самой Волги, превратившейся в каскад водохранилищ. По-видимому, это стало «последней каплей» обострения экологической ситуации в регионе.

## **2. Экспертная информационная система REGION-VOLGABAS как инструмент анализа пространственно распределенной информации**

Созданная в ИЭВБ РАН база пространственно-распределенных данных по территории Волжского бассейна и экспертно-информационная система (ЭИС) REGION-VOLGABAS неоднократно служили предметом рассмотрения [1,16-18].

Эколого-экономическая информация по Волжскому бассейну собиралась в виде различного рода карт распределения тех или иных параметров (рабочие масштабы - 1:2.500.000 и 1:4.000.000). Масштаб ЭВМ-карт, примерно, равен 1:10.000.000. Вся территория Волжского бассейна была разделена на 210 квадратов, каждый площадью около 6,5 тыс.кв.км (примерно, 80x80 км). Всего ЭИС REGION-VOLGABAS содержит 509 параметров-карт, из них 85 - обобщенных показателей. Для математической обработки данных, хранящихся в ЭИС REGION-VOLGABAS, разработано специальное программное обеспечение, составляющее единую инструментальную среду пользователя. Кроме общепринятых методов многомерного статистического анализа (регрессионный и факторный анализы, различные алгоритмы обработки временных рядов, кластерный анализ и т.д.), использованы алгоритмы построения прогнозирующих моделей по методу самоорганизации (метод группового учета аргументов, эволюционное моделирование; [19]). Разработана эвристическая процедура «модель-ного штурма» [20], которая реализует синтез модели-гибрида из частных моделей-предикторов (прогноз с помощью одного из алгоритмов или по интуиции) и апостериорной информации о структуре и динамике анализируемой эколого-экономической системы. При построении коллективного прогноза ищется экстремум показателя

качества прогнозирования не только по параметрам отдельного прогноза, и не только путем выбора лучшего среди заданного списка отдельных моделей-претендентов, но и по возможным суперпозициям частных прогнозов [21].

Пространственно-распределенная информация в ЭИС REGION-VOLGABAS позволила провести эколого-экономическое районирование территории Волжского бассейна [1], оценить структуру и динамику природоохранных затрат [22], дать предложения по организации экологического мониторинга и управлению рациональным природопользованием в Волжском бассейне [1]. Эти предложения были учтены при подготовке Федеральной целевой программы «Оздоровление экологической обстановки на реке Волге и ее притоках, восстановление и предотвращение деградации природных комплексов Волжского бассейна (“Возрождение Волги”))», в разработке которой сотрудники ИЭВБ РАН принимали самое активное участие.

## **3. Направления социально-экологической реабилитации территории Волжского бассейна**

До сих пор высказываются крайние оценки и рекомендации по восстановлению экологической обстановки в Волжском бассейне (вплоть до предложений о спуске водохранилищ). Сегодня практически невозможно смоделировать развитие региона при иных условиях хозяйствования, но некоторые принципы можно сформулировать.

*Во-первых*, маловероятно, чтобы Россия пошла по пути консервации природы, как Швейцария, где эстетическая ценность естественных ландшафтов стала основным источником национального богатства. В России в начале века только нарождался агрессивный капитализм - уже в это время передовые ученые забили тревогу о губительных его последствиях для природной среды. Большинство экологов забывают, что нынешнее благополучие развитых стран достигнуто практически полным разрушением естественной среды. Если в отношении реабилитации ряда водоемов достигнуты успехи, то для этого потребовались колоссальные

средства и перестройка экономики. Как бы сейчас ни идеализировали капитализм, экологическая ситуация в Поволжье могла быть еще более сложной, нежели оставшаяся от социалистического прошлого.

**Во-вторых**, индустриализация Поволжья диктовалась его географическим положением - практически невероятно, чтобы здесь сохранилась сельскохозяйственная ориентация экономики. Уже в начале века Нижний Новгород, Казань, Самара, Саратов и, после строительства железной дороги на Калач, Царицын (Волгоград) начали формироваться как крупные индустриальные центры. Возможно, темпы индустриализации Поволжья в 40-50-х годах были бы не столь велики, если бы не перемещение в Поволжье заводов с запада во время войны и открытие крупнейших нефте-газовых месторождений. Последнее предопределило развитие здесь нефтеперерабатывающей и химической промышленности. Эти экономические факторы действовали безотносительно к укладу народного хозяйства.

Мы не располагаем данными об экологическом состоянии Поволжья в первые послевоенные годы. Но можно полагать, что ситуация с энергетикой и водоснабжением была весьма напряженная и стояла задача ликвидировать накопившуюся «задолженность» или свернуть созданный во время войны индустриальный потенциал края. В сложившихся условиях зарегулирование Волги, по-видимому, было единственным реальным выходом - в противном случае экологический кризис здесь разразился бы значительно раньше и имел бы более серьезные последствия.

Иное дело - дальнейшее наращивание промышленного потенциала в регионе уже после зарегулирования Волги. Вызывает большие сомнения необходимость строительства, например, в г.Тольятти комплекса нефте-химических заводов, автомобильного гиганта ВАЗа в 60-70-х годах. В это время уже можно было просчитать обострение экологической ситуации и откорректировать развитие промышленности в соответствии с экологической емкостью территории. Но дело тут не только в недомыслии. Не следует за-

бывать, что развитие сложных, самоограничивающихся систем [21] подчиняется своим законам, которые только начинают постигаться. Это лишний раз подтверждает, что никакая гармония между обществом и природой не возникает сама собой - она если и может быть достигнута, то только в результате творческой деятельности человека.

**В третьих**, анализ становления и развития Поволжья осложняется тем, что многие экологические последствия не связаны непосредственно с зарегулированием Волги. Максимальный ущерб от строительства водохранилищ обычно связывается с потерей земель и, как следствие, недостаточным производством продовольствия. Потери земли, конечно же, невосполнимы. Но не только они лежат в основе экологического кризиса. В частности, в конце 40-х годов был принят не менее грандиозный, нежели зарегулирование Волги, план создания лесозащитных полос, предусматривавший лесопосадки на 6 млн.га с защитой 120 млн.га пашни и 120 тыс.га лесополос вдоль берегов степных рек и на водоразделах [23]. Этот план, основанный еще на исследованиях В.В.Докучаева, был направлен на улучшение агроклиматических условий степных и лесостепных регионов и сельскохозяйственного производства. Но выполнение его было свернуто в 1953 г., а часть лесополос выкорчевана в последующие годы с целью дать простор тяжелой сельскохозяйственной технике, сыгравшей немалую роль в деградации земель.

Серьезный ущерб агропромышленному комплексу был нанесен освоением целинных и залежных земель - по Союзу было выведено из пользования свыше 5 млн. га земель [24]. По данным Госкомзема в 1991-95 гг. в России потеряно 27 млн.га сельскохозяйственных угодий (газета «Зеленый мир», 1996, № 21, с.9). При сооружении водохранилищ затоплено «всего лишь» 2 млн га., т.е. 40% сегодняшних ежегодных потерь. Причем только в Калмыкии за счет опустынивания ежегодно теряется 50 тыс.га. Впечатляющие цифры прошлых потерь блекнут на нынешнем фоне...

Так же не связано непосредственно с зарегулированием Волги и засоление поли-

вных земель, за счет которых и планировалась компенсация продуктивности потерянных в результате затопления земель. Трудности в производстве продовольствия в современной России связаны не с нехваткой земли - на душу населения площадь угодий у нас выше, чем в США и Канаде, снабжающих нас зерном и мясом. Процессы деградации среднерусской черноземной области были уже очевидны задолго до революции [25] и с тех пор ухудшение идет прогрессирующими темпами [5, с.73-81].

Таким образом, напряженная экологическая ситуация в регионе возникла в конце XIX - начале XX веков и связана она с прогрессирующим сведением лесов, уменьшением гидрологической сети и водности малых рек, ухудшением условий сельскохозяйственного производства, а также «демографическим взрывом» после отмены крепостного права (результатом был голод 1891 г., после чего началось организованное переселение крестьян на восток). Позднее, в какой-то мере, эти процессы были «сглажены» относительно небольшим приростом населения вследствие потерь в результате голода в 20-х годах, войн, отсрочкой индустриализации в послереволюционный период и менее хищническим, по сравнению с нарождавшимся в России капитализмом, использованием природных ресурсов в первые десятилетия Советской власти. В 50-70-х годах эти факторы прекращают действовать, происходит усиленная индустриализация и урбанизация региона и рост населения. Изменяется и характер антропогенного воздействия - на смену экстенсивной деградации ландшафтов приходит преимущественно локальное химическое загрязнение техногенного характера.

Этот естественно-исторический процесс становления территории (*сведение лесов - деградация ландшафтов - локальное загрязнение*) должен учитываться при составлении планов реабилитации Волжского бассейна, основой которых должен стать процесс «обратной раскрутки» (*ликвидация последствий и очистка от загрязнения - восстановление ландшафтов - увеличивающееся воспроизводство лесных ресурсов*). Так, ситуацию с загрязнением удалось не-

сколько стабилизировать интенсивным строительством очистительных сооружений (на основе положительно оцениваемого многими специалистами Постановления ЦК КПСС и СМ СССР от 13.03.1972 г. «О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов рек Волги и Урала неочищенными сточными водами»). В 70-х годах их было построено более 300. Однако, ни число, ни мощность их не соответствовали продолжающим расти объемам сброса загрязненных вод. Да и сама идеология - «чистить от отходов» - не экологична. Правильнее - не допускать этих отходов путем перехода на ресурсосберегающие и экологически чистые технологии, создания цепочки безотходных производств.

