

В. В. Плотников

# На перекрестках ЭКОЛОГИИ



В.В.Плотников

# На перекрестках ЭКОЛОГИИ



МОСКВА  
«МЫСЛЬ»  
1985

ББК 28.08  
П 39

РЕДАКЦИИ  
ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ  
ЛИТЕРАТУРЫ

Рецензенты: доктор биологических наук Н. Ф. Реймерс и кандидат географических наук Н. Б. Барбаш

Художник Е. А. Родионова

Заставки выполнены по эскизам автора

**Плотников В. В.**  
П 39      На перекрестках экологии. — М.: Мысль, 1985.—  
              208 с.  
              90 к.

Сложность решения экологических проблем рождает массу взглядов и мнений о возможностях экологии как синтезирующей науки. Автор анализирует многие спорные вопросы методологии и практической направленности экологических и географических исследований.

П 2001050000-159  
—————  
004(01)-85

140-85

ББК 28.08  
57.026

© Издательство «Мысль», 1985

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Эта книга появилась в процессе размышлений эколога над предметом, задачами, методами и перспективами своей повседневной работы. Думается, что размышления «вслух» для экологии на ее современном этапе поистине «предмет первой необходимости». Огромный общественный интерес к проблемам экологии, потребности массового экологического просвещения, многочисленные специальные запросы к экологии, требующие «безотлагательного разрешения», — все это подчас создает атмосферу лихорадочной суеты вокруг экологии, о возможностях и пределах компетенции которой ходят иногда весьма фантастические предположения. Расхожие выражения типа «экологический кризис», «экологическое мышление», «экологическая политика», «экологическая война» и др. гипнотизируют широкую публику, но вряд ли способствуют ясному пониманию вещей. Перечисленные обстоятельства, а также ряд субъективных предпосылок, вытекающих из личного опыта, внушают автору уверенность в том, что вопросы, которые поставлены в книге, волнуют многих.

Книга предназначена в равной степени как для натуралистов, так и для массового читателя. Автором руководило убеждение, что охрана природы является всенародным делом и перекладывать эту колossalную работу на плечи только профессионалов-биологов — значит рисковать слишком многим. Прикладные аспекты экологии должны внедряться в сознание всех членов нашего общества с раннего детства путем разъяснения и целеустремленного обучения. Из понимания экологического мышления как элемента современного прогрессивного мировоззрения вытекает, что каждый на своем месте может быть экологом.

Систематизированное изложение экологии можно найти в ряде работ зарубежных и советских авторов. Основное внимание в данной книге уделяется тем моментам, которые либо недооцениваются, либо недостаточно четко представляются самим экологам, либо яв-

ляются дискуссионными. Многочисленным книгам «по экологии» хочется противопоставить книгу «об экологии».

Уместно заметить, что наш «экологический книжный рынок» в настоящее время наводнен переводной литературой, которая отнюдь не всегда воспринимается достаточно критически. Между тем социалистическая система природопользования имеет свои принципиальные особенности, отечественная наука имеет свои прославленные традиции, а необъятность и разнообразие наших ландшафтов порождают нередко такие проблемы, которые в других регионах просто не возникают. Например, именно советскому читателю более близки экологические проблемы Субарктики и Севера в целом, чем беспредельно интересные сами по себе проблемы тропических островов...

Цель данной книги — обсудить возможности и перспективы экологически грамотного подхода при осуществлении множества мероприятий, связанных с научно-техническим прогрессом. Английский эколог Ф. Дарлинг охарактеризовал современную ситуацию с исчерпывающей прямотой: «...ухудшение природных условий часто обгоняет изучение причин этого ухудшения». Спасти положение могут не столько судорожные поиски новых, инвариантных решений, сколько глубокое осмысливание опыта человечества, решительное разрушение искусственных перегородок между смежными научными дисциплинами, пристальное внимание к фундаментальным вопросам естествознания и научная пропаганда.



## Введение

---

Если даже дарвинизм в его современном понимании, как сейчас известно, зародился задолго до Дарвина, то начала экологических представлений восходят вообще к глубокой древности.

Каждый читатель может проделать несложный психологический эксперимент, а именно вообразить себя на месте первобытного человека, озабоченного проблемой пропитания. Все необходимое для себя и своей семьи он должен найти в окружающей его природной среде. К немалому удивлению, многие читатели очень скоро убеждаются в собственной беспомощности. Что и где искать? Слепой поиск здесь не годится, ведь в конце концов при этом можно лишь еще сильней проголодаться...

Итак, уже практика собирательства требовала от первобытного человека обширных экологических знаний, и эти знания накапливались от поколения к поколению. Охота, затем скотоводство и, наконец, земледелие означали дальнейший прогресс экологического природоведения.

Во времена Н. И. Вавилова, специально изучавшего географические центры происхождения культурных растений, считалось, что земледелие зародилось 9—10 тыс. лет тому назад. Новейшие археологические находки позволяют оценивать «возраст» земледелия в 15—18 тыс. лет. Таков же примерно и возраст некоторых фундаментальных общественных представлений о взаимоотношениях растений и животных с окружающей средой.

К началу античного летосчисления человечество располагало уже огромным опытом преобразования природы. Достаточно заметить, что первые оросительные системы в Юго-Западной Азии появились еще за 5 тыс. лет до н. э., что цивилизация майя за много столетий до новой эры уже пользовалась судоходными каналами, что в древнем Китае приблизительно с 1200 г. до н. э. были

организованы регулярные метеорологические наблюдения. Военные походы, географические путешествия и развитие торговых связей способствовали расширению кругозора. И не удивительно, что поэмы Гомера содержат многочисленные экологические сведения, в ретроспективном плане весьма полезные и в наши дни. В античные времена люди уже основательно соприкоснулись с экологическими проблемами городов. В системах античного природопользования случались и чисто экологические просчеты. «Людям, которые в Месопотамии, Греции, Малой Азии и в других местах выкорчевывали леса, чтобы получить таким путем пахотную землю, и не снилось, что они этим положили начало нынешнему запустению этих стран, лишив их, вместе с лесами, центров скопления и сохранения влаги» (Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 496).

Для советского читателя особый интерес представляется научное наследие греческого историка Геродота (между 490 и 480 гг. — 425 гг. до н. э.), побывавшего на территории Северного Причерноморья, в стране воинственных скифов. В описаниях Геродота имеется множество достоверных географических и экологических сведений. В частности, в них упоминается огромный лесной массив — Гилея — на территории нынешних Нижнеднепровских песков, известных даже по художественной литературе под названием Алешковских. После детальных археологических и палеогеографических исследований последних десятилетий стало ясно, что Гилея была окончательно сведена человеком лишь к XII—XIII вв. н. э. (Мильков, 1978). Лесоводы же на протяжении более 100 лет считали Алешковские пески исконно безлесными (Бодров, 1961).

Широкая картина движения древних славянских племен в I-м тысячелетии н. э. на европейской территории СССР показана П. Н. Третьяковым (1982). Характерно, что помимо политических отмечаются и чисто экологические причины географической подвижности древних цивилизаций (изменение климата, ухудшение пастбищ, локальная перенаселенность и т. д.). Так, П. М. Долуханов (1979) высказывает предположение, что причиной расселения славян в Южной и Восточной Европе послужил именно экологический кризис. Надо полагать, что к этому времени уже существовали зачатки природоохранного законодательства.

Расцвет Киевской Руси (IX—XII вв.) ознаменовался созданием выдающихся культурных ценностей. В частности, до нас дошли многочисленные летописные источники, позволяющие реконструировать экологическую обстановку той эпохи. Так, украинский лесовод С. А. Генсирук (1975) составил карту лесов Украины 1-го тысячелетия н. э. При сопоставлении этой карты с современной выяснилось, что лесистость территории Украины за последнее тысячелетие уменьшилась в 2—3 раза, главным образом в результате хозяйственной деятельности человека.

Любопытно, что даже такое драматическое произведение, как «Слово о полку Игореве», насыщено упоминаниями зверей и птиц, повадки которых характеризуются предельно точно, емко и лаконично. В Русской правде (XI—XII вв.) — своде законов Киевской Руси — имеются статьи, касающиеся охраны охотничих и бортнических угодий.

Монголо-татарское нашествие (1236—1480) явилось для Руси суровым испытанием. Искусства, торговля и ремесла в XIII—XIV вв. пришли в упадок, естественно-научные знания почти не умножались. Лишь со второй половины XIV в. началось возрождение русской культуры в связи с укреплением экономического и политического влияния Московского государства. Приближалась эпоха крупных географических исследований и обобщений. В 1438—1440 гг. московский митрополит Исидор со свитой предпринял поездку через Новгород, Псков, Ригу, Любек во Флоренцию. В 1466—1472 гг. Афанасий Никитин совершил свое знаменитое путешествие в Персию и Индию, почти на 30 лет опередив в этом Васко да Гаму. Между тем оборотистые новгородцы еще в 1364—1365 гг. проникли в низовья Оби, о чём есть запись в новгородской летописи. В 1483 г. Федор Курбский перешел через Уральский хребет и достиг Иртыша. Холмогорцы к этому времени уже осваивали мореходные пути из Двины на Обь. В 1496 г. московский посол Григорий Истома отправился морским путем в Данию.

Результатом широкого изучения природных ресурсов стала карта Московского государства, составленная примерно в 1525 г. В 1581—1584 гг. состоялись походы Ермака. Пределы Русского государства неуклонно расширялись, что возвуждало пристальное внимание к его окраинам. Так, между 1584 и 1589 гг. из Тобольска была

снаряжена экспедиция под руководством «московского гостя Луки», которой поручалось пройти до устья Оби и далее к Енисею. Отчет экспедиции содержал «описания островов и рек, птиц и животных, встречавшихся до самого Енисея» и был даже переведен на голландский язык. В 1600 г. на р. Таз был заложен г. Мангазея.

В 1633—1636 гг. И. И. Ребров и И. Перфильев прошли по р. Лене до ее устья и дальше морем до рек Яны и Индигирки. М. Стадухин в 1641 г. прошел по Индигирке и дальше морем до Колымы. В. Д. Поярков в 1643—1646 гг. обследовал берега Охотского моря. В 1648 г. Ф. А. Попов и С. И. Дежнев проплыли из Ледовитого океана в Тихий. Затем Дежнев совершил путешествие по Амуру. К тем же временам относятся заметки о путешествиях в Китай и Монголию (И. Петлин, Ф. И. Байков, Н. Г. Спафарий-Милеску). С 1686 по 1701 г. известный сибирский энциклопедист С. У. Ремезов составил «Чертежную карту Сибири». В 1697—1699 гг. Владимир Атласов прошел от Анадырского острога до крайнего юга Камчатки и сделал превосходное географическое описание полуострова.