### Заключение

Вышеизложенное позволяет считать, что разработанная в ИЭВБ РАН экологическая информационная система для анализа пространственно-распределенных эколого-экономических данных REGION-VOLGABAS (как и системы REGION-SAMARA, REGION-TOGLIATTI) способна на новом уровне решать задачи комплексного анализа состояния экосистем региона, оценивать характер антропогенной нагрузки, с помощью модельных «сценариев» осуществлять прогноз развития экологической обстановки в регионе и на этой основе давать рекомендации по достижению в регионе экологической безопасности, устойчивого эколого-экономического развития и направленной социально-экологической реабилитации территорий (см., например, [25]).

Стратегические направления такой реабилитации территории бассейна достаточно ясны и частично хорошо проработаны (ФЦП «Возрождение Волги»). Прежде всего - это сокращение выбросов, путем увеличения мощности и совершенства технологии очистных сооружений, а также реконструкции предприятий. Чисто инженерная, если не сказать «сантехническая проблема».

Сложнее обстоит дело с водохранилищами. Возможность спуска решается однозначно отрицательно (иначе мы получим аналог Арала, что приведет к возникновению зоны экологического бедствия, охватываю-



щего практически всю восточную часть Европейской территории России). Необходимо отказаться от приоритета энергетического использования каскада водохранилищ, тем более ценность их в этом отношении невелика (1 м<sup>2</sup> затопленных территорий «производит» 2,5 кВт.ч энергии; см. табл.1). Предпочтение следует отдавать водохранилищам как источникам водоснабжения и их рыбохозяйственному использованию. Соответствующим образом надо пересмотреть сезонные изменения их гидрологического режима с учетом интересов рыбного хозяйства (возможно, придется несколько снизить уровень верхнего бьефа, имея в виду частичное осушение мелководий с последующем облесением и созданием нерестилищ, но рациональность этого пути следует изучить дополнительно).

Реконструкция наземных ландшафтов может основываться на принципах, предложенных еще В.В.Докучаевым и детализированных применительно к современным условиям (например, в проекте «Зеленая стена России» [24]). Сущность их заключается в консервации сохранившихся естественных ландшафтов, облесении водоемов, прежде всего малых рек, деградированных сельскохозяйственных угодий. Сокращение последних может быть компенсировано интенсивными мерами по улучшению угодий, находящихся в удовлетворительном состоянии, и повышению урожайности сельскохозяйственных культур до «мировых стандартов» (ландшафтно-географическое обеспечение этого можно найти в работах В.И. Булатова [26] и А.В.Елизарова [27]).

Несчастье в том, что все эти направления реабилитации давно известны и, по крайней мере, часть из них вводилась неоднократно в законодательном порядке, но так и не была реализована. Как не вспомнить здесь Эмиля Кроткого: “Резолюция часто подобна покойнику: ее выносят и забывают”! Кроме того, в условиях кризиса ожидать сколь-либо серьезные инвестиции в производственную сферу не приходится - бюджетное финансирование природоохранных мероприятий практически прекращено. Отсюда следует достаточно тривиальный вы-

**вод: возрождение Волжского бассейна возможно только с возрождением России, подъемом ее экономики.**

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П. Волжский бассейн: экологическая ситуация и пути рационального природопользования. - Тольятти: ИЭВБ РАН, 1996. - 249 с.
2. Большая Волга: проблемы и перспективы / Под ред.В.П.Можина. - М.; Ульяновск: КЕПС РАН, 1993. - 255 с.
3. «Возрождение Волги» - шаг к спасению России. / Под ред.И.К.Комарова. - М.; Нижний Новгород: «Экология», 1996. - 464 с.
4. Водоохранилища и их воздействия на окружающую среду / Отв.ред. Г.В.Воропаев, А.Б.Авакян. - М.: Наука, 1986. - 367 с.
5. Люри Д.И. Развитие ресурсопользования и экологические кризисы или зачем нам нужны экологические кризисы?. - М.: ИГ РАН, 1997. - 174 с.
6. Архипенко В. Красавица народная. - М.: Госполитиздат, 1959. - 148 с.
7. Цветков М.А. Изменение лесистости Европейской России с конца XVII столетия по 1914 год. - М.: Изд-во АН СССР, 1957. - 110 с.
8. Атлас лесов СССР / Гл.ред. А.Ф.Кручинин. - М.: Гл.упр.геодезии и картографии при СМ СССР, 1973. - 222 с.
9. Народное хозяйство РСФСР в 1989 г.: Стат.ежегодник. - М.: Республ. информационно-издательский центр Госкомстата РСФСР, 1990. - 692 с.
10. Резолюции ноябрьской сессии, посвященной проблеме Волго-Каспия. - Л.: АН СССР, 1934. - 49 с.
11. Залыгин С.П. Поворот. - М.: Мысль, 1987. - 77 с.
12. Ивлентиев В.С. Математическое моделирование гидродинамики Волжского каскада гидросооружений (в пределах Самарской области) // 10 лет Государственному комитету по охране окружающей среды Самарской области: Итоги научных исследований, природоохранные технологии. Экологическая безопасность и устойчивое развитие Самарской области.

- Выпуск 6. - Самара: Гос. комитет по охр. окруж. среды Самарской области. 1998. С. 73-75.
13. Воронаев Г.В., Косарев А.Н. О современных проблемах Каспийского моря // Природа. 1981. № 1. С. 61-73.
  14. Лукьяненко В.И. Экология водоемов. Охрана и рациональное использование рыбных запасов бассейна Волги. Концепции, цели, задачи. - Н.Новгород: Изд-во Нижегород.ун-та, 1992. - 32 с.
  15. Конобеева В.К. Критические ситуации в сукцессионных процессах в водных экосистемах: Автореф... докт.биол.наук. - М.: 1996. - В надзаг. Моск.ун-т. - 36 с.
  16. База эколого-экономических данных крупного региона (методическое пособие). - Тольятти: АН СССР, 1991. - 54 с.
  17. Rozenberg G.S., Shitikov V.K. Expert system «REGION» as instrument of simulation of a large-scale ecosystems and reservoirs // Сб.: Экологические проблемы бассейнов крупных рек (тезисы докладов международной конференции). - Тольятти: ИЭВБ РАН. 1993. С. 264.
  18. Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Шитиков В.К. К созданию пространственно-распределенной базы эколого-экономических данных бассейна крупной реки (на примере Волжского бассейна) // Вопросы экологии и охраны природы в лесостепной и степной зонах. Межведомственный сборник научных трудов. - Самара: Изд-во «Самарский университет». 1995. С. 8-15.
  19. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. - Киев: Наук. думка, 1982. - 296 с.
  20. Брусиловский П.М., Розенберг Г.С. Модельный штурм при исследовании экологических систем // Журн.общ.биол. 1983. Т. 44. № 2, С. 254-262.
  21. Розенберг Г.С., Шитиков В.К., Брусиловский П.М. Экологическое прогнозирование (функциональные предикторы временных рядов). - Тольятти: ИЭВБ РАН, 1994. - 228с.
  22. Розенберг Г.С. Экологическая экономика и экономическая экология: состояние и перспективы (с примерами по экологии Волжского бассейна) // Экология. 1994. № 5. С. 3-13.
  23. Векшегонов В. Сталинский план преобразования природы претворяется в жизнь. - М.: Политиздат, 1952. - 72 с.
  24. Пономаренко С.В., Пономаренко Е.В., Офман Г.Ю., Хавкин В.П. Проект «Зеленая стена России». - М.: Социально-экологический союз, 1994. - 24 с.
  25. Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Крылов Ю.М. и др. Устойчивое развитие: мифы и реальность. - Тольятти, ИЭВБ РАН, 1998. - 191 с.
  26. Булатов В.И. О ландшафтно-географическом обеспечении аграрного природопользования // География и прир. ресурсы. 1983. № 3. С. 35-39.
  27. Елизаров А.В. Экологический каркас - стратегия степного природопользования XXI века // Степной бюлл. 1998. № 1, С. 6-11; 1998. № 2. С. 6-12; 1999. № 3-4. С. 6-12.

## NATURAL-HISTORICAL ASPECTS OF VOLGA RIVER BASIN TERRITORY FORMATION

© 1999 G.P.Krasnoshchokov, G.S.Rozenberg

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

The ways of Volga river basin territory formation are discussed in this paper from the viewpoint of stable development achieving of systems, which have different scales. The recommendations for strategic directions of ecology-economic rehabilitation of the territory are given.

УДК 577.4

## ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КАК ОСНОВА ТИПОЛОГИИ МАЛЫХ РЕК САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

© 1999 Т.Д. Зинченко, В.К. Шитиков

Институт экологии Волжского бассейн РАН, г. Тольятти

Представлены обобщенные результаты гидробиологического мониторинга малых рек Самарской области. На примере р. Чапаевка показаны основные процедуры построения математических моделей для оценки пространственно-временной динамики донных биоценозов в условиях антропогенного воздействия. Выполнена классификация малых рек с использованием гидробиологических и гидрохимических факторов.

Хозяйственная деятельность человека оказывает постоянно возрастающее негативное воздействие на биопродукционные процессы в природных водоемах, что вызывает необходимость оперативного прогнозирования экокризисных ситуаций и раннего предупреждения об экологической опасности. Действующая методика мониторинга, выполняемого как научными учреждениями, так и федеральными контролирующими органами, малоэффективна не только по причине низкой технической оснащенности, но и в значительной мере в силу игнорирования современных методов комплексной математической обработки результатов многомерных наблюдений. Например, остается невостребованным и с каждым годом теряется богатейший материал по гидрохимии природных водных систем Самарской области, накопленный в течение десятилетий службами Госкомгидромета. Очевидно, что кроме традиционных малоосмысленных сводок о доле показателей, превышающих ПДК, эти данные могли бы с успехом использоваться для построения как локальных моделей сезонной и многолетней динамики водоемов, так и обобщенных моделей рационального эколого-экономического развития территориальных комплексов. Это было бы возможно при условии включения всей располагаемой совокупности данных в состав региональной автоматизированной геоинформационной системы (ГИС).