Такова краткая хроника русской географической мысли в допетровскую эпоху, в доакадемический период развития отечественной науки. Сотни известных и безвестных землепроходцев умножали общие представления о целых народах, о географическом распределении минералов, растений и животных, лесных, луговых, пахотных, охотничьих и водных угодий, о повадках зверей и птиц, о хозяйственном использовании природных ресурсов. Так закладывался фундамент дальнейших, подлинно научных экологических знаний.

В 1724 г. была основана Российская Академия наук. В отличие от зарубежных академий она была сразу организована как государственное (а не частное или любительское) учреждение, и это обстоятельство в дальнейшем сыграло неоценимую роль в развитии научных знаний.

С 1725 по 1743 г. огромная работа была проделана Камчатскими экспедициями В. Беринга. Вторая Камчатская, или Великая северная, экспедиция (1733—1743) даже по нынешним временам являлась грандиозным мероприятием. В ее составе было несколько самостоятельных отрядов, а общая численность участников достигала 570 человек. Так, с 1737 г. в ней был выделен

сенатским указом специальный академический отряд (И. Гмелин, Г. Стеллер, С. П. Крашенинников и др.). «Химии и истории натуральной профессор» И. Гмелин своими ботанико-географическими исследованиями и открытиями в Сибири заслужил восхищение знаменитого Карла Линнея. Гмелин же выполнил и ряд работ по фауне Сибири. В свою очередь зоолог Г. Стеллер, сопровождавший Беринга в плавании к берегам Америки, провел не только превосходные фаунистические и сравнительно-морфологические, но и чисто геоботанические исследования. Это были уже настоящие экологические работы. Г. Миллер занимался сбором исторического, географического, экономического, этнографического и археологического материалов по Сибири. Научное содержание так называемого «Сибирского архива» Миллера не исчерпано и до сих пор. С. П. Крашенинников прославился в дальнейшем результатами своих комплексных исследований Камчатки.

В результате исследований, проведенных Северными отрядами второй Камчатской экспедиции, возглавляемыми С. Г. Малыгиным, Д. Я. Лаптевым и Х. П. Лаптевым, было нанесено на карту и детально описано побережье Ледовитого океана от Северной Двины до Колымы. В целом Камчатскими экспедициями был собран колоссальный фактический материал о природе Сибири, Камчатки, Курильских, Командорских и Алеутских островов, а также северной части Японии и северо-западного побережья Америки.

Беспримерный подвиг мужества, изобретательности, а также физической и нравственной выносливости был совершен четырьмя архангельскими промысловиками, с 1743 по 1749 г. вынужденно обитавшими на Шпицбергене (Ле Руа, 1975). Этот потрясающий исторический факт с полным основанием может быть отнесен к области не только физиологии и психологии, но и экологии человека.

В. Н. Татищев (1686—1750), намного опережая уровень знаний своего времени, эффективнейшим образом объединил естественноисторическую и географическую мысль с инженерной (конструктивной) и экономической практикой. «География физическая описует о качестве земли, воды и воздуха, от которого большую частью происходят обилия, довольства и недостатки», — писал он в 1745 г. В качестве главного управляющего сибир-

скими заводами Татищев был инициатором первого описания и картографирования уральских лесов (1721 г.), а также попыток регулирования их промышленной эксплуатации. Еще при Петре I было принято около 60 грамотно составленных природоохранительных законов.

Переворот в естествознании, совершенный М. В. Ломоносовым (1711—1765), не миновал и «натуральной истории». С 1758 г. Ломоносов возглавил Географический департамент Академии наук. Именно ему принадлежали инициатива и программа комплексных академических экспедиций, состоявшихся в 1768—1774 гг. Ломоносовские идеи были воплощены созданием в 1765 г. «Вольного экономического общества к поощрению в России земледелия и домостроительства». М. В. Ломоносов первым высказал мысли о воздушном питании растений и о воздействии на их рост «электрических сил». Весьма современно звучат его рассуждения о влиянии леса на почву и о роли живых организмов в происхождении нефти, углей и чернозема.

Академическими экспедициями 1768—1774 гг. руководили П. С. Паллас (1741—1811), И. И. Лепехин (1740—1802), И. Фальк (1727—1774), С. Г. Гмелин (1745—1774) и И. А. Гильденштедт (1745—1781). В их составе были Н. Я. Озерецковский (1750—1827), В. Ф. Зуев (1754—1794), Н. П. Соколов (1748—1795), Т. С. Мальгин (1752—1819), Н. П. Рычков (1746—1784), И. И. Георги (1729—1802) и многие другие известные в дальнейшем исследователи. Даже даты жизни в этом блестящем списке впечатляют: экспедиции возглавлялись молодыми людьми.

Научные и прикладные результаты экспедиций невозможно осветить и в самостоятельном солидном труде. Маршруты путешествий охватывали пространства от Кольского полуострова до Забайкалья. Географические, геологические, ботанические, зоологические и экономические наблюдения нередко венчались глубокими обобщениями естественноисторического и природоохранительного порядков. Так, И. И. Лепехин всесторонне разобрался в причинах, масштабах и тенденциях смены хвойных лесов лиственными. В. Ф. Зуев встал у истоков массового экологического просвещения, составив первый русский учебник для средней общеобразовательной школы по естествознанию — «Начертание естественной истории» (1786), — выдержавший пять изданий.

Каспар Фридрих Вольф (1734—1794) начал работать в Петербургской Академии наук в 1767 г., еще с 1759 г. заслужив у себя на родине, в Германии, известность своими эволюционными представлениями, подрывающими церковные догматы. Судя по рукописному наследию Вольфа (Райков, 1952), он вплотную подошел к пониманию фактора изменчивости растений, животных и человека в зависимости от условий внешней среды с позиций анатомии, физиологии и эмбриологии.

К началу XIX в. «натуральная история» в России прочно стояла на передовых материалистических позициях и располагала огромным объемом эмпирических и теоретических знаний о живой природе. С 1815 по 1826 г. в России было организовано 15 кругосветных путешествий и 10 арктических экспедиций. После восстания декабристов многие из них посвятили свою жизнь плодотворному исследованию природы Сибири.

История географических и биологических исследований в России XIV—первой половины XIX в. освещена в фундаментальных трудах выдающегося советского географа и биолога Л. С. Берга (Избр. труды, т. I, 1956), а также в первом томе «Истории Академии наук СССР» (1958). Развитие природопользования на Руси за этот же период кратко, но очень обстоятельно отражено в работах сибирского историка А. В. Дулова (1976, 1979).

Самостоятельную страницу в историю экологии вписал профессор Московского университета К. Ф. Рулье (1814—1858). Прежде всего он первым в должной мере оценил «экологичность» эволюционных идей Ж. Б. Ламарка (1744—1829). Именно Рулье дал исчерпывающее определение экологической среды: «Под наружными условиями мы разумеем все то, что действует на животных снаружи, т. е. воздух, теплоту, воду, почву, растущие на земле растения, живущих на ней животных и самого человека, когда они действуют на какое-либо животное» (1954, с. 30). Наконец, он первым воспротивился «монополии организма» в биологических исследованиях и обосновал необходимость изучения жизнедеятельности естественных сообществ организмов.

Рулье подготовил русскую общественность к восприятию теории Дарвина и воспитал плеяду выдающихся натуралистов уже вполне современного толка (А. П. Богданов, Я. А. Борзенков, Н. П. Вагнер, Н. А. Северцов, С. А. Усов и др.). Влияния естественноисторических

идей Рулье не избежали даже революционные демократы А. И. Герцен и Н. Г. Чёрнышевский. Но лишь в 1866 г. немецкий натуралист Э. Геккель дал определение экологии прежде всего как познания экономики природы. Именно с этого момента экология начала существовать как самостоятельная наука.

Как известно, научное направление, претендующее на статус особой науки, должно обладать тремя атрибутами: собственным (специфическим) объектом, собственным методом и собственной аксиоматикой, или, по словам В. И. Вернадского, «той логической базой аксиом и основных принципов, на которой строятся и научная гипотеза, и эмпирическое обобщение, и математическая или логическая схема-модель, которыми мы пользуемся в научной работе» (1975, с. 20). Каковы же эти атрибуты для экологии?

Содержательный философско-методологический анализ эволюции именно объекта экологии проделан украинским философом Н. Н. Киселевым (1979). В работе Киселева проводится мысль, что экология эволюционировала от исследования отношений «организм — среда» к осознанию проблемы «человек — природа». В такой трактовке привлекает акцент на связи: не организм сам по себе, а именно отношения организма со средой, не человек сам по себе, а человек во взаимодействии с природой — такова специфика объекта экологии.

И. С. Тургенев словами Базарова заметил, что «ни один ботаник не станет заниматься каждою отдельною берёзой». Увы, здесь великий писатель не прав. И занимались, и занимаются, и будут заниматься, поскольку возможности индивидуального подхода к организмам никогда не исчерпываются, например, в анатомии, морфологии, физиологии, генетике и т. д.

Английским экологом А. Тэнсли в 1935 г. предложено понятие «экосистема». Экосистема — в лаконичном определении — представляет собой всякое устойчивое множество взаимодействующих между собой живых организмов в определенной среде. Экосистема в отличие от близких к ней понятий «биоценоз» и «биогеоценоз» — категория безразмерная, а значит, она применима к любой системе надорганизменного уровня. Биоценоз, биогеоценоз, биосфера — все это системы, обладающие развернутостью географического масштаба. Для экосистемы масштаб определяется границами интересов наблюдателя.

теля: экосистемой может быть и конкретный биоценоз, и биосфера в целом, и множество биосфер (например, для теоретика), и чашка Петри с ее биологическим содержимым, и космический корабль... Экосистемой не может быть отдельный организм (человек, корова, бактерия), но может быть специфическое население его отдельных органов и тканей (бактериальная флора кишечника, микробное население гангренозной ткани).

Понятие «экосистема» означает в данном случае не столько специфику объекта, сколько специфику подхода к исследованию. Действительно, какую бы конкретную экосистему мы ни взяли, любая может быть одновременно предметом самых разных научных дисциплин. Следовательно, надо разобраться, в чем состоит специфика именно экологического подхода к исследованию экосистем или какие свойства экосистем являются предметом специального интереса именно эколога. Разобраться в этом совершенно необходимо, поскольку де-журное заявление, что эколога интересует экосистема в целом, вряд ли может кого-либо удовлетворить. Но прежде чем искать ответы на эти вопросы, обсудим содержание теоретической базы экологии или области достигнутых в ней эмпирических обобщений.

Первое фундаментальное эмпирическое обобщение, в котором рассматриваются вопросы экологии, принадлежит немецкому путешественнику и натуралисту А. Гумбольдту (1769—1859). В 1817 г. им был сформулирован принцип географической зональности в распределении растительности на Земле. Надо заметить, что сходные мысли на полвека раньше высказывал и М. В. Ломоносов. Теперь этот принцип кажется вполне очевидным, но Гумбольдту для его обоснования пришлось совершить множество путешествий. Он сумел возвыситься над уровнем региональных представлений и овладеть чрезвычайно широким подходом к явлениям органической жизни. Гумбольдт же впервые выделил в мире растений предопределенные внешней средой (экологически детерминированные) жизненные формы. Зависимость физиологических отправлений и морфоанатомических особенностей организмов от условий физической среды, отраженная в жизненных формах растений безотносительно к их видовой принадлежности, является руководящим принципом при интерпретации результатов многих экологических исследований.

В 1840 г. немецкий химик Ю. Либих (1803—1873), исследуя минеральное питание растений, сформулировал одно из первых эмпирических обобщений («закон минимума»), названное впоследствии его именем. В современной трактовке этот закон гласит: «Веществом, находящимся в минимуме, управляет урожай и определяется величина последнего во времени» (Одум, 1975, с. 139). Но магистральный путь становления экологии пролегал уже не в этой плоскости.

Еще в 1809 г. французский естествоиспытатель Ж. Б. Ламарк изложил теорию, согласно которой виды растений и животных постоянно изменяются под воздействием меняющихся условий внешней среды. Чарльз Дарвин объяснил механизм этих превращений в своем капитальном труде «Происхождение видов путем естественного отбора» (1859), заложив материалистический фундамент для дальнейшего развития всех отраслей биологии, в том числе и экологии. В 1877 г. К. Мебиус, исследовавший сообщества морских организмов, ввел в употребление понятие о биоценозе как «комплексе организмов, занимающих определенный участок арены жизни» (цит. по Б. А. Быкову, 1973, с. 35). В конце прошлого века В. В. Докучаевым (1846—1903) было создано учение о почве как «самостоятельном естественно-историческом теле, которое является результатом совокупной деятельности а) грунта, б) климата, в) растений и животных, г) возраста страны и отчасти д) рельефа» (Докучаев. Соч., т. VII, с. 136) и сформулированы законы географического распространения почв. Работами В. Н. Сукачева (1880—1967) были заложены основы новой научной дисциплины — биогеоценологии, объектом которой стали, по меткому выражению Н. В. Тимофеева-Ресовского (1980, с. 69), «элементарные биохорологические (иными словами, территориальные.—В. П.) единицы биосферы Земли...».

Этот список можно было бы продолжить, но достаточно заметить, что становление перечисленных концепций подрывало монополию методологических подходов, в центре которых стоял организм или вид. Интересы натуралистов: лесоведов, болотоведов, озероведов — сосредоточились вокруг жизнедеятельности *сообществ* организмов в конкретных условиях физико-географической среды, что дало мощный импульс развитию именно экологии.

Ряд эмпирических обобщений, впервые сформулированных или пропагандируемых в гениальном учении В. И. Вернадского о биосфере (1863—1945), относится непосредственно к области экологии. При этом уместно заметить, что они сформировались, несомненно, под могучим воздействием идей Докучаева, его «главнейших законов современного почвоведения».

Весьма знаменательно не только в научном, но и в этическом отношении публичное заявление самого Докучаева: «На днях проф. Вернадский получил поручение от Московского университета разобрать сочинения Ломоносова, и я с удивлением узнал от проф. Вернадского, что Ломоносов давно уже изложил в своих сочинениях ту теорию, за защиту которой я получил докторскую степень, и изложил, надо признаться, шире и более обобщающим образом. По его словам, бурый уголь, каменный уголь и чернозем — все это результаты влияния организмов на грунт» (Докучаев. Соч., т. VII, с. 280). Именно Вернадский с его беспредельной эрудицией мог найти и оценить такие сведения, но надо было быть Докучаевым, чтобы отреагировать на них с такой обезоруживающей прямотой.

В последние десятилетия быстрыми темпами развивается популяционная экология преимущественно животных (Шварц, 1969, 1980). Дать исчерпывающее определение популяции непросто, поскольку с позиций генетика, эколога, систематика, ботаника или зоолога в него вносятся свои акценты. Одно из новейших определений формулируется следующим образом: «Популяция — это достаточно многочисленная совокупность особей определенного вида, в течение длительного времени (большого числа поколений) населяющих определенный участок географического пространства, внутри которого практически осуществляется та или иная степень случайного свободного скрещивания, панмиксии, и нет заметных изоляционных барьеров» (Яблоков, 1980, с. 7). Связующим звеном между популяцией и биоценозом является ценопопуляция, представляющая собой совокупность особей данного вида, чаще всего часть популяции, вписывающуюся в рамки конкретного биоценоза. Эта рабочая категория предложена ботаниками Т. А. Работновым (1950) и А. А. Корчагиным (1964, 1966). К сожалению, ее возможности до сих пор недооцениваются, хотя вполне очевидно, что взаимодействия видов, на-

пример, в природе осуществляются на уровне именно ценопопуляций. Практически на уровне ценопопуляций проведено и большинство экспериментальных наблюдений, результаты которых можно возвести в ранг эмпирических обобщений, полезных для развития экологии в целом.

Популяционной экологией получено огромное количество ценного эмпирического материала, часть которого обобщили американские биологи Э. Пианка (1981) и О. и Д. Собриги (1982). Можно лишь сожалеть, что в этих сводках не нашли отражения многие, даже осно-вополагающие работы советских ученых.

Подробному анализу теоретической базы экологии посвящена следующая глава, в данном же контексте достаточно отметить, что аксиоматика экологии действительно существует, развивается и оперирует такими фундаментальными понятиями, как экосистема, биоценоз, популяция и т. д. Значит ли это, что они и являются специфическими объектами экологии? Думается, что нет. Перечисленные категории могут быть объектами самых разнообразных научных дисциплин, экологию же интересуют прежде всего *связи*, коммуникации и взаимодействия, с одной стороны, между особями в популяции, между популяциями в биоценозе, между биоценозами в каких-либо их территориальных объединениях, а с другой стороны, между живыми элементами каких-либо систем и окружающей их средой. Все чаще объектом экологии становятся *ситуации*, в которых оказываются живые природные системы, главным образом по воле человека.

Можно согласиться с утверждением, что «экология — наука будущего, и возможно, само существование человека на нашей планете будет зависеть от ее прогресса» (Дре, 1976, с. 10). Уместно напомнить замечательную мысль Вернадского, которая им неоднократно подчеркивалась: «В наше время рамки отдельной науки, на которые распадается научное знание, не могут точно определить область научной мысли исследователя, точно охарактеризовать его научную работу. Проблемы, которые его занимают, все чаще не укладываются в рамки отдельной, определенной, сложившейся науки. Мы специализируемся не по наукам, а по проблемам» (1977, с. 89).

Самое ценное в экологии — это ее междисциплинар-

ный подход к тем явлениям материальной действительности, в основе которых лежат биологические законы, но которые все чаще оказываются в сфере социальных, технологических, экономических, политических, юридических интересов. В этом преимущественно прикладном значении экологию и можно определить как систему междисциплинарных научных представлений из области биологии, существующую быть теоретической основой рационального природопользования и управления эволюцией биосфера. В этом смысле экологию можно определить еще и как часть или грань общенаучного диалектико-материалистического мировоззрения, обращенную к явлениям материально-энергетического взаимодействия между живыми и косными элементами природы, а также между природой и человечеством. Именно экологии в этом ее значении можно адресовать слова Ф. Энгельса: «Презрение к диалектике не остается безнаказанным. Сколько бы пренебрежения ни выказывать ко всякому теоретическому мышлению, все же без последнего невозможно связать между собой хотя бы два факта природы или уразуметь существующую между ними связь» (Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 382).

На практике проблематика экологии нередко полностью отождествляется с проблемой охраны природы. На самом же деле экология с последней соотносится примерно так же, как медицина с проблемами здравоохранения. Если рассматривать экологию как часть мировоззрения, как теоретическую основу стратегии и тактики человечества в ситуациях, связанных с любыми воздействиями на природную обстановку, то наиболее актуальными в прикладном значении представляются следующие проблемы:

1. На фоне развивающегося естествознания непрерывный синтез всех его достижений с целью выработки и совершенствования основополагающих теоретических концепций и принципов, раскрывающих законы жизнедеятельности и эволюции биологических систем надорганизменного уровня во взаимодействии с факторами внешней среды.

2. Оценка воздействия на структурно-функциональную организацию и динамику экосистем внешних факторов, связанных с различными аспектами хозяйственной деятельности и промышленного строительства.

3. Разработка теоретических основ конструирования устойчивых биоценозов с заданными свойствами.

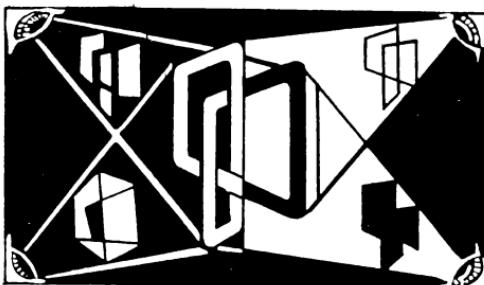
4. Разработка системы естественных биологических тестов, индикаторов и критериев, позволяющих оперативно следить за состоянием экосистем различного ранга и тенденциями в их динамике.

5. Разработка общих принципов, методов и технологии экологического надзора, экологической экспертизы и экологического прогнозирования как специализированных элементов государственного текущего и перспективного планирования.

6. Разработка принципов, методов и специализированных программ массового экологического просвещения.

Как показано коллективом авторов книги «Социализм и природа» (1982), социалистическая система природопользования располагает огромными потенциальными возможностями, но реализовать их можно, лишь сознательно вооружившись современными теоретическими представлениями о законах жизни.

В последующих главах нам придется пользоваться специальными терминами. Надежным пособием для массового читателя может служить «Словарь терминов и понятий, связанных с охраной природы», составленный Н. Ф. Реймерсом и А. В. Яблоковым (1982).



## НАБРОСОК СИСТЕМЫ ЭМПИРИЧЕСКИХ ОБОБЩЕНИЙ ЭКОЛОГИИ

Огромный личный опыт привел А. Эйштейна к утверждению: «Наднациональный характер понятий и научного языка вызван тем фактом, что они создавались лучшими умами всех стран и всех времен. В одиночестве и в конечном счете все-таки совместными усилиями они создали духовные орудия для технических революций, преобразовавших жизнь человечества в последние века. Их система понятий служила гидом в путаном хаосе восприятий, так что мы научились делать правильные общие выводы из частных наблюдений» (1966, с. 14). В экологии нет аксиом или постулатов, т. е. положений, принимаемых до опыта без доказательств. Напротив, положения, казалось бы, раз и навсегда доказанные, снова и снова становятся предметом оживленной дискуссии. Происходит это не от недостатка фактов, как может показаться на первый взгляд, а от слабости логической базы, от неупорядоченности в понимании и употреблении основополагающих специальных категорий, от пренебрежения необходимостью ориентирования «в путаном хаосе восприятий» с помощью эмпирических обобщений «миллиона миллионов» фактов.