Согласно терминологии, принятой в теории информатики, база данных - это «идентифицируемая совокупность взаимо-

связанных данных, предназначенных для многоцелевого использования» [1]. Применительно к региональным ГИС экологического профиля под базой данных будем понимать реализованную с помощью технических средств динамическую информационную модель территории, отражающую пространственно-временную структуру, состояние и взаимосвязи между отдельными элементами моделируемого биогеоценоза. Разрабатываемый в Институте экологии Волжского бассейна РАН под руководством проф. Г.С. Розенберга пространственно-распределенный банк эколого-экономических данных [2-4] включает в себя следующую иерархию баз:

- комплексная база данных, охватывающая территорию 24 областей и автономных республик Поволжья;
- локальные базы по территориям Самарской, Ульяновской, Саратовской и других областей;
- частные базы данных, описывающие либо отдельные регионы (например, г. Тольятти и прилегающую территорию Ставропольского района), либо специализированные ресурсно-тематические блоки (например, динамику гидрологических характеристик Куйбышевского водохранилища).

Естественно, при создании таких ансамблей баз данных ключевое место уделяется процессам агрегирования информации в ходе ее прохождения от максимально детализованных баз нижнего уровня к комплексным базам высшего уровня.

Одной из типичных баз нижнего уровня является специализированная база гидро-

биологических данных по малым рекам Самарской области. Разработанная нами информационная система предназначена для ведения и оперативной выборки гидробиологических, гидрохимических и гидрологических данных, необходимых для комплексного анализа структурных деформаций, проходящих в изучаемой экосистеме под влиянием антропогенных воздействий, и оценки роли гидробионтов в самоочистительных процессах водотоков. База данных представляет собой совокупность реляционных таблиц в формате Access 97, связанных между собой по ключу, определяющему название водоема, координаты и характеристики точки отбора проб (географический аспект), а также дату проведения экспедиции (временной аспект). Содержательная часть базы включает набор таблиц гидрологических, гидрохимических и гидробиологических показателей, типичный состав которых представлен в виде на рис. 1. В качестве примера гидробиологического блока данных приведен видовой состав, численность и биомасса зообентоса по результатам отбора проб на р. Ча-

паевка. Аналогичной является структура данных о представленности других биотических сообществ: фитопланктона, бактерий, зоопланктона, рыб и т.д.

Для работы с базой данных разработано программное обеспечение, реализующее традиционные в таких случаях функции:

- загрузка данных в базу, их верификация и корректировка;
- многоаспектный поиск и формирование в режиме диалога подмножества показателей по имеющимся рубрикационным полям;
- получение расчетных таблиц оценки структурных характеристик и составляющих энергетического баланса для изучаемых групп гидробионтов;
- графическое отображение на экране дисплея диаграммы пространственного распределения каждого показателя базы по створам русла водотока;
- получение новых (интегральных) показателей путем линейной комбинации подмножества других показателей, имеющихся в базе, либо по иным расчетным формулам;
- математическая обработка показателей

р. Чапаевка / Ст. 03п - 0.5км выше с. Летниково	Дата : 4.07.90
---	----------------

----- Таблица гидрологических измерений -----			
Т поверх.	28.0 <sup>0</sup> С	Т дна реки	28.0 <sup>0</sup> С
Скор. течения	0.2 м/сек	Ширина реки	12 м
Хлорофилл "а"	-	Глубина реки	0.2 м
		Прозрачность	20 см
		Тип грунта:	раст.остатки+почва+ил

Таблица гидробиологических данных			Гидрохимические данные	
Наименование видов	Численность	Биомасса		
1. *** Nematoda ***	2280	0.09	рН поверхности	9.20
2. Limnodrilus hoffmeisteri	7680	7.74	рН дна	9.20
3. L. udekemianus	320	0.83	ЕН поверхности	+135
4. Limnodrilus sp.	9280	0.99	ЕН дна	+135
5. Chironomus plumosus	80	0.69	Кислород поверх	12.5
6. C. sylvestris	80	0.03	Кислород дна	12.5
7. Cryptochironomus gr. defectus	40	0.02	БПК <sub>5</sub>	-
8. Corynoneura lobata	40	0.02	Азот общий	1.21
9. Tanytarsus sp.	40	0.01	Р min	0.04
10. Paratanytarsus confusus	40	0.01	Р общий	0.20
11. Culicoides sp.	640	1.20	Фенол	0.00
12. Cloeon dipterum	200	0.41	Нефтепродукты	0.02
13. Einfeldia carbonaria	40	0.03	Бихромат. окисл.	43.5
14. *** Diptera ***	120	0.14		

Рис. 1. Пример представления информации по фрагменту базы данных

базы с целью экологического районирования водохозяйственной системы, выявления участков русла, подверженных наибольшему антропогенному воздействию, оценки биотического и гидрохимического состояния в природных водоемах.

Пакет процедур математического моделирования реализует следующие алгоритмы:

- регрессионный анализ - линейная и нелинейная модели [5];
- построение моделей динамики с использованием классических методов анализа временных рядов [6] и методов самоорганизации МГУА [7];
- кластерный анализ - получение иерархической дендрограммы [8];
- пространственное районирование территории с использованием метода главных компонент [9].

Рассмотрим результаты математической обработки данных на примере зообентоса р. Чапаевка, носящие, в некотором смысле, иллюстративно-методический характер, поскольку подробный анализ экологической обстановки в регионе представлен нами ранее [10-11].

Видовой состав биоценозов, закономерности формирования речных сообществ, продуктивность гидробионтов и их способность к самоочищению водоемов находятся в постоянной динамике под воздействием большого количества экологических факторов. Принято различать:

- временную изменчивость сообществ, когда набор видов и количество биологических особей в некоторой заданной точке пространства претерпевают ежедневные, сезонные и многолетние колебания под воздействием температурного режима, текущей гидродинамики водотока, сбросов токсикантов, солнечной активности и т.д.;
- пространственную (т.е. географическую) изменчивость, отражающую распределение числа особей в зависимости от поверхностных (или объемных) координат пространства в зафиксированный момент времени [12].

Оба варианта изменчивости, в общем случае, определяются одними и теми же группами факторов, хотя относительная их значимость может существенно меняться:

например, температурно-климатический фактор мало значим для пространственной изменчивости на небольших территориях, в то время как решающее значение здесь приобретает трудноформализуемый признак «комфортности» местообитания биоты [13].

С математической точки зрения р. Чапаевка представляет собой объект, нестационарный во времени и пространстве, что делает не вполне корректной попытку создать некоторый «обобщенный биологический портрет» водоема. Поскольку в настоящей работе основной акцент сделан на типологическом районировании исследуемой территории, первой задачей обработки данных является оценка как многолетней, так и сезонной динамики выбранных параметров, и отбор измерений, однородных по фактору времени на станциях отбора проб.

Другая важная задача состоит в формировании информативного пространства признаков, в котором будут реализованы процедуры математической классификации. Безусловно, наиболее адекватный способ описания видовой структуры - дать для каждой точки пространства список численности и биомассы встретившихся особей каждого вида, приходящихся на единицу объема или площади. Однако в этом случае над экспериментатором неизбежно повиснет «проклятие размерности»: громадные матрицы данных, на 90% заполненные нулями, практически не подвержены серьезной математической обработке. Поэтому желание представить большой набор численностей - видовую структуру - компактным образом постоянно владеет умами экологов («теория и есть компактная формулировка эмпирических сведений ... [14]»). Наиболее естественными из таких целостных характеристик являются количество видов в сообществе (S), общая численность (N) и биомасса (B) всех особей. Такой важный показатель видовой структуры, как «биологическое разнообразие», связывался нами с широко используемой на практике мерой энтропии - информационным индексом Шеннона [15-16], оценивающим однородность распределения:

$$H = - \sum_{i=1}^{s=1} \frac{N_i}{N} \log_2 \left( \frac{N_i}{N} \right) .$$

Наконец, весьма перспективным представляется широкое использование таких интегральных показателей биоэнергетического баланса, как траты на обмен, продукция, ассимиляция и рацион, выраженные в ккал на единицу объема или поверхности [11].

С целью определения влияния различных факторов на основные целостные характеристики гидробионтов был выполнен дисперсионный анализ, который позволил дать ответ на следующие вопросы:

- относятся ли измерения, проведенные в разных условиях, к одной генеральной совокупности, или эти группы измерений принципиально отличаются между собой;
- если различия между группами наблюдений существенны, имеется ли возможность агрегировать наблюдения некоторых групп;
- можно ли вычленить долю дисперсии, обусловленную влиянием фактора, на общем фоне случайных флуктуаций.

Для повышения репрезентативности выборок обработка проводилась по данным, полученным на 13 малых реках Самарской области с использованием наиболее информативной группы зообентоса - хирономид (*Chironomidae*), обладающей наилучшими биоиндикационными свойствами (см. табл. 1).

По результатам дисперсионного анализа были сделаны следующие выводы.

1. Сезонные изменения на протяжении вегетационного периода (май-сентябрь) мало сказываются на таких интегральных показателях, как численность и биомасса, и, с точки зрения статистики, фактор сезонности для них имеет недостоверную значимость. Этого нельзя сказать про видовое раз-

нообразии хирономид, связываемое с индексом Шеннона (H) и числом видов в сообществе (S), которые резко падают при переходе от июля к августу. Иными словами, в течение вегетационного периода биотическая составляющая факторов воздействия на гетеротопных животных, к которым относятся хирономиды, является главенствующей, что приводит к безусловному доминированию отдельных видов. Это подтверждается и статистическим анализом: критерий Фишера, равный отношению дисперсии индекса Шеннона, вызванной сезонными изменениями, к остаточной дисперсии, равен 7.38; доля общей дисперсии, объясняемая фактором сезонности, превышает 8%.