Настоящая глава представляет собой по существу развернутое продолжение Введения. Здесь мы попытаемся свести в определенную систему некоторые эмпирические обобщения, которыми наиболее часто пользуется экология. В. И. Вернадский определяет эмпирическое обобщение следующим образом: «Научные эмпирические обобщения не выходят за пределы научных фактов и только на них основываются; они не вносят никаких новых представлений в науку, которые бы в фактах не заключались. Они выражают в понятиях те соотношения, которые логически вытекают из сопоставления фактов. Новое понятие, ими выявляемое, делается вид-

ным только при охвате большого числа фактов, и его принятие логически обязательно, не зависит от господствующих научных взглядов и теорий. Если научное эмпирическое обобщение становится в противоречие с теорией и подтверждается непрерывно при новом накоплении фактов, научная теория должна пасть или измениться, принять такую форму, которая не противоречила бы эмпирическому обобщению» (1975, с. 94). Главное требование к эмпирическому обобщению — чтобы оно было «точно выведено из фактов»: в этом случае оно не нуждается в проверке.

---

## 1. Уровни организации экосистем

Чрезвычайно содержательный критический анализ и позитивный синтез понятийного (категориального) аппарата естествознания в рамках «Общей теории Земли», или геономии, проделал И. В. Круть (1978). В заключительной части своей книги он особо выделяет экологию, определив как ее сверхзадачу «построение общей экологической теории, которая явится синтезом разнородного научного знания (с центральной геокомпонентой), причем в беспрецедентном для специальных наук масштабе и виде» (с. 346). Показав, что геономия и экология по предмету исследования взаимопересекаются, И. В. Круть утверждает: «Надсистемой экологии как науки является не геономия, или биология, или социология, а научная картина мира. Причем экология не просто субординированный компонент научной картины мира, а как бы пронизывающий ее ствол с многочисленными разветвлениями» (с. 349). И далее: «Наиболее актуальным остается узел взаимопересечения геономии и экологии. Наличие общего объектного и предметного поля этих наук делает геономию мало кому нужной без экологии, а экологию почти бессодержательной и уж во всяком случае неэффективной без геономии. И осознание этого обстоятельства может оказаться решающим для судьбы наук о Земле и для самой Земли» (с. 351).

Б. С. Соколов и С. В. Мейсен в Послесловии к книге И. В. Крутя отмечают высокий уровень формализации представлений в биологии по сравнению, например, с

геологией и географией и в свою очередь заключают, что «общая теория Земли должна войти составной частью в глобальную экологию».

Наиболее полные схемы физической, геотектонической, географической и стратиграфической организации Земли построены И. В. Крутем (1978). Он же и соотнес их в единой субординационной системе геосфер. Биосфера в этой системе занимает весьма скромное место в пределах географической оболочки. «Наличие биовещества и биогевещества,— отмечает он,— характерно для географической оболочки, но не обязательно для нее» (с. 289). Как известно, биосфера у В. И. Вернадского имеет только одно расширенное толкование— как наружная оболочка Земли, в которой жизнь во всех ее (в том числе и ретроспективных) проявлениях играет основополагающую роль, и в этом смысле она выходит за рамки собственно географической оболочки, совпадая с рангом парагеографической сферы. Последователи Вернадского нередко чрезвычайно ограничивают понятие биосферы, отождествляя ее с «живым веществом» Земли. Именно в этом смысле в неявной форме понимает биосферу и И. В. Круть, хотя в его стратиграфической таксономии биогеостратонам и биостратонам отведено значительное место.

Такое положение не может удовлетворить эколога, тем более что сам И. В. Круть, как можно судить из его цитированных выше высказываний, ждет именно от экологии «синтеза разнородного научного знания... в беспрецедентном... масштабе и виде». По-видимому, такой синтез осуществим в рамках учения об экологической организации Земли или глобальной экологии, в которой биосфера Земли рассматривалась бы как экосистема высшего порядка, как высший уровень экологической интеграции. Замечательно, что каркас этого учения уже создан Вернадским, определившим функции живого вещества биосферы.

Советский геолог А. В. Лапо (1979) удачно преобразовал формулировки Вернадского и определил основные функции живого вещества биосферы в следующем виде (табл. 1). Как видим, энергетическая функция биосферы совершенно справедливо стоит здесь на первом месте.

Фундаментальным общенаучным эмпириическим общением Вернадского являются его представления об

/Таблица 1

**Основные функции живого вещества биосфера**  
 (по А. В. Лапо, 1979, с. 65)

№ п/п	Функции	Краткая характеристика происходящих процессов
1	Энергетическая	Поглощение солнечной энергии при фотосинтезе, а химической энергии — путем разложения энергонасыщенных веществ; передача энергии по пищевой цепи разнородного живого вещества
2	Концентрационная	Избирательное накопление в ходе жизнедеятельности определенных видов веществ: а) используемых для построения тела организма; б) удаляемых из него при метаболизме
3	Деструктивная	1) Минерализация необиогенного органического вещества; 2) разложение неживого неорганического вещества; 3) вовлечение образовавшихся веществ в биологический круговорот
4	Средообразующая	Преобразование физико-химических параметров среды (главным образом за счет необиогенного вещества)
5	Транспортная	Перенос вещества против градиента силы тяжести и в горизонтальном направлении

эволюции биосферы. Прямые и косвенные продукты жизнедеятельности «былых биосфер» Вернадского, или палеобиосфер, спрессованы в осадочной оболочке Земли и образуют собой так называемую метабиосферу. Современная биосфера в состав метабиосферы не входит. Будущее состояние биосферы Вернадским вслед за французскими учеными Э. Леруа и Тейяром де Шарденом именуется ноосферой. Многие, понимая ноосферу буквально как «сферу разума», относят ее к надвещественному, духовному миру и считают «модные ныне спеекуляции с понятием ноосферы бессмысленными» (*Крутъ*,

1978, с. 347). Но сам Вернадский видел в ноосфере «такого рода состояние, в котором должны проявляться разум и направляемая им работа человека как новая, небывалая геологическая сила» (1977, с. 150). Характерно, что фундаментальным признаком перехода биосферы в ноосферу Вернадский считал прежде всего именно энергетические параметры человеческой деятельности. «Можно считать,— писал он,— что в пределах 5—7 тыс. лет, все увеличиваясь в темпах, идет непрерывное создание ноосферы и прочно — в основном без движения назад, с остановками, все уменьшающимися в длительности,— идет рост культурной биогеохимической энергии человечества» (с. 108); или: «Эта новая форма биогеохимической энергии, которую можно назвать энергией человеческой культуры или культурной биогеохимической энергией, является той формой биогеохимической энергии, которая создает в настоящее время ноосферу» (с. 95). Итак, по Вернадскому, ноосфера есть «сфера разума», но включающая вполне конкретные материально-энергетические продукты и последствия разумной деятельности. Человечество в этой концепции рассматривается как организующий, структурно-функциональный элемент ноосферы.

Для обозначения текущего, переходного состояния биосферы ее именуют иногда экосферой — «антропогенно искаженной биогеосферой» (см.: Крутъ, 1978, с. 346); сферу материальной деятельности человечества обозначают понятием «техносфера», а сферу материальной и духовной культуры — понятием «социосфера». Все эти рабочие категории могут быть полезны лишь с учетом следующих эмпирических обобщений Вернадского: «1. Человек, как он наблюдается в природе, как и все живые организмы, как всякое живое вещество, есть определенная функция биосферы, в определенном ее пространстве-времени. 2. Человек во всех его проявлениях составляет определенную закономерную часть строения биосферы. 3. «Взрыв» научной мысли в XX столетии подготовлен всем прошлым биосферы и имеет глубочайшие корни в ее строении... Цивилизация «культурного человечества» — поскольку она является формой организации новой геологической силы, создавшейся в биосфере,— не может прерваться и уничтожиться, так как это есть большое природное явление, отвечающее исторически, вернее, геологически сложившейся организо-

ванности биосферы. Образуя ноосферу, она всеми корнями связывается с этой земной оболочкой, чего раньше в истории человечества в сколько-нибудь сравнимой мере не было» (1977, с. 32—33).

В строении биосферы следует выделять по крайней мере геохимический, геофизический, геологический, географический и экологический (биогеоценологический) пространственно-временные аспекты. Биосфера структурирована во всех этих отношениях, но исчерпывающее представление о строении биосферы требует беспрецедентного синтеза, который не входит в нашу задачу. Достаточно очевидно, что для этого должны быть мобилизованы и учение о географических зонах В. В. Докучаева, и «биогеохимические принципы» В. И. Вернадского, и концепции новейшей глобальной тектоники, и современное ландшафтovedение в полном его объеме, и данные океанологии, климатологии и палеонтологии, и конечно же результаты биогеоценологического подхода к изучению природы жизни.

Центральной фигурой подчиненного по отношению к биосферному уровню биологической организации является биогеоценоз или экосистема биогеоценологического порядка. О соотношении этих двух категорий достаточно сказано во Введении. Здесь же уместно напомнить одно из наиболее поздних и полных определений В. Н. Сукачева: «Биогеоценоз — это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, гидрологических условий, растительности, животного мира, мира микробов, организмов и почвы). Эта совокупность имеет свою особую специфику взаимодействий слагающих ее компонентов, свою особую структуру и определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и с другими явлениями природы. Это приводит к тому, что каждый тип биогеоценоза имеет свой особый баланс световой и тепловой энергии и неорганического и органического вещества. В то же время биогеоценоз представляет собой внутренне противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении, развитии, изменении» (Программа и методика биогеоценологических исследований, 1966, с. 14). Н. В. Тимофеев-Ресовский, Н. Н. Воронцов и А. В. Яблоков (1977) поясняют: «Биогеоценоз представляет собой незамкнутую систему, характеризующуюся стабильностью структуры во врем-

мени и пространстве, имеющую вещественно-энергетические «входы» и «выходы», связывающие между собой смежные биогеоценозы в цепи, объединяемые стоком в широком смысле этого понятия» (с. 22).

Живое вещество биогеоценоза объединяется понятием «биоценоз» (фитоценоз+зооценоз+микробоценоз). Разумной основой для пространственно-временного выделения или ограничения биоценозов (и биогеоценозов) суши на практике является фитоценоз, т. е. растительный компонент биоценоза, который служит также своего рода базисом для всех прочих компонентов, осуществляя в процессе своей жизнедеятельности прямую трансформацию солнечной энергии. В составе фитоценоза в свою очередь выделяются 1—3 вида доминирующих растений, которые и определяют его внешний облик, строение и динамику. По вполне очевидным техническим соображениям нельзя согласиться с Г. В. Гегамяном (1980), не без оснований предлагающим устанавливать границы биогеоценоза по микробоценозу.

Неживая (косная) часть биогеоценоза, т. е. внешняя среда биоценоза, обозначается близкими понятиями «биотоп», «биоценотоп» и «экотоп», в свою очередь имеющими ряд подразделений.

В развитии биогеоценологии уверенно лидирует лесоведение в огромной степени благодаря выдающемуся ботанику и географу, создателю «Учения о лесе» Г. Ф. Морозову (1867—1920). Удивительно современно звучит, например, следующее его обобщение: «...лес как стихия, как географический индивидуум есть часть земной поверхности, покрытая общественно растущими деревесными растениями или лесными сообществами, жизнь и форма которых находится в закономерной и гармонической связи со свойствами занятой земной поверхности (под последней разумеется и прилегающая атмосферная оболочка, а формы вмешательства человека сами подчинены географической закономерности)» (цит. по А. Г. Воронову, 1963, с. 13).

Специфика морских биоценозов специально для экологов, изучающих «неморские среды обитания», освещена К. В. Беклемишевым (1973).

Между уровнем биогеоценоза и уровнем биосфера лежит обширная область экологических явлений, исследованных как теоретически, так и практически лишь в весьма незначительной степени. Наиболее актуальны

проблемы материально-энергетических взаимодействий между смежными биогеоценозами и объединениями биогеоценозов различной таксономической принадлежности. Исследования в этом направлении предприняты Ю. П. Бялловичем (1973а, 1973б) и Н. В. Дылисом (1973). Все более полезным в этой связи становится подразделение биогеоценозов по характеру поведения в них вещества и энергии, например на транзитные, аккумулятивные и «независимые» (автономные). Смысл этих определений раскрывается в полной мере, если в качестве аккумулятивного биогеоценоза представить себе низовое болото, а в качестве транзитного — проточное озеро.

Единицей следующего уровня биологической организации является популяция. На этом уровне пересекаются интересы очень многих научных биологических дисциплин, а поэтому в понимании популяции различными специалистами до сих пор царит пестрота. Именно на уровне популяции наиболее очевидно расходятся взгляды между ботаниками и зоологами. Прежде всего следует подчеркнуть, что популяционные аспекты биологии до сих пор развивались преимущественно зоологами: им же и принадлежит большинство формулировок и эмпирических обобщений в этой области.

Наивно было бы искать действительно универсальное и общепринятое определение популяции, обращаясь даже к самым общепризнанным авторитетам. Приведенное во Введении определение популяции принадлежит зоологу (Яблоков, 1980) и с генетико-эволюционной точки зрения может считаться безупречным, но геоботаника, например, такая трактовка не может удовлетворить по некоторым причинам. Прежде всего популяция для ботаника является чаще всего слишком грандиозным пространственно-временным объектом. Именно для таких объектов зоологом В. Н. Беклемишевым (1960) предложен термин «суперпопуляция», обозначающий всякую популяцию, непрерывно населяющую настолько обширную территорию, что сами размеры этой территории препятствуют взаимодействию удаленных друг от друга ее частей. Громадными суперпопуляциями видов на территории северной части Евразиатского материка представлены, например, ель, пихта, сосна, бересклет и осина. Далее, в связи с разнообразием способов размножения у растений у ботаника непременно вызо-

вет возражение понимание популяции как группы особей, размножающихся половым путем и таким образом свободно между собой скрещивающихся. Наконец, миграционное поведение многих видов животных у геоботаника, привыкшего иметь дело с территориально-устойчивыми природными комплексами, порождает массу практических затруднений при выделении популяций. Все перечисленные обстоятельства на практике приводят к досадному непониманию между биологами разного профиля, что неизбежно ослабляет позиции естествознания в целом.

По-видимому, соображения подобного рода заставили американского генетика-эволюциониста Э. Майра (1974) ввести термин «локальная популяция» для обозначения сообществ, «способных к скрещиванию особей, обитающих в определенной местности...» (с. 97). Но расплывчатость понятия «определенная местность» вместе с непременным требованием «свободно осуществляющейся панмиксии» опять настораживают ботаника. Громадную работу в этом направлении проделал В. Н. Сукачев. Его концепция биогеоценоза как раз и призвана объединить теоретические усилия ботаника, почвоведа и зоолога применительно к запросам экологии.

Во Введении уже упоминалось, что ботаниками Т. А. Работновым (1950) и А. А. Корчагиным (1964, 1966) предложено понятие о ценопопуляции как совокупности особей одного вида, вписывающейся в границы конкретного биоценоза. Большое внимание пропаганде этой ясной и продуктивной концепции уделил Б. А. Быков (1970). Совокупность ценопопуляций растений на одном и том же участке и образует фитоценоз, а совокупность смежных ценопопуляций одного вида образует популяцию. Разумеется, эти положения относятся в первую очередь к ботаническим объектам, но их без особых оговорок можно адресовать и к неподвижным или малоподвижным формам животных. С подвижными и кочующими животными сложнее: в разное время они могут быть элементами различных и даже не соприкасающихся между собой биогеоценозов либо еще более крупных ландшафтно-географических объединений (типа уроцищ, фаций, провинций, районов и т. п.).

Возвращаясь к уровню биогеоценоза, следует заметить, что граница биогеоценоза представляет собой

мембрану биогеоценотического или экосистемного порядка. Как всякая мембрана, эта граница для некоторых организмов, веществ и даже физических полей является непреодолимой преградой; другие организмы и вещества могут свободно перемещаться через нее в прямом и противоположном направлениях; для третьих она проникает только в каком-то одном направлении. В любом случае представление о ценопопуляции полезно. В сущности по ценопопуляции доминирующего (эдификаторного) вида растений мы и устанавливаем на практике границы биогеоценозов. Иногда популяция и ценопопуляция совпадают по объему. Такие ситуации чрезвычайно интересны для исследования с самых разнообразных точек зрения. Весьма примечательно, что экспериментальные популяции организмов, будь то в пробирке, в чашке Петри, в вольере или на грядке, по своему содержанию в большинстве случаев вполне соответствуют уровню именно ценопопуляции, о чем экспериментаторы нередко забывают. На уровне ценопопуляций осуществляются разнообразные взаимодействия между видами.

Обсуждая вопросы ценопопуляций, мы подошли к элементам членения биоценозов, причем членения уже не территориального, а структурно-функционального порядка. Разумеется, большинство как естественных, так и культурных биогеоценозов в территориальном отношении весьма неоднородны. В них почти всегда можно найти элементы мозаичности, фрагментарности и комплексности: геоботаники, например, уделяют этим аспектам характеристики фитоценозов очень большое внимание. По мере углубления исследований структурно-функциональной организации биоценозов интерес к внутриценозным объединениям организмов будет неуклонно возрастать, однако биоценоз, как нечто территориально целостное в его взаимодействии с косной средой и смежными биоценозами и обладающее своей внутренней биогеоценотической средой, останется центральным звеном как в теоретических построениях, так и во всевозможных практических исследованиях.

---

## 2. Общие принципы субординации эмпирических обобщений экологии

Экосистема любого порядка может быть охарактеризована бесконечным числом признаков. Вполне очевидно, что необходимо как-то ориентироваться в этом многообразии и концентрировать внимание в первую очередь на тех признаках, которые существенны для понимания общих закономерностей жизнедеятельности экосистем. В ранг эмпирического обобщения методологического порядка можно возвести замечание Ю. Одума (1975), что «ориентировочные ответы и предсказания относительно существенных моментов в конечном итоге важнее точного знания несущественных деталей» (с. 360).

В предыдущем разделе были рассмотрены основные объекты, с которыми имеет дело экология. Здесь полезно обсудить, какие признаки перечисленных объектов имеют наибольшее значение, какие особенности экосистем следует выделять в первую очередь в «путаном хаосе восприятий».

Когда речь идет о чем-либо созданном человеком, то в первую очередь принято определять основное назначение такого предмета, т. е. его основную функцию по отношению к потребностям человека. Все прочие особенности предмета так или иначе подчинены этой основной функции и, более того, должны способствовать оптимальному осуществлению этой функции. Живые системы любого ранга также имеют определенную функциональную природу. На уровне организмов, например, довольно сложно определить функции отдельных органов, физиологических систем и тканей. Значительно сложнее определить функции самих организмов.

На любой живой системе можно убедиться, что ее природа полифункциональна, а сами функции иерархичны. Например, анализируя функциональную природу лесных сообществ (древостоев), для них можно выделить функции органические, которые обеспечивают нормальную физиологическую жизнедеятельность древостоев. Далее можно выделить функции специфические, которые необязательны для жизнедеятельности самого

древостоя, но имеют значение либо для человека, либо для смежных биоценозов (эстетическая, рекреационная, водоохранная и т. п.). Органические и специфические функции в свою очередь можно подразделить на общие и частные: первые выполняет весь древостой в целом, а вторые (например, семяношение) — лишь определенная категория деревьев. Наконец, могут быть простые, далее неделимые функции и функции сложные, разложимые на ряд смежных и соподчиненных (Плотников, 1974). В центре учения В. И. Вернадского лежат представления о геохимических функциях биосферы, которые можно субординировать аналогичным образом.

Из бесконечного множества признаков экосистем любого ранга в первую очередь следует выяснить особенности и признаки, имеющие отношение к функциональной организации. В первую очередь требуют эмпирического обобщения факты и представления, связанные с функциями экосистем.

Функциональные аспекты характеристики экосистем чаще всего скрыты в толще внешних особенностей, которые принято называть структурными. Диалектическое единство между структурой и функцией, несколько осложненное лишь тем обстоятельством, что одной и той же функции могут соответствовать самые разнообразные структуры, а одна и та же структура обычно соответствует нескольким (даже независимым) функциям, позволяет говорить о структурно-функциональной организации экосистем как их основополагающем атрибуте. В тех многочисленных случаях, когда о функции того или иного элемента экосистемы почти ничего не известно, приходится довольствоваться представлениями исключительно о структурном состоянии такого элемента в системе. Оптимизировать ту или иную функцию экосистемы можно только путем воздействия на ее структуру. Все это заставляет с особым вниманием относиться к области эмпирических обобщений естествознания, охватывающей структурные особенности биологических макросистем. Наконец, как структурные, так и функциональные свойства экосистем могут рассматриваться в статике и в динамике.