Однако, если использовать данные только первых трех месяцев вегетационного периода (май-июль), то очевидно, что они принадлежат к одной генеральной совокупности, поскольку оценки вероятности различий между ними значительно ниже уровня достоверности.

2. Вопреки распространенному мнению, многолетняя изменчивость данных, после исключения сезонного фактора, была признана недостоверной в соответствии с общепринятыми статистическими критериями.

3. Точка отбора пробы по поперечному профилю русла имеет существенное значение. Были зафиксированы статистически значимые отличия между пробами, взятыми в прибрежье и на русле. При этом отличий между наблюдениями, полученными у правого или левого берегов, обнаружено не было.

4. Наибольшее влияние на значения исследуемых выборочных показателей, как и следовало ожидать, оказывает географичес-

**Таблица 1.** Основные показатели видового обилия и разнообразия хирономид по результатам наблюдений в различные месяцы на малых реках Самарской области

Показатель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Общее
Количество измерений	48	113	119	27	40	347
Среднее число видов (S)	5.66	5.72	5.35	2.33	3	5.0
Средний индекс Шеннона (H)	1.55	1.38	1.53	0.68	0.88	1.34
Средняя численность (N)	2464	2504	1860	618	1506	2016
Средняя биомасса (B)	2.78	5.39	3.9	3.38	3.35	3.89

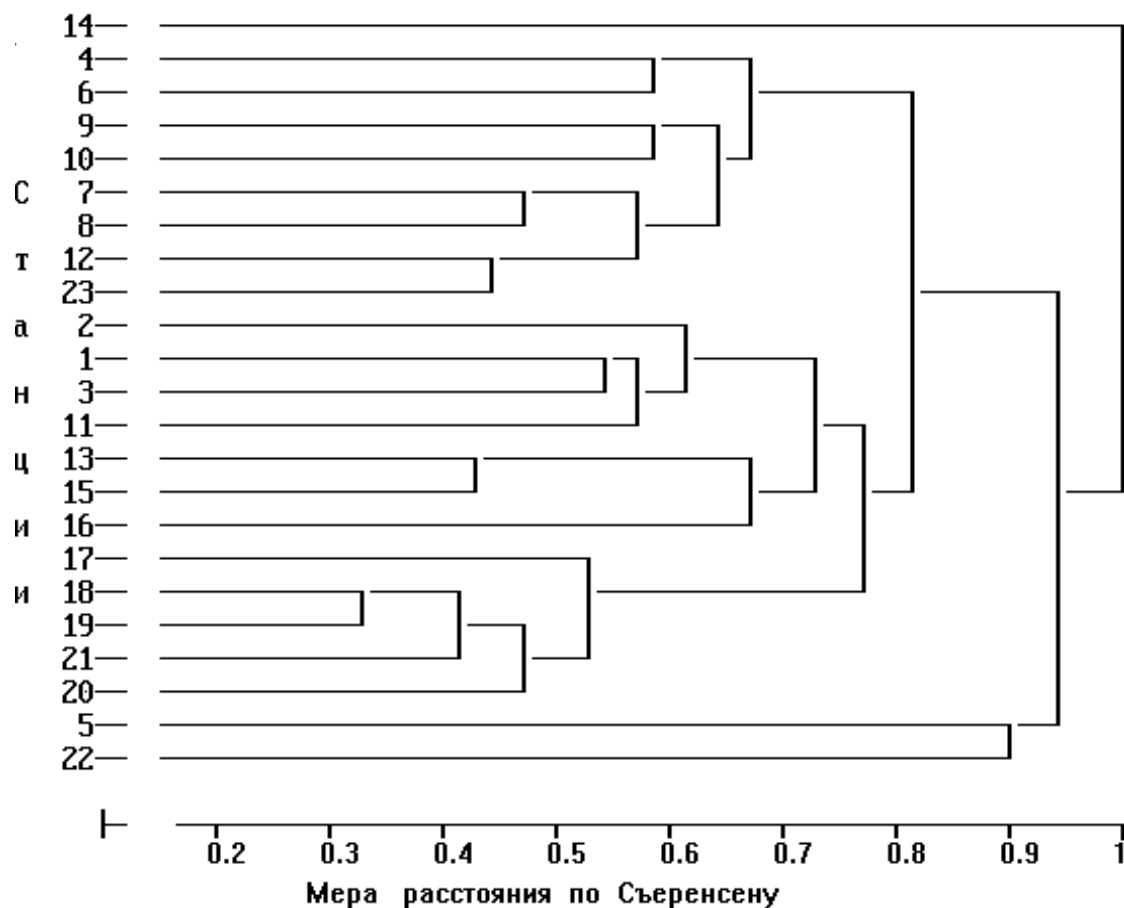


Рис. 2. Классификационная дендрограмма станций р. Чапаевка по видовому составу бентоса

кий фактор (точнее, водоем, из которого брались пробы). Доля общей дисперсии, объясняемой этим фактором, достигала 33%.

Перечисленные обстоятельства дали основание отобрать для дальнейшего математического анализа результаты обработки проб зообентоса для каждой из 23 станций в прибрежье р. Чапаевка, приуроченные к периоду наблюдений с 24 мая по 17 июля 1990 г.

Экологическое районирование исследованных участков бассейна реки проводили с использованием двух методов: метода иерархической кластеризации и метода главных компонент.

Иерархическая классификация осуществлялась в информативном пространстве, описывающем в альтернативной форме 87 зарегистрированных видов [10] (1 - наличие и 0 - отсутствие вида). На первом этапе для всех комбинаций пар станций рассчитывались матрицы расстояний между векторами в многомерном пространстве признаков на основе различных формул сходства, таких, как, например, коэффициент Сьеренсена [17]:

$$K = 2 \cdot N_{A+B} / (N_A + N_B),$$

где  $N_{A+B}$  - число общих признаков у сравниваемых объектов А и В;  $N_A$  и  $N_B$  - число признаков в каждом из объектов.

На втором этапе строилось дерево последовательного иерархического объединения станций, наиболее близких по своей видовой структуре (рис. 2).

При выборе, например, порога разбиения  $K=0.7$  все множество станций распадается на следующие кластеры:

- станции верхнего участка реки, с видами, характерными для мелководий (ст. 1-3, 11);
- станции среднего и нижнего течения реки, испытывающие подпор водами Саратовского водохранилища (4, 6-10, 12, 23);
- группы станций нижнего течения, находящихся в зоне сильного антропогенного загрязнения (13, 15, 16) и (17-21);
- участки с очень специфичным видовым составом (5, 14 и 22).

Метод иерархической классификации позволяет выделить взаимную упорядоченность объектов в пространстве признаков,

однако, в отличие от факторного анализа, не позволяет сделать содержательных объяснений специфических закономерностей формирования фаунистических сообществ.

Основная идея факторного анализа заключается в том, что все множество признаков, используемых для описания объектов, может быть представлено в виде линейной комбинации небольшого числа общих факторов (главных компонент), определяющих направления осей максимального варьирования. Эти оси выбираются так, чтобы дисперсия проекций объектов на них была максимальна, а сами они являлись бы отражением ведущих экологических факторов.

Используем для описания контрольных створов р. Чапаевка интегральные показатели, рассчитанные по сообществам зообенто-

са и представленные в табл. 2.

Выполненные расчеты по методу главных компонент показывают, что все приведенные показатели можно свести к 3 факторам, которые будут объяснять 95.4% общего статистического разброса, причем с каждой из главных компонент будут связаны факторные нагрузки, значения которых, превышающие 0.5, представлены в табл. 3.

Полученные факторы достаточно легко интерпретировать. Первый фактор тесно связан с энергетической интенсивностью продукционно-обменных процессов; второй - напрямую адресуется к видовому обилию и экологической однородности; третий - очень напоминает первый, однако энергетические аспекты трактуются здесь с точки зрения биомассы, а не численности. Свертка целого

**Таблица 2.** Значения биопродукционных характеристик зообентоса по станциям наблюдений р. Чапаевка (май-июнь 1990 г.)

Станция	Кол-во видов	Численность, экз./м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	Траты на обмен, кал/сут·м <sup>2</sup>	Продукция, кал/сут·м <sup>2</sup>	Ассимиляция, кал/сут·м <sup>2</sup>	Индекс Шеннона
1	13	50240	47.24	5.081	2.874	7.955	2.617
2	11	1840	1.30	0.085	0.040	0.126	2.684
3	13	14720	13.83	0.893	0.426	1.319	2.833
4	22	5480	20.41	1.056	0.426	1.483	3.681
5	10	2800	5.07	0.218	0.114	0.332	2.806
6	20	13600	9.09	0.652	0.285	0.937	3.124
7	15	2960	8.92	0.236	0.127	0.364	2.675
8	19	8320	518.93	7.488	1.676	9.164	2.630
9	16	5200	3.51	0.161	0.093	0.254	3.538
10	17	7504	14.21	0.391	0.352	0.744	2.533
11	13	10960	3.89	0.213	0.115	0.328	2.573
12	18	52640	190.79	7.696	3.580	11.276	2.758
13	6	12680	12.85	0.320	0.189	0.509	1.709
14	0	0	0	0	0	0	0
15	7	11240	18.30	0.624	0.344	0.969	2.165
16	9	3240	3.28	0.117	0.084	0.201	2.724
17	8	12120	4385.97	8.858	0.436	9.294	1.362
18	6	3520	6.67	0.428	0.183	0.611	1.906
19	5	1300	4.38	0.115	0.043	0.158	1.808
20	5	14680	12.11	0.721	0.308	1.029	1.609
21	6	6400	214.16	2.01	0.725	2.735	1.677
22	4	2800	2.32	0.067	0.047	0.114	1.148
23	14	13280	405.21	4.376	1.237	5.613	3.100



**Таблица 3.** Распределение факторных нагрузок главных компонент по списку исходных переменных

Исходные показатели	1 фактор	2 фактор	3 фактор
Число видов		0.94410	
Численность	0.94030		
Биомасса			-0.96697
Траты на обмен	0.67155		-0.71757
Продукция	0.97309		
Ассимиляция	0.78501		-0.58941
Индекс Шеннона		0.96033	

списка показателей к двум-трем факторам дает возможность графического отображения исследуемых станций в евклидовом пространстве (см. рис. 3). Можно оценить ст. 1, 8, 12, 23, как створы с большим видовым разнообразием и высокой интенсивностью обмена вещества и энергии. Напротив, ст. 14-22, расположенные ниже плотины, характеризуются ослаблением биопродукционных процессов, что может быть объяснено следствием антропогенного загрязнения.

Методика районирования водных экосистем с помощью главных компонент, рассмотренная на примере бассейна р. Чапаевка, может быть использована для типизации водо-

токов в общей системе малых рек Самарской области. Для построения факторной модели используем представленные в таблице 4 характеристики сообщества хирономид, важной биоиндикационной и доминирующей группы в бентосе рек. Река Чапаевка в данном случае рассматривается как два различных водоема: верхний участок и устье (ст. 1-13, 23) и нижний участок (ст. 14-22).

На рис. 4, полученном в результате преобразования всего комплекса измерений к двум главным факторам, наглядно показано, что в верховье р. Чапаевка тяготеет к относительно чистым и биопродуктивным рекам области, таким, как Сок, Б.Кинель, в то вре-

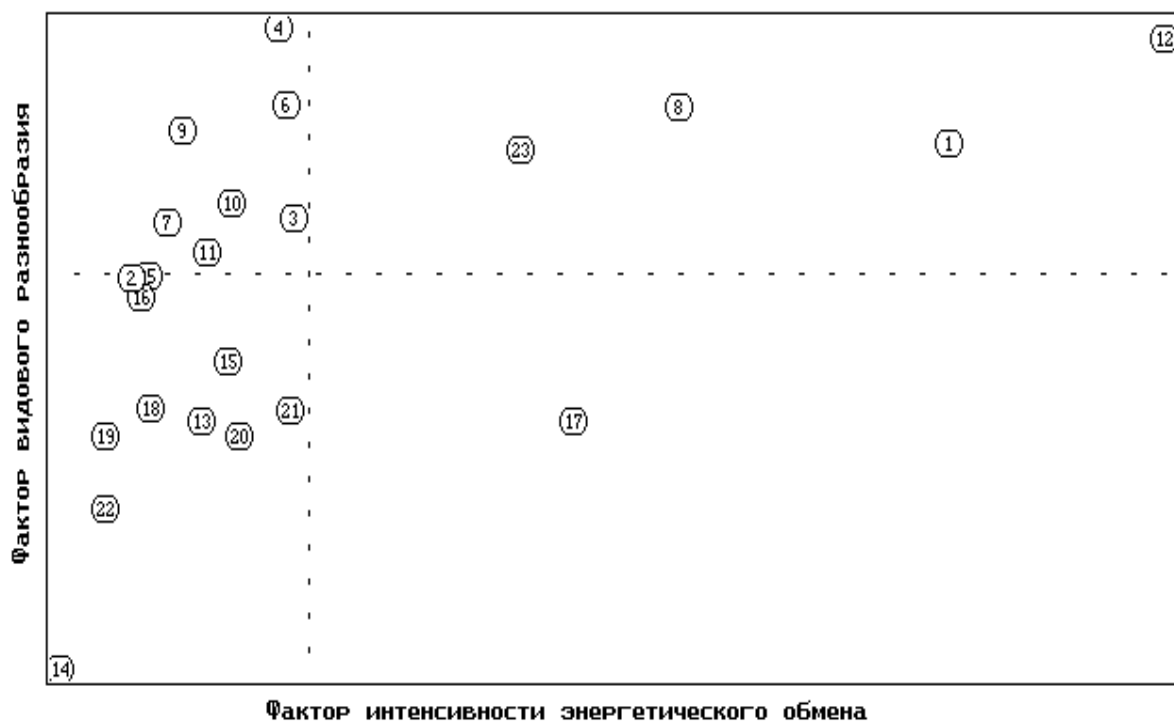
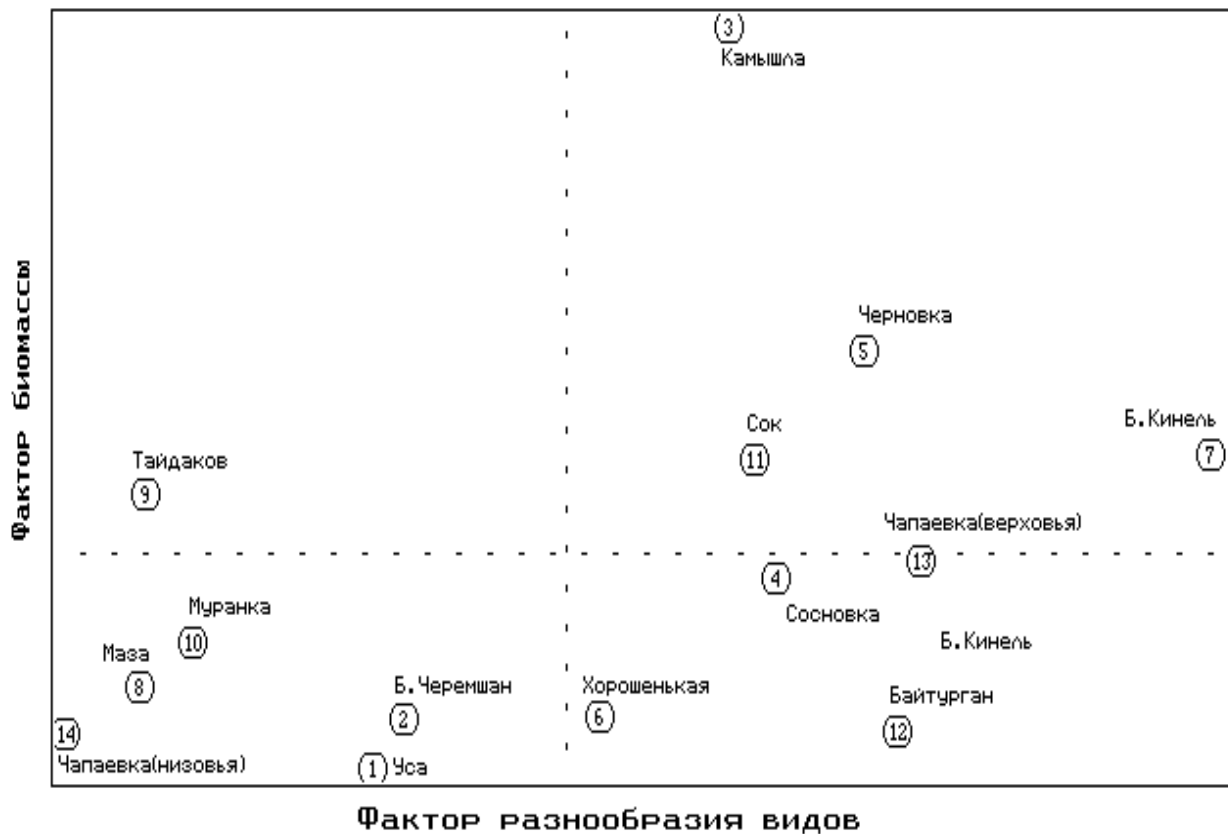


Рис. 3. Отображение контрольных створов р. Чапаевка в пространстве двух главных факторов по результатам отбора проб зообентоса (май-июнь 1990 г.)

**Таблица 4.** Основные показатели, характеризующие сообщество хирономид, по результатам наблюдений 1987-1995 гг. на малых реках Самарской области

Река	Средний показатель наличия хирономид в пробе			
	вид	Численность, экз./м <sup>2</sup>	биомасса, г/м <sup>2</sup>	индекс Н
Уса	3.87	495	0.875	1.500
Б.Черемшан	4.21	914	1.864	1.502
Камышла	7.50	8498	35.389	1.452
Сосновка	7.50	2691	3.809	1.822
Чернавка	7.80	8886	5.972	1.795
Хорошенькая	6.50	1472	1.014	1.592
Б.Кинель	11.32	3742	5.609	2.238
Маза	3.61	2911	1.518	0.850
Тайдаков	3.00	1216	8.280	0.992
Муранка	4.18	2302	3.061	0.893
Сок	6.53	3471	6.944	1.904
Байтуган	7.16	741	0.968	2.286
Чапаевка	6.08	1837	3.383	1.630
В том числе:				
ст. 1-13, 23	8.1	2562	4.25	2.101
ст. 14-22	2.8	659	1.97	0.867
В среднем	6.08	2540	4.594	1.599



*Рис. 4. Отображение малых рек Самарской области в пространстве двух главных факторов по результатам отбора проб хирономид (1987-1995 гг.)*

мя, как низовья отличаются сильным угнетением биомассы и видового разнообразия зообентоса, превзойдя в этом отношении такие грязные реки, как Уса, Черемшан, Маза, что не противоречит данным по оценке качества рек Самарской области [18].

Таким образом, выполненные исследования способствовали накоплению данных о закономерностях функционирования водных экосистем в условиях мощного антропогенного воздействия. На основании впервые полученной эколого-фаунистической характеристики хирономид из рек Самарской области и проведенного математического анализа в рамках гидробиологического мониторинга, современное состояние экосистем ряда малых рек (р.р. Чапаевка, участки рек Уса, Б.Черемшан, Маза и др.) характеризуется как крайне неблагоприятное.