Таким образом, «обобщение» эмпирических обобщений экологии можно провести по следующей схеме: отдельно для биосферного, биогеоценологического и популяционного (ценопопуляционного) уровней интеграции

экосистем следует рассмотреть хотя бы наиболее известные обобщения статического структурного, динамического структурного, статического функционального и динамического функционального порядков. Разумеется, по мере развития общих представлений и накопления фактов появятся обобщения ноосферного порядка, а также уровней, промежуточных между биосферным, биогеоценоологическим и ценопопуляционным. Некоторые обобщения со временем могут быть выражены в количественной форме, а другие останутся чисто качественными. Наконец, сами обобщения, непрерывно корректируясь и уточняясь, «обрастут» следствиями, все более очевидными будут пробелы в наших знаниях, а некоторые из них, очевидно, заполнятся сугубо дедуктивным путем... Заманчивые перспективы... А пока наша попытка координации обобщений является первой, рекогносцировочной и должна вызвать ряд конструктивных возражений. К области эмпирических обобщений методологического порядка принадлежит и весь понятийный аппарат, которым мы оперировали в предыдущих разделах.

---

### 3. Эмпирические обобщения биосферного уровня

Биосфера, как атом, Вселенная или ген, недоступна непосредственному восприятию наблюдателя, однако в ее реальности никто не сомневается. Эмпирические данные о биосфере накапливаются географией, биологией, геологией и палеонтологией. Мощным средством познания биосферы и синтеза представлений перечисленных научных отраслей на наших глазах становятся космические исследования. Надо полагать, что именно в этой области в самые ближайшие годы и будут сделаны наиболее важные открытия.

Первым в историческом плане эмпирическим обобщением биосферного уровня, вероятно, следует считать принцип географической зональности. Другие обобщения, относящиеся к структурному состоянию биосферы, так или иначе касаются ее динамических особенностей. Их формулировки принадлежат В. И. Вернадскому (1975, с. 71—72):

1. «Никогда в течение всех известных геологических периодов не было никаких следов abiogenеза, т. е. непосредственного создания живого организма из мертвой, косной материи».

2. «Никогда в течение всего геологического времени не наблюдались азойные, т. е. лишенные жизни, геологические эпохи».

3. «Отсюда следует, что, во-первых, современное живое вещество генетически связано с живым веществом всех прошлых геологических эпох и что, во-вторых, в течение всего этого времени условия земной среды были доступны для его существования, т. е. непрерывно были близки к современным».

4. «В течение всего этого геологического времени не было резкого изменения в какую-либо сторону в химическом влиянии живого вещества на окружающую его среду; все время на земной поверхности шли те же процессы выветривания, т. е. в общем наблюдался тот же средний химический состав живого вещества в земной коре, какой мы и ныне наблюдаем».

5. «Из неизменности процессов выветривания вытекает и неизменность количества атомов, захваченных жизнью, т. е. не было больших изменений в количестве живого вещества».

Можно оспаривать, в частности, последнее обобщение Вернадского, но в целом, особенно в свете понимания экологии как «научной основы управления живым покровом Земли», все перечисленные обобщения следуют адресовать в первую очередь именно ей.

Здесь же следует упомянуть и «постулаты палеэкологии» по Ю. Одуму (1975): 1) в различные геологические периоды действовали одни и те же экологические принципы; 2) об экологии ископаемых организмов можно судить на основании того, что известно об эквивалентных им или родственных современных видах.

Как мы уже отмечали, обобщение В. И. Вернадского «о неизменности количества атомов, захваченных жизнью» представляется сомнительным. Что касается неадекватности симметрии и пространства-времени в живой и неживой природе, подчеркиваемой Вернадским, то эти аспекты требуют еще самостоятельного исследования и осмысления. В этой связи уместно напомнить афоризм немецкого математика Г. Вейля (1968): «Прошлое может быть познано, но его нельзя изменить, бу-

дущее неизвестно, но его можно изменять решениями, принимаемыми в данный момент» (с. 55). Это положение можно считать «девизом» любого вида научного прогнозирования.

Функциональные особенности живого вещества биосферы исчерпывающим образом обобщены Вернадским (см. табл. 1), но отождествление биосфера с ее живым веществом является грубой ошибкой, хотя до сих пор весьма распространено. Сам Вернадский неоднократно пытался определить органичную функцию биосферы, т. е. такую функцию, которая свойственна именно биосфере в целом, а не только ее живому веществу. Ближе всего к подобному определению стоит следующее обобщение Вернадского: «В чем бы явления жизни ни состояли, энергия, выделяемая организмами, есть в главной своей части, а может быть и целиком, лучистая энергия Солнца. Через посредство организмов она регулирует химические проявления земной коры» (1975, с. 72). Далее Вернадский дополняет, что «кроме солнечной энергии организм использует атомную энергию радиоактивных элементов» (там же). Опираясь на это и предыдущие обобщения, органичную функцию биосферы в целом можно определить следующим образом: функцией биосферы является осуществление устойчивого и непрерывного материально-энергетического взаимодействия между физическими оболочками Земли и прилегающим космическим пространством. Разумеется, это рабочее определение не претендует на исчерпывающее освещение функциональной природы биосферы, его следует всячески конкретизировать, расширять и дополнять, особенно в связи с разнообразной деятельностью человека.

Серьезной заявкой, своего рода «заказом» на эмпирическое обобщение биосферного уровня и функционального порядка является замечание Ю. Одума (1975): «...следует решить, представляет ли собой разнообразие только «приправу» к жизни, или оно необходимо для долгой жизни всей экосистемы, в которую входят и человек, и природа» (с. 331). По-видимому, накоплено достаточно фактов, позволяющих утверждать, что биологическое разнообразие является отнюдь не «приправой», а первым и важнейшим условием, обеспечивающим устойчивость биологических и биокосных систем любого ранга. Характерно, что сам Одум приводит в пользу

этого обстоятельства более чем достаточно доказательств (см. следующий раздел).

Переход биосферы в новую стадию ее эволюции, в новое качественное состояние, именуемое ноосферой, когда все большая часть функции управления природными процессами «узурпируется» человеком, требует ясного понимания по крайней мере следующих, на наш взгляд, наиболее актуальных моментов:

1. Какие структурные элементы биосфера несли функцию управления ее эволюцией на протяжении последних трех миллиардов лет, т. е. до появления на «арене жизни» человека?

2. Как соотносятся и координируются между собой эволюция морфоанатомических и физиологических структур организмов, эволюция структурно-функциональной организации сообществ (биоценозов) и эволюция биосферы?

3. Каковы пределы устойчивости (толерантности, резистентности) биосферы на фоне современных технических возможностей человека? Какие системы наиболее уязвимы и какие мероприятия необходимы для их сохранения?

Единая в своих глобальных метаболических направлениях, биосфера поделена территориально самым привидливым образом государственными границами и политическими барьерами. Хозяйство в этих отдельных «клеточках» ведется по-разному. В международной практике возникает все больше проблем, когда мероприятия одного государства весьма ощутимым и пагубным образом отражаются на природной, а затем и экономической обстановке соседних государств (Чичварин, 1970). На всесоюзной школе «Программа и методы биогеоценологических исследований (динамика биогеоценозов)» в декабре 1982 г. весьма внушительно прозвучало замечание биоматематика Ю. М. Свирижева, в котором в приблизительной трактовке утверждалось следующее: для полной компенсации экологического ущерба, причиняемого неграмотным природопользованием страны в одной части водосборного бассейна пограничной реки, смежная страна должна обладать на порядок величин более мощным технико-экономическим потенциалом. В этих условиях особый вес приобретает международное сотрудничество в рамках международных научных программ типа межправительственной междисциплинарной

программы научных исследований «Человек и биосфера», существующих не только разработать, но и донести до сознания людей теоретические основы учения о биосфере. В этой связи весьма знаменательно заявление секретаря Международного координационного комитета программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера», известного эколога Франческо ди Кастро: «Термин «биосфера», предложенный в 1926 г. советским ученым В. И. Вернадским — первопроходцем в этой области, работы которого до сих пор поразительно современны в целом ряде аспектов, указывает конечную цель экологии» (1981, с. 10).

---

#### 4. Методологические проблемы прикладной экологии

Современная экология получила своего рода общественный заказ: не только следить за изменениями в биокосных системах Земли, но и вырабатывать рекомендации по управлению этими изменениями. Так родилась потребность выделить в рамках собственно фундаментальной или общей экологии сугубо прикладные аспекты, а поскольку они обращены главным образом к инженерно-технической деятельности, то и объединить их понятием «инженерная (или прикладная) экология». Аналогичным образом в геологии, например, давно уже выделилась и самостоятельно оформилась инженерная геология.

Предметом инженерной (или прикладной) экологии являются чаще всего не природные объекты сами по себе и не процессы, которые в них протекают, а ситуации, в которых оказываются эти объекты, и процессы в связи с общественными потребностями и тенденциями, обусловленными научно-техническим прогрессом. Категория «ситуация» все более заслуживает статуса общенаучной, методологической, философской наряду с такими категориями, как «движение», «состояние», «изменение», «развитие», и в этом смысле требует своего формально-логического и диалектико-материалистического истолкования. Цель инженерной экологии — применять к запросам инженерной промышленной и аграрной практики постулаты общей биологии и естеств-

вознания в целом, а также способствовать выработке таковых применительно к конкретным научно-техническим народнохозяйственным ситуациям, в которых объектом воздействия оказываются природные экосистемы.

Как следует из определений, инженерная экология во всех своих научных построениях должна исходить не только из естественноисторических, но и из общественно-политических, технико-экономических и даже этических предпосылок, и в этом ее специфическая особенность. Следуя за общественно-политическими предпосылками, инженерная экология не может абстрагироваться от разделения мира на две общественно-политические системы, и в этом смысле она имеет такие же классово-политические различия, как экономика и социология. Вполне очевидно, что в условиях социалистической системы инженерная экология должна способствовать реализации известных преимуществ плановой социалистической системы хозяйствования применительно к проблемам природопользования. Действительно, социалистическая и капиталистическая системы зачастую сталкиваются с одними и теми же экологическими проблемами, связанными с научно-технической революцией, урбанизацией, истощением природных ресурсов и т. д.; нередко возникают сходные ситуации, но различия между двумя системами неустранимы, а потому и прикладные экологические задачи в них решаются разными методами. Именно эти фундаментальные различия имел в виду С. С. Шварц, когда сетовал на отсутствие теории, «описывающей общие закономерности взаимоотношений природы и общества, именно общества — как определенной социально-экономической системы,— а не отдельного человека, теории, учитывающей принципиальные изменения этих взаимоотношений в различных социально-экономических системах» (1976, с. 88).