Вместе с тем, наряду с детальным изучением функциональных особенностей гидробионтов в переработке и трансформации загрязняющих веществ, для управления процессами самоочищения важна количественная оценка протекания этих процессов на основных трофических уровнях. Отдельные звенья трофической цепи требуют дальнейших исследований и уточнений.

В частности, недостаточно проведена оценка современного состояния ихтиофауны рек, их рыбохозяйственной продуктивности и использования, степени загрязнения донных отложений и ряд других исследований. Все это замедляет более широкое применение результатов биоиндикационных работ для приведения мониторинговых исследований, а следовательно, и действенность мер в области охраны бассейна.

Несомненно, что восстановление благоприятной экологической обстановки на р. Чапаевка, равно как и на других реках Самарской области и Волжского бассейна, становится крайне необходимым. Требуется разработка продуманных и широкомасштабных подходов для решения поставленной задачи. Очевидно, что единственно правильный путь - разработка оригинальных подходов к осуществлению комплексной классификации водотоков, позволяющей, в дальнейшем, в системе мониторинга проводить исследова-

ния на модельных водотоках, характерных для экосистем разнотипных водных объектов.

Важной задачей является классификация водотоков по характеру и уровню антропогенного воздействия на водосборную площадь и сам водоток. В этой связи малые реки Самарской обл. могут стать эталонным объектом проведения детальных исследований для выработки конкретных рекомендаций по сбалансированному природопользованию на конкретной территории и получения обобщенных данных о состоянии экосистемы в условиях крайне высокого уровня антропогенной нагрузки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 14.413-80. Банки данных технологического назначения. Общие требования. - М., 1980. - 3 с.
2. База эколого-экономических данных крупного региона (Методическое пособие). - Тольятти: ИЭВБ РАН, 1991. - 62 с.
3. Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Шитиков В.К. К созданию пространственно распределенной базы эколого-экономических данных бассейна крупной реки (на примере Волжского бассейна) // Вопросы экологии и охраны природы в лесостепной и степной зонах. - Самара: Изд-во Самар. ун-та, 1995. - С. 8-15.
4. Rozenberg G.C. Expert systems "REGION" and "RESERVOIR" as instruments of simulation of diffuse pollution of large-scale ecosystems and reservoirs // Proceeding of the Second International IAWQ Specialized Conference on Diffuse Pollution. - Brno: Prague (Czech Repub.), 1995. - Part 1. - P. 72-77.
5. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. - М.: Статистика, 1973. - 392 с.
6. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. - М: Мир, 1976. - 523 с.
7. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. - Киев: Наук. думка, 1982. - 296 с.
8. Классификация и кластер / Под ред. Дж. Вэн Райзина. - М.: Мир, 1980. - 289 с.
9. Харман Г. Г. Современный факторный анализ. - М.: Статистика, 1972. - 320 с.

10. *Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Марченко Н.А.* Состав и распределение макрозообентоса. // В кн. Экологическое состояние бассейна р. Чапаевка в условиях антропогенного воздействия. Вып. 3. – Изд. 2. Тольятти, 1997. - С. 124-145.
11. *Марченко Н.А., Зинченко Т.Д., Шитиков В.К.* Значение зообентоса в самоочищении р. Чапаевки // В кн. Экологическое состояние бассейна р. Чапаевка в условиях антропогенного воздействия. Вып. 3. – Изд. 2. Тольятти, 1997. - С. 124-145.
12. *Менишуткин В.В.* Математическое моделирование популяций и сообществ водных животных. - Л.: Наука, 1971. - 196 с.
13. *Свирижев Ю.М., Логофет Д.О.* Устойчивость биологических сообществ. - М.: Наука, 1978. - 350 с.
14. *Налимов В.В.* Теория эксперимента. - М.: Наука, 1971. - 207 с.
15. *Boltzmann L.* Wissenschaftliche Abhandlungen, Abf. II. - Leipzig, 1909.
16. *Shannon C.E.* A mathematical theory of communication // Bell Systems Tech. J. - 1948. - V. 27. - P. 623-656.
17. *Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г.* Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. - М.: Наука, 1989. - 223 с.
18. *Зинченко Т.Д.* К характеристике малых рек // Экологическая ситуация в Самарской области: состояние и прогноз. - Тольятти, 1994. - С. 82-97.

## HYDRO-BIOLOGICAL MONITORING AS A BASIS OF TYPOLOGY OF SMALL RIVERS (SAMARA REGION)

© 1999 T.D. Zinchenko, V.K. Shitikov

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

Generalized results of bio-monitoring, hydro-biological and hydro-chemical monitoring of Samara region small rivers are presented in this paper. Main techniques of mathematical models creating for estimation of spatial-temporal dynamics of the river bottom biocenoses in conditions of anthropogenic influence are demonstrated on the example of Chapaevka River. Small rivers classification, which is based on hydro-biological and hydro-chemical factors, was done.

УДК 595.142.3

## ГЕНЕЗИС ФАУНЫ МАЛОЩЕТИНКОВЫХ ЧЕРВЕЙ СЕВЕРА ЕВРОПЫ

© 1999 В.И. Попченко

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Теоретически обоснованы особенности генезиса фауны олигохет на европейском Севере. Показано, что малощетинковые черви на этой территории сформировались в течение последних 13-15 тыс. лет. Решающую роль в заселении олигохет северной Европы сыграли реки Дон, Днепр, Дунай. Немаловажно и значение сибирских рек, по которым проникли северо-восточные элементы фауны. Основные же пути генезиса фауны олигохет - приледниковые водоемы после отступления ледников, а в послеледниковое время - деятельность человека.

Фауна малощетинковых червей европейского Севера сравнительно молодая, сформировалась в течение последних 13-15 тыс. лет. На ее современный облик особое влияние оказали условия обитания уже с верхнего палеозоя. К концу неогена, как отмечает Т.Э.Тимм [10], существовали практически все роды олигохет и большинство видов в современном представлении их систематики. Эволюции малощетинковых червей способствовали поднятие Альп и изменение климата. Складчатость Альпийской горной системы в сочетании с похолоданием климата особенно ускорили развитие сем. Naididae и Tubificidae. Способность многих видов (наидиды, Aulodrilus и др.) к бесполому размножению, сыграла немаловажную роль в распространении фауны, активно заселяя Европу с юга и востока. В третичный период, когда Европа, Азия и Северная Америка повторно соединились, Голарктику заселили «наиболее вагильные» виды: многие представители сем. Naididae, ряд видов из родов Aulodrilus, Limnodrilus, Liiodrilus templetoni, Tubifex tubifex, Lumbriculus variegatus и др. Материковый лед, разрушая водоемы, неоднократно уничтожал малощетинковых червей. Наиболее холодолюбивые виды, двигаясь впереди наступающего ледника, оказались далеко на юге Западной Европы. Олигохеты могли локально найти убежище только в средней и южной Европе. Поэтому многие виды на территории европейского Севера в настоящее время отсутствуют вовсе. Большие озера - Онежское и Ладожское - до позднего плейстоцена и плейстоцена были менее глубоководны,

чем ныне. Очевидно, с конца плиоцена, а в основном в четвертичное время, в результате тектонических движений их котловины углубились и постепенно стали заселяться стено-термной фауной, основу которой составили люмбрикулиды (роды Lamprodrilus, Stylodrilus, Rhynchelmiss).

Опустошение северных водоемов материковым льдом продолжалось и в плейстоцене. Развитие фауны олигохет в этот период шло в приледниковых озерах, куда животные расселялись по речным системам с юга и востока. Четвертичное оледенение довольно сильно отразилось на территории Скандинавии, Кольского полуострова и Карелии, оставив хорошо выраженные следы деятельности ледника. Это заметно сказалось на малощетинковых червях, вызвав общее обеднение и некоторое обособление фауны, где можно выделить комплекс олигохет, доминирующих в северных водоемах: Spirosperma ferox, Stylodrilus heringianus, Lumbriculus variegatus. Из средневропейских регионов по водоразделам речных бассейнов на север проникли Nais alpina, Rhyacodrilus ekmani, Cernovitoviella atrata, виды родов Stylodrilus, Tatriella, Trichodrilus, Rhynchelmiss и др. Распространение N. alpina, Tatriella slovenica, Rhynchelmiss granuensis, Rh. tetratheca, очевидно, шло из высокогорных и достаточно холодных водоемов, о чем свидетельствует их современный арктоальпийский фаунистический облик.

Изоляция ряда северных районов способствовала сохранению ряда люмбрикулид, Mesenchytraeus viivi, M. tetrapodus и т.п. На европейский Север расселились виды восточно-

го происхождения: *Stylaria fossularis*, *Tubifex kessleri*, *T. smirnowi*, *Alexandrovina onegensis*, *Lumbriculus alexandrovi*, *L. tetraporophorus*, *Lamprodrilus isoporus*, *L. achaetus* и др. Скорее всего, они существуют с днепровского оледенения (средний плейстоцен).

Не вызывает сомнений, что для видообразования олигохет плейстоцен - период короткий, поэтому многие представители ее фауны на территории европейского Севера, как указано Т.Э.Тиммом [11], для северо-запада СССР, имеют только ранг подвида (*Tubifex kessleri kessleri*, *Lamprodrilus isoporus variabilis*, *L. achaetus palearcticus*, *Rhynchelmis granuensis onegensis* и др.) или вида, близкого к его родственной форме (*Mesenchytraeus tetrapodus* - к *M. monochaetus*; *M. viivi* - к *M. flaus*; *Trichodrilus aporophorus* и *T. seieri* - к видам группы *T. moravicus*).