Обсуждая методологические проблемы современной экологии, А. М. Гиляров (1981) выделяет в ней три направления: аутоэкологический редукционизм, синэкологический редукционизм, а также синэкологический интегратизм. Суть редукционизма вообще состоит в разложении явления на отдельные элементы или явления более низкого уровня. Соответственно аутоэкологический редукционизм обозначает подход, в котором изучается воздействие отдельных абиотических факто-

ров (а не среды в целом) на те или иные элементы живых систем в природной обстановке. В центре внимания синэкологического редукционизма стоит анализ значения отдельных биотических факторов для жизнедеятельности отдельных элементов экосистем. Интегратизм вообще предполагает синтетическую оценку воздействия всех факторов (и биотических, и абиотических) на экосистему, а не на ее отдельные, пусть даже и доминирующие, структурные элементы. На практике проводится пока лишь синэкологический интегратизм, а доминирует, да и то со сравнительно недавнего времени, лишь синэкологический редукционизм.

Однако в инженерной экологии сама постановка большинства задач требует развития четвертого методологического направления, а именно аутоэкологического интегратизма. Действительно, в типичной постановке вопрос обычно звучит следующим образом: «А что будет, если?..» Иными словами, каковы могут быть экологические последствия определенного социально-экономического мероприятия или осуществления той или иной технической идеи? Таким мероприятием может быть сооружение дамбы, направляющей течение Гольфстрим вдоль Северной Америки. Таким мероприятием может быть и прокладка сверхмощной ЛЭП, пересекающей Евразию. Но таким же мероприятием может быть и просто строительство сельского пруда. В любом случае воздействие на экосистемы будет осуществляться прежде всего через абиотические факторы, а оценка последствий должна быть синтетической и, более того, выраженной в экономических показателях. Только при последнем условии можно действительно повлиять на ход событий, предлагая какие-то оптимальные варианты решений.

Именно экологии в прикладном ее значении можно адресовать замечание Франческо ди Кастро (1981): «...она должна отдать предпочтение действию, а не проповедям и учиться на практике; и самое главное, она должна прекратить быть негативной наукой (нет загрязнению, нет вырубке лесов, нет промышленному развитию, нет интенсивному земледелию) и стать наукой, которая предлагает реалистические и конкретные альтернативные решения проблем развития. Сила экологии — в ее способности ухватить самую суть реальных проблем современности; сохранять гибкость и приспособ-

ляемость, чтобы не отступать перед лицом будущих ситуаций, которые невозможно сейчас предвидеть» (с. 11).

Каковы же специфические подходы и методы инженерной экологии в решении столь ответственных задач? Таких подходов и методов, своего рода базисных уровней представлений, несколько.

Прежде всего понять настоящее и предвидеть будущее экосистем можно лишь на основе достаточно ясного представления об их эволюционном прошлом, об естественных тенденциях в их развитии. Иными словами, в первую очередь общая экология должна извлечь из палеонтологии, исторической геологии и палеографии все возможное для суждения об эволюции структурно-функциональной организации биосферы, биогеоценозов и популяций. Это будет так называемый палеоэкологический исходный уровень представлений. Пока в этом направлении сделаны лишь первые шаги (Шварц, 1969, 1973, 1980; Красилов, 1972; Камшилов, 1974; Плотников, 1979), однако основную проблему эволюционной экологии (биогеоценологии) можно сформулировать достаточно четко: это — объяснение прошлого, управление настоящим и предвидение будущего биогеоценотического покрова Земли и отдельных ее частей.

Второй путь подсказан более 100 лет назад Ф. Энгельсом в «Дialectике природы»: он должен быть основан на экологически грамотном переосмыслении исторического опыта человечества и причин гибели многих могущественных цивилизаций прошлого. Это будет исторический уровень исходных представлений.

Наконец, третий путь можно с полным основанием считать экспериментальным. Речь идет не о лабораторных опытах — на грядках, в чашках Петри, в пробирках и т. д., хотя и без этого в большинстве конкретных ситуаций не обойтись. В последние десятилетия с помощью технических средств осуществлены действительно грандиозные мероприятия: сооружены водохранилища, каналы, ЛЭП, газопроводы; запущены на околоземные и космические орбиты корабли и спутники и т. д. Именно «снятие» готовых результатов этих «экспериментов», прогноз экологических последствий предполагаемых и планируемых (!) «экспериментов», оценка достоверности и точности экологического прогноза и последующая корректировка исходных теоретических

предпосылок — все это и может быть системой специфических именно для инженерной экологии методов. Прогноз здесь выступает не столько как самоцель, сколько как средство исследования объективной действительности. При этом напрашивается определенная аналогия между инженерной экологией и патологоанатомией. Хотим мы этого или не хотим, но нам все чаще придется сталкиваться с фактами преждевременной гибели, а точнее, непредвиденного видоизменения естественных экосистем, когда для объяснения причин явлений требуется своего рода «посмертное вскрытие» исходной экосистемы. Так не лучше ли сознательно вооружиться и этим методом, как это сделано в медицине?

Технике экологического моделирования посвящено немало работ (см., например, монографию Дж. Д. Смита, 1976; а также сборники «Математическое моделирование в экологии», 1978, и «Моделирование биогеоценотических процессов», 1981), но все-таки она пребывает еще в зачаточном состоянии: анализируются, как правило, элементарные или, напротив, предельно генерализованные ситуации. Остается надеяться, что теоретическая экология постепенно выработает достаточно формализованные доктрины, отвечающие запросам инженерной действительности.

Весьма актуальной для прикладной экологии становится самостоятельная разработка теоретических концепций, в которых бы так называемые техногенные факторы (электромагнитные поля промышленной частоты, а также акустического и радиодиапазона, радиация, загрязнение, подтопление, осушение, дробление экосистем и т. д.) рассматривались на таком же уровне, как классические экологические факторы (свет, тепло и влага). Имея достаточное представление о круговороте воды в природе, мы должны иметь аналогичное представление, например, о потоках в земных оболочках промышленных электромагнитных полей (ЭМП). А если мы имеем достаточное представление о климатической зональности, так должны иметь и аналогичное представление о проявлениях географической зональности в медико-биологических воздействиях ЭМП. Нам нужны концепции, в которых бы оценивалось в интегральных показателях (энергия, продуктивность и т. п.) значение, например, не просто степени водообеспеченности биогеоценоза, а параметров стока (в экосистему, из экоси-

стемы и через экосистему). Одновременно мы должны уметь объединять смежные биогеоценозы в более или менее целостные и замкнутые макросистемы. По существу нам надо научиться проделывать над характеристиками смежных биогеоценозов по крайней мере четыре действия арифметики (сложение, вычитание, умножение, деление).

Инженер, природопользователь вообще имеют дело, как правило, не с отдельным ценозом, а с самыми причудливыми территориальными объединениями ценозов. «Монополия ценоза» в данной ситуации столь же вредна, как и «монополия организма». Естественным объединением биоценозов, например, является экосистема водосборного речного бассейна. Детальный анализ взаимодействий между биоценозами в системе бассейна р. Хадытаяха (Южный Ямал) позволил выделить более 20 (!) типов только парных сочетаний биоценозов (лес с лугом, болото с лесом, озеро с тундрой и т. д.). В результате была построена логическая модель системы биоценозов, консолидируемых в единое целое стоком, транзитом и аккумуляцией воды, тепла, а также минерального и органического вещества. И только тогда стало ясно, как нарушение любого звена в этой системе приводит в движение всю систему (Плотников, 1984).

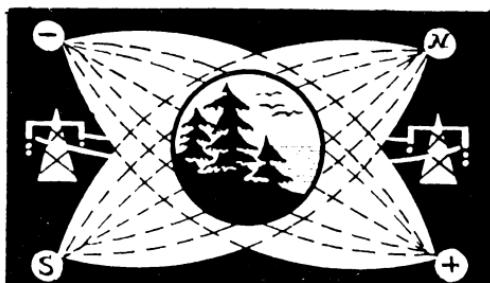
К сожалению, до сих пор большинство затронутых выше вопросов решается экологом в конкретных инженерных ситуациях, на основе профессиональной интуиции, а не твердо установленных фактов. Н. П. Федоренко, М. Я. Лемешев и Н. Ф. Реймерс (1980) совершенно справедливо замечают: «Экологи порой опираются лишь на интуицию, и им часто не верят (хотя прямо скажем: интуиция у хорошего специалиста сильнее малых знаний плохого специалиста, а тем более неспециалиста)» (с. 9). На этом фоне особенно огорчают претензии «конструктивной географии» (в общепринятом смысле «конструктивный» — значит полезный для дела, поэтому трудно поверить, что когда-либо существовала или до сих пор существует какая-нибудь «неконструктивная» наука) буквально «поглотить» экологию или биогеоценологию (Герасимов, 1977). Ведь должно быть вполне ясно, что между технической идеей крупного народнохозяйственного мероприятия — ее технико-экономическим обоснованием (ТЭО) — и предполагаемыми экологическими последствиями ее осуществле-

ния лежит огромная область, принадлежащая исключительно к компетенции физической географии, с ее специфическими подходами, объектами и методами. В частности, экологический прогноз должен в идеале основываться на данных квалифицированного физико-географического прогноза.

В этико-философском отношении инженерная экология вполне последовательно стоит на позициях антропоцентризма (без его теологического идеалистического толкования) и в этом направлении весьма близко приближается к экологии человека. Суть экологического антропоцентризма состоит в признании интересов процветания человечества первостепенными.

Разумеется, инженерная экология чрезвычайно заинтересована в развитии фундаментальных направлений общей экологии и ждет от нее построения синтетической теории как составной части научной картины мира. Из опыта решения серий однотипных задач инженерная экология постепенно выработает собственные эмпирические обобщения и с их помощью в свою очередь сумеет воздействовать на развитие общих отраслей естествознания. .

Таковы, на наш взгляд, основные методологические проблемы прикладной экологии. Они изложены здесь предельно конспективно, поскольку их развернутому обсуждению фактически посвящены все последующие специальные главы.

ЭКОЛОГИЯ  
И ГЕОФИЗИКА

Переход биосферы в новое качественное состояние — ноосферу — с физической точки зрения характеризуется возникновением, перераспределением и концентрацией на поверхности Земли мощных потоков энергии, производство которой ежегодно увеличивается в среднем на 3—4 %. Создаются крупные энергетические узлы. Энергетические коммуникации опутывают Землю все более сложной и густой сетью. Высвобождаются громадные запасы энергии, накопленные на протяжении прошлых геологических эпох в виде угля, нефти и газа. Энергия падающей воды все в больших объемах переводится в электричество. В мире накоплены огромные запасы ядерного и ракетного оружия, обладающего сокрушительным энергетическим потенциалом. В этой связи необходимо пристальное внимание со стороны экологии к проблемам, которые можно назвать биогеофизическими. Если объектом биофизики являются организмы, органы и ткани с их физиологическими функциями, то объектом биогеофизического подхода могли бы быть биологические системы надорганизменного уровня. По аналогии с биогеохицией биогеофизику можно было бы определить как раздел естествознания, посвященный исследованию взаимовлияния между геофизическими процессами на земной поверхности и в космическом пространстве и жизнедеятельностью биосферы. Акцент при этом должен быть сделан на исследовании биологического действия геофизических факторов, «наведенных» и управляемых деятельностью человека (электромагнитных полей промышленной частоты, радиоизлучений, сейсмических и акустических явлений и т. д.).