Единичные виды олигохет-пришельцев, создавших малочисленные популяции в приледниковых озерах, постепенно территориально разошлись. Таким путем сохранились до наших дней реликтовые популяции с прерывистым ареалом - *Tatriella slovenica*, обитающей в Татрах, на Кольском полуострове и на территории Коми; виды рода *Lamprodrilus* (представители озер Байкали и Охрид), давшие вследствие значительной изоляции, начало образованию новых подвигов в Ладожском, Онежском озерах и в единичных водоемах их бассейнов в Финляндии и Карелии, а также на Соловках. В Соловецких озерах (оз. Верхний Перт) *Lamprodrilus isoporus variabilis* существует как реликт фауны Онегогубского приледникового озера.

В своем распространении некоторые холодноводные виды, скорее всего имевшие немногочисленные популяции (*Alexandrovina onegensis*, *Lamprodrilus*), не достигли Кольского и Скандинавского полуостровов. Серьезным препятствием проникновения их на Кольский полуостров были соленые воды Белого моря, которое сразу после отступления ледника отделило территорию полуострова от материка. На Скандинавском же полуострове отступающий в гору ледник не образовал приледниковых озер, а по возникшим там рекам эти виды против течения не могли расселиться [12].

Попав в суровые природно-климатичес-

кие условия Палеарктики, многие олигохеты претерпели различные изменения в морфологическом строении тела, дав начало образованию новых видов. Таким образом, могли возникнуть *Tatriella longiatriata* (возможно, расщепление признаков шло от *T. slovenica*), *Trichodrilus aporophorus*, *T. gordeevi*, *T. isabellae*, *Rhynchelmis granuensis onegensis*, *Lamprodrilus* и др. Особенно успешно образование видов протекало на Кольском и Скандинавском полуостровах (их фауна существует с микулинского межледниковья - верхнего плейстоцена), оставшихся за пределами приледниковых водоемов. Мы предполагаем существование Карело-Кольского и Печорского отделов (наряду с Альпийским, Карпатско-Чешским и Македонским отделами) европейского очага видообразования. Как известно, наиболее интенсивно образование видов протекало в Европе, в восточной Азии, на Аляске и на Байкале, где ряд видов остался эндемиками, а многие представители расселились значительно шире, и под влиянием изменившихся физико-географических факторов еще более сократили свой ареал. Карело-Кольский и Печорский отделы видообразовательного центра более молодые: возникли в период при отступлении ледника. В прелах Альпийского, Карпатско-Чешского и Македонского отделов обитают эндемичные виды родов *Trichodrilus*, *Tatriella*, *Rhynchelmis*, в Восточно-Азиатском отделе и на Аляске - род *Lumbriculus*. Многие из них имеют в анатомическом строении много общего с северо-европейскими олигохетами: *Lumbriculus tetraporophorus*, *Lamprodrilus achaetus palearcticus*, *L. isoporus variabilis*, *Trichodrilus aporophorus*, *Tatriella longiatriata*, *Rh. granuensis*.

Как отмечает А.А. Соколов [9], в начале четвертичного периода до эпохи максимального оледенения Волги, в ее современном виде, не существовало. Была лишь Кама, которая непосредственно впадала в Каспийское море. Сток вод ее бассейна в верхней части происходил на север в бассейн Вычегды по широкой меридиональной долине, где сейчас протекают реки Южная и Северная Кельтмы, часть Камы и Косью. Самой же большой рекой в Европе был древний Дон, включавший бассейны Оки, Верхней и Средней Волги.

В бассейне Верхней и Средней Печоры и

Усы, в бассейне Вычегды, на участке долины древнего ее стока, фауна олигохет сформировалась в период отступления максимального (днепровского) оледенения. В дальнейшем она пережила последующие оледенения в предгорной и горной полосе Урала в бассейне Печоры. Предположение о переживании оледенений в убежищах Урала энтомофауной, птицами, рыбами и млекопитающими неоднократно высказывалось в литературе [2]. Некоторые из этих организмов рассматриваются в Приуралье как реликты рисс-вюрмской межледниковой эпохи, пережившие второе оледенение, укрывшись на Урале.

В рисс-вюрмскую межледниковую эпоху и в течение вюрмского (валдайского) оледенения вдоль Урала располагалась группа разобщенных озер. Эти озерные бассейны, особенно древнее Троицко-Печорское озеро, имевшие связь с Вычегдой и Камой, сыграли большую роль как рефугиальные области в расселении фауны олигохет на север и северо-запад. Окончательно олигохетофауна сформировалась в послеледниковье, в период разобщения Камы с Вычегдой.

В период валдайского оледенения другими водными рефугиями распространения малощетинковых червей были Приуралье, бассейн Усы, а в бассейне Вычегды - участок расширения древнего стока, территория Усть-Куломы. С постледникового периода Вычегда обогащается фауной за счет проникновения ее из Волжского бассейна, распространяясь на северо-восток, север и северо-запад. Своеобразным ускорителем распространения олигохет на Скандинавию, Кольский полуостров и в Карелию было пресноводное Балтийское озеро-море, возникшее около 12 тысяч лет тому назад.

Морские олигохеты первоначально появились в области Балтийского моря в период после отступления повторного оледенения, образовавшего холодное слабосоленое Иольдиевое море, которое установило непрерывную связь с Северным морем. В связи с поднятием Скандинавского полуострова Иольдиевое море сменилось опресненным Анциловым морем, в котором менее стеногалинные виды олигохет (*Paranais litoralis*, *Amphichaeta sannio* и др.) могли пережить временное опреснение. Более

стеногалинные виды (*Clitellio arenarius*, *Tubificoides benedeni*, *Tubifex costatus*), как предполагает Т.Э. Тимм [12], постоянно стали обитать здесь только со стадии образования Литторинового моря, в период, когда в балтийскую котловину проникла океаническая вода через понизившуюся южнобалтийскую область.

Основными путями заселения бассейна Балтийского моря, а затем и более северных водоемов фауной олигохет, некогда оттесненной ледником на юг, могли быть крупные реки Дон, Днепр, Дунай, впадающие в Черное море. При этом, первостепенное значение принадлежало Днепру, имевшему прямую связь с Неманом, Западной Двиной и Великой. Эти реки были притоками, по которым талые воды ледника стекали в Пра-Днепр [4,7,13]. В дальнейшем, при отчленении их от бассейна Днепра, значительная часть фауны проникла в бассейн Балтийского моря, а затем по опресненному Анциловому озеру-море и далее по цепи пресноводных водоемов, анастазирующих друг с другом, на север и северо-восток. Олигохеты, попавшие в бассейн Балтийского моря, в период опреснения могли двигаться далее в водоемы Швеции, а затем и в Норвегию. Поэтому в водоемах основных путей проникновения южных видов мы обнаруживаем значительное богатство видов из родов *Potamothrix*, *Psammoryctides*, *Isochaetides*, причем число их здесь несомненно больше (22 вида), чем в водоемах Балтийской провинции (11 видов), и еще больше, чем в Лапландской (4 вида). Число южных видов заметно уменьшается по направлению на восток и северо-восток - в Печорской провинции их не более 4-5. На Кольском полуострове и в Ненецком национальном округе количество южных видов доходит до минимума (1-2 из рода *Psammoryctides*).

Фауна олигохет бассейнов Северной Двины, Вычегды (кроме участка древнего стока реки), Мезени своим происхождением обязана Понто-Каспию, откуда она проникла по Волго-Камскому бассейну. Последний явился важным транспортным путем в расселении на европейский Север понто-каспийской фауны, прежде всего, родов *Potamothrix*, *Psammoryctides*, *Isochaetides*.

Благодаря трансгрессиям и регрессиям, Балтийское море и прилегающие к нему при-

ледниковые водоемы, испытывая ряд осолонений и опреснений, в большой степени способствовали формированию и распространению олигохетофауны на европейском Севере. Балтийское море вместе с приледниковыми водоемами явилось не только важным транспортным путем проникновения фауны, но и решающим центром адаптации организмов.

Острова северных морей (Новая Земля, Соловецкий архипелаг и др.) заселялись олигохетами в период их соединения с континентами в среднечетвертичное время, когда ареал фауны был сплошным. Неоднократные трансгрессии привели к сокращению числа видов, изменили первоначальный их облик, хотя некоторые черты пионерной фауны сохранились и до наших дней. Об этом свидетельствует обитание в островных олиготрофных озерах, не подверженных деятельности человека, родов *Trichodrilus*, *Lamprodrilus*, *Rynchelmis*, а также доминирование *Spirosperma ferox*, *Stylodrilus heringianus* и других видов, требовательных к относительно высокому содержанию в воде кислорода. Такие водоемы напоминают первоначальные стадии развития всех ледниковых озер. Особенность островов значительно сдерживала развитие фауны и ограничивала пополнение ее из материка. В послеледниковое время по мере тектонического поднятия островов в образовавшихся водоемах постепенно стала формироваться более молодая фауна. Особенно это видно на примере хорошо изученных автором озер Соловецкого архипелага [8,6,14], где до сих пор еще идет процесс образования пресных и солоноватых водоемов за счет отчленения и обособления котловин при продолжающемся поднятии суши островов. В таких молодых озерах, как правило, обитают многочисленные энхитреиды, нередко *Amphichaeta sannio*, *Nais elenguis*. Количество видов в них весьма ограничено, но численность высокая, в основном, за счет обилия энхитреид с широким диапазоном отношения к солености.

В период голоцена (последние 10 тысяч лет), отличавшимся относительно умеренным климатом, постепенно сузились ареалы и уменьшилась численность холодноводных видов, по сравнению с более южными широтами, хотя на Севере до сих пор сохранилась сравнительно богатая фауна холодолюбивых

олигохет. В фауне пресноводных малоцетинковых червей постепенно увеличивалась доля элосоматид, наидид и тубифицид - преимущественно видов, широко распространенных в настоящее время. Стали появляться и теплолюбивые виды, которые все размножались и расширяли свои ареалы - *Potamothrix hammoniensis*, роды *Aulodrilus*, *Psammoryctides* и др.

Уже начиная с голоцена, эколого-фаунистический облик олигохет Палеарктики с возрастом и развитием водоемов постепенно менялся. Если в раннем голоцене озера в основном были ультра- или олиготрофными (богатые кислородом, бедные органическими веществами), а фауна олигохет в них богатая и разнообразная, то по мере евтрофирования озер профундальные комплексы малоцетинковых червей обеднялись качественно; доминирующее положение в них стал занимать один из трех видов (*Limnodrilus hoffmeisteri*, *Potamothrix hammoniensis*, *Tubifex tubifex*). Евтрофирование существенно не отразилось на фауне литорали, где на всех стадиях евтрофирования обитает богатая и разнообразная фауна, преимущественно из наидид и тубифицид. При дистрофировании озер происходит резкое обеднение всей олигохетофауны; остается лишь 1-2 вида (реже *T. tubifex*, чаще - *Lumbriculus variegatus*), а в сильно дистрофных водоемах олигохеты отсутствуют.

Аналогичные изменения происходят и в реках [12]. В их руслах постепенно накапливаются иловые отложения, замедляется течение, увеличивается содержание органических веществ, уменьшается количества кислорода, в результате чего существенно расширяются площади, занятые пелофильным комплексом беспозвоночных. Реки тундры и северной тайги, особенно с горным характером течения, также, как и крупные источники, менее подвержены процессам евтрофикации и тем более дистрофирования: быстрое течение, разнообразие твердых грунтов, высокое содержание кислорода создают благоприятные условия для обитания оксифильных холодноводных олигохет (*Nais alpina*, *Stylodrilus heringianus*, *Propappus volki* и др.).

Наиболее активное расселение малоцетинковых червей по европейскому Северу идет в послеледниковое время. Этому способству-



ет ряд факторов, прежде всего, обширная связь северных водоемов с южными. Благодаря этому в мелководных, хорошо прогреваемых озерах, в настоящее время широко распространены теплолюбивые виды, в основном из тубифицид, пополнение которых ускорилось в последнее тысячелетие в связи с деятельностью человека.

История третичного периода крайне мало дает представление о сохранении древней (третичной) фауны в северной Европе. Наступление ледника сильно изменило условия существования организмов в водоемах этой территории, освободившейся от льда; резкому изменению подверглась также и сама фауна. Реликтами третичной фауны олигохет, мы предполагаем некоторых люмбрикулид - *Lamprodrilus isoporus*, *L. achaetus*, - распространение которых на земном шаре чрезвычайно ограничено, но они широко представлены в древнем озере Байкал, где обитает множество третичных представителей олигохетофауны. Очевидно, в водоемах Европы, не занятых оледенением, обитала своеобразная фауна, в состав которой входили элементы, сохранившиеся там от других периодов, и виды, проникшие с севера, теснимые надвигающимся ледником (или ледниками). На севере Европы глубокие тектонические разломы котловин Ладожского и Онежского озер могли быть убежищем для древней фауны, впоследствии распространившейся шире. Некоторые из ее видов (род *Lamprodrilus*, *Rynchelmis granuensis onegensis*) до сих пор обитают в пределах этих озер или их бассейнов; в последнем случае только в водоемах, рядом с ними расположенными (Путкозеро, Вангозеро, Ладозеро и др.).

Малощетинковые черви, как и другие водные организмы, проникают из водоема в водоем, распространяются по биотопам водных систем разнообразными способами. Один из них - пассивный перенос организмов течением воды по речным системам. В последние столетия большое значение для их расселения имеют каналы. Многие виды наидид, некоторые тубифициды способны к дрейфу водой на большие расстояния. Эти организмы обычно имеют небольшие размеры тела или удлиненные щетинки спинных пучков, что способствует их расселению. Немаловажную роль здесь иг-

рают сезонные разливы рек, водохранилищ, воды которых несут множество затопленных прибрежных предметов, служащих субстратом для организмов, куртины прибрежно-водных макрофитов, на которых, как правило, находятся животные и их коконы, а порой и цисты. Не всем этим транзитным организмам удается приспособиться к новым условиям, резко отличным от коренных. Лишь немногие виды, выносимые рекой за их «генетический» рубеж, находят себя приют в новой экологической обстановке. Псаммофилы и лимнофилы, не найдя благоприятных условий в руслах рек, вынуждены селиться в протоках, а литофилы - на древесный или иной твердый субстрат. Половодный снос (дрейф) водных организмов вниз по течению рек достаточно хорошо освещен в литературе [1,5,3].

Существенную роль в распространении олигохет играют погруженные в воду плавающие предметы, покрытые водорослями и илом; служат хорошим субстратом для транспортировки на большие расстояния, даже из одного бассейна в другой. В последнее время широкая сеть каналов, постройка плотин и дамб, интенсивное судоходство активизировали расселение фауны; увеличилась возможность завоза их даже с других океанов в перифитоне днищ судов и в балластной воде.

Активное перемещение с помощью плавательных движений тела червей также немаловажно в процессах распространения фауны. Скорость активного расселения организмов в толще воды или по грунту обычно ничтожная - 3-10 м за год. Сравнительно хорошими «пловцами» следует *Aeolosoma hemprichi*, *Ripistes parasita*, *Stylaria lacustris*.

Из водоема в водоем, с одного места в другое организмы распространяются также с помощью птиц, водных млекопитающих и различных амфибиальных и наземных животных, преодолевая таким образом сухопутные преграды. Интродукция и акклиматизация как самих малощетинковых червей, так и других организмов, среди которых обитают олигохеты, также способствуют распространению фауны.

Способность к бесполому размножению и партеногенз олигохет увеличивает возможность расширять им свой ареал, покоря свободные экологические ниши. Эти черви более

вагильны, так как способны давать потомство, размножаясь без партнера.

Распространенные пути расселения малощетинковых червей несомненно способствуют активизации процесса обогащения фауны и видообразованию пластичных видов. Мы предполагаем проникновение в ближайшее время на территорию европейского Севера ряда видов олигохет: *Bothrioneurum vej dovskyanum*, *Psammoguctides moravicus* и других. Вероятно, ареал обитающих на севере Европы видов *Isochaetides newaensis*, *I. michaelsoni*, *Potamothrix hammoniensis*, *P. moldaviensis* и других расширится в северных широтах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристовская Г.В.* О значении сноса донных организмов р.Волги // Труды Общества естествоиспытателей природы Казан. ун-весит. 1946. Т. 57. Вып. 1-2. С. 3-20.
2. *Зверева О.С.* Особенности биологии главных рек Коми АССР в связи с историей их формирования. Л.: Наука, 1969. 279с.
3. *Ляхов С.М.* Комплексное изучение биологического стока р.Волги // Зоол. журн. 1953. Т. 3. С. 358-360.
4. *Мирчник Г.Ф.* Четвертичная история долины р.Волги выше Мологи // Труды Комиссии по изуч. четвертичного периода. 1935. Т. 4. С. 5-36.
5. *Неизвестнова-Жакина Е.С., Ляхов С.М.* Динамика донных биоценозов р.Оки в связи с динамикой гидробиологических факторов // Труды Зоологического института АН СССР. 1946. Т. 7. Вып. 1. С. 193-276.
6. *Новосельцев Г.Е., Попченко В.И.* Донная фауна озер Большого Соловецкого острова // Соловецкие озера. Труды Севниорх. Петрозаводск: Книжное издательство, 1972. С. 67-84.
7. *Петров В.В.* Факторы формирования ихтиофауны Псковско-Чудского озера // Известия ВНИОРХ. 1947. Т. 24. Вып. 1. С. 3-110.
8. *Попченко В.И.* Фауна малощетинковых червей озер Солдовецкого архипелага // Водные малощетинковые черви. М.: Наука, 1971. С. 42-50.
9. *Соколов А.А.* Гидрография СССР (воды суши). Л.: Наука, 1952. 471 с.
10. *Тимм Т.Э.* Экология и география распространения водных олигохет (на примере фауны Северо-Запада СССР): Автореф. дис. ... д-ра биол.наук Л.: 1983. 46 с.
11. *Тимм Т.Э.* Развитие олигохетофауны в озерах северной Европы // Биологические особенности малых озер Эстонии. Таллин, 1984. С. 80-90.
12. *Тимм Т.Э.* Малощетинковые черви (Oligochaeta) водоемов Северо-Запада СССР. Таллин: Вагус, 1987. 289 с.
13. *Шульман С.С.* Зоогеографический анализ паразитов пресноводных рыб Советского Союза // Основные проблемы паразитологии. Л.: Наука, 1958. С. 184-231.
14. *Popchenko V.I.* Oligochaeta fauna of the Lakes of the Solovets archipelago // Aquatic Oligochaeta Worms. Taxonomy, Ecology and Faunistic in the USSR. New Delhy, 1980. P. 46-54.

#### GENESIS OF THE OLIGOCHAETA WORMS FAUNA ON THE NORTH OF EUROPE

© 1999 V.I. Popchenko

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

Peculiarities of oligochaeta fauna genesis on the North of Europe are substantiated theoretically. It is demonstrated that oligochaeta worms permeate into this territory during the last 13-15 thousands years. The rivers Don, Dniepr and Danube were extremely important for the genesis of oligochaeta on the North of Europe. The Siberian rivers, which also contributed the propagation of the North-Eastern elements of fauna, were also significant. The main ways of oligochaeta fauna genesis were water basins, which appeared near glaciers after the glaciers had flowed away, and the human activities after end of glacial epoch.