Известны «физика Земли», «физика атмосферы», «физика моря»... Положено начало и «физике биосферы» (Хильми, 1966). Ставится вопрос об исследовании

электромагнитных взаимодействий между растениями в сообществах (Титов, 1978), т. е. о «физике биоценозов». С точки зрения экологии происходящая научно-техническая революция не привносит в биосферу каких-либо принципиально новых геофизических факторов (жизнь близко знакома с любым из них, в том числе и с таким, как невесомость), но она придает им в определенных обстоятельствах новые направления и иногда поистине чудовищную интенсивность. Структурно-функциональная организация экосистем на протяжении миллиардов лет адаптировалась к нормальному, естественному фону геофизических факторов. Теперь положение изменилось, и надо уловить, какие тенденции в живой природе в связи с этим возникли.

Несколько лет назад в Новосибирске состоялось совещание по проблеме влияния электромагнитных полей (ЭМП) на живые системы. На этом совещании выяснилось, что исследование воздействия ЭМП на биологические системы надорганизменного уровня практически еще только начинается. Разумеется, о влиянии ЭМП на организм, отдельные функции, органы и ткани организмов имеются десятки тысяч научных работ, но экспонировать эти сведения на системы надорганизменного уровня очень сложно, если даже в принципе и возможно. Переход от уровня к уровню в естествознании всегда совершался с большими трудностями, и данная ситуация не является исключением.

В настоящей главе будут рассмотрены некоторые подходы к оценке экологического значения только тех геофизических факторов, которые связаны с деятельностью человека, поскольку пренебрежение биологическими последствиями физических явлений может привести к нежелательным результатам.

---

## 1. Экосистемы и электромагнитные поля

Жизнь с момента ее возникновения на Земле протекает в мощном электромагнитном поле. Эволюционное значение этого факта еще только предстоит осознать. Надо полагать, что это будет сделано по мере развития представлений об эволюции биологических систем надорганизменного уровня.

В природе земного магнетизма в последние годы, особенно в связи с космическими исследованиями и работами в области палеомагнетизма, стало известно множество удивительных фактов, способствующих созданию общей картины «магнитной среды» жизни на Земле. Отправным пунктом общего представления можно считать следующее замечание К. А. Куликова и Н. С. Сидоренкова (1977): «...магнетизм Земли, за исключением локальных и региональных аномалий, может быть обусловлен только системами электрических токов. В настоящее время считается, что эти токи текут в ядре Земли...» (с. 153).

Единицей напряженности магнитного поля считается эрстед ( $\text{Э}$ ) — напряженность такого поля, которое действует на единичную магнитную массу с силой в одну дину. Напряженность слабых полей выражается в гаммах ( $\gamma$ ).  $1\text{Э}=100\,000\gamma$ . В международной системе единиц СИ напряженность магнитного поля выражается еще в амперах на метр —  $\text{А}/\text{м}$ .  $1\text{А}/\text{м}=4\pi \cdot 10^{-3}\text{Э}$ . В среднем напряженность геомагнитного поля на земном шаре составляет около 0,5 Э. Весьма характерно, что эта величина по направлению от экватора к полюсам возрастает в целом от 0,25—0,35 до 0,60—0,70 Э. Американскими учеными (см. информацию Б. И. Силкина, 1976) с помощью спутников создана карта магнитных аномалий Земли в области, заключенной между  $50^{\circ}$  с. ш. и ю. ш. (использованы данные около 400 тыс. измерений). Географическая зональность прослеживается не только в распределении, но и в сезонных и суточных колебаниях геомагнитного поля.

Методика и результаты палеомагнитных исследований описаны в книге К. А. Куликова и Н. С. Сидоренкова (1977). Выводы этих исследований таковы: «...напряженность геомагнитного поля, вероятно, меняется с периодом около 10 000 лет и амплитудой, составляющей 50% от ее современной величины... Вероятно, северный и южный магнитные полюса менялись местами. Периоды существования одной и той же полярности, видимо, составляли в последние 10—20 млн. лет около 0,7 млн. лет, а в более ранние эпохи (300—500 млн. лет назад) — 5—10 млн. лет. Обращение полярности происходило быстро и не превышало скорее всего 0,1 млн. лет» (с. 128—129). Установлено, что направленность магнитного поля Земли изменялась и в докембрии. Следует от-

метить, что межпланетное магнитное поле имеет напряженность всего  $5-10\gamma$ , тогда как в солнечных пятнах оно достигает напряженности в несколько тысяч эрстед. После сильной хромосферной вспышки на Солнце поток корпускул через одно или двое суток достигает Земли, вызывая магнитную бурю. Общая энергия средней геомагнитной бури достигает  $10^{24}$  эрг, а мощность —  $10^{19}$  эрг/сек. Какими же биологическими эффектами сопровождаются все перечисленные здесь магнитные явления?

В мире животных влияние магнетизма изучалось главным образом на птицах и насекомых. У насекомых обнаружено наличие дипольного магнитного момента, ориентированного по большой оси симметрии тела. Этот момент сохраняется даже после смерти и высыхания насекомых. Установлено, что в поле постоянного магнита с напряженностью, в 100 раз превышающей напряженность естественного геомагнитного поля, насекомые сначала приходят в крайне возбужденное состояние, а затем располагаются параллельно или перпендикулярно магнитным силовым линиям (Пресман, 1971). Специалисты из ФРГ (1974) показали, что при нарушениях в нормальной структуре магнитного поля Земли у пчел происходит нарушение суточного ритма жизнедеятельности: «ошибка» в определении времени приема пищи достигает 10—14 ч. Птицы способны реагировать на возбуждаемое радиоантенной магнитное поле, составляющее лишь 1% по отношению к магнитному полю Земли (Маркин, Сазерленд, 1977). Ученые считают, что магнетизм Земли является одним из элементов ориентирования птиц при трансконтинентальных перелетах. В морском иле Массачусетского залива (США) в 1975 г. обнаружены бактерии, перемещающиеся только в северном направлении. Оказалось, что в одной клетке бактерий данного типа присутствует до 22—25 частиц магнитного железняка величиной около 0,05 микрона.

Примеры, которые можно было бы продолжить, убеждают в том, что магнетизм Земли является одним из существенных и, что самое важное, весьма неоднородных в пространстве, чрезвычайно динамичных во времени факторов физической среды для живых систем любого уровня. Имеются данные о том, что ослабление магнитного поля Земли в периоды, предшествующие

обращению его направленности, способствует усиленной бомбардировке стратосферы космическими частицами, вызывающими химические реакции с образованием окиси азота. Последняя действует разрушающе на озон и способна сохраняться в верхних слоях атмосферы. Новейшие исследования, выполненные с помощью космической аппаратуры, показывают, что в верхних слоях атмосферы солнечные лучи вызывают распад водяных паров на водород и кислород: кислород, как более тяжелый, опускается в нижние слои атмосферы, где происходит увеличение его процентного содержания.

Магнитные свойства «арены жизни» практически неотделимы от ее электростатических свойств, характеристика которых непрерывно уточняется и дополняется. В настоящее время известно, что между нижней границей ионосферы, расположенной на высоте 50—60 км, и поверхностью Земли существует громадная разность потенциалов, достигающая 400 000 В. Отрицательный заряд Земли равен приблизительно  $3 \cdot 10^5$  Кл. Потенциал ионосферы положителен. В результате ионизации атмосферы через нее к Земле течет электрический ток плотностью  $10^{-16}$  А/см<sup>2</sup>. Сила этого тока составляет 1800 А, а мощность достигает  $7 \cdot 10^8$  Вт. Напряженность электрического поля в атмосфере колеблется от 0 до 250 В/м (Куликов, Сидоренков, 1977). В структуре электрического поля Земли также прослеживается определенная географическая зональность, а в динамике — суточные, сезонные, годовые и многолетние ритмы.

Грозовая активность является источником атмосфериков — полей переменного электрического тока с частотой от нескольких килогерц до нескольких десятков тысяч килогерц (1 кГц = 1000 Гц = 1000 колебаний в 1 с). В отдельных тропических районах бывает до 200 грозовых дней в году. В средних широтах грозовая активность атмосферы в десятки, а в полярных широтах — в сотни раз ниже, чем в тропиках. Таким образом, и здесь так же, как в известных всем суточной, сезонной, годовой и многолетней ритмиках, выражен принцип географической зональности. Американские исследователи Дж. А. Ворпал, Дж. Г. Спарроу и Е. П. Ней (1970) с помощью орбитальной солнечной обсерватории провели глобальную съемку ночных гроз в течение 8 месяцев на территории между 35° с. ш. и 35° ю. ш. При этом, в частности, было установлено, что над по-

верхностью суши гроз происходит в 10 раз больше, чем над океаном. Единственным участком океана, где наблюдалось значительное количество ночных гроз, был район Бразильской (или Южноатлантической) магнитной аномалии, представляющей собой своего рода «провал» в геомагнитном поле Земли.

Следующим источником естественных электромагнитных полей является радиоизлучение Солнца, протекающее в диапазоне частот от 10 до  $10^5$  МГц. Интенсивность радиоизлучений, достигающих поверхности Земли, также зависит от географической широты местности и имеет суточную, сезонную, годичную и многолетнюю периодичность, обусловленную вращением Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца. Любопытен факт, что в северном полушарии максимальное производство зерна (в СССР, США, Китае) приходится на годы, соответствующие максимальной солнечной активности; для южного полушария эта зависимость имеет обратный характер (Австралия). Советские ученые, на основании изотопного анализа материалов бурения толщи льда реконструировавшие палеоклимат Антарктиды за последние несколько десятков тысяч лет, пришли к выводу, что колебания климата в северном и южном полушариях нашей планеты в рассматриваемый период были синхронны (Барков, Гордиенко, Короткевич, Котляков, 1974).

Наконец, следует отметить, что в земной коре и океанах также имеется слабое электрическое поле напряженностью  $10^{-5}$ — $10^{-6}$  В/м, отличающееся определенной зональностью и периодичностью.

Очевидно, что живые системы любого уровня на Земле не просто «знакомы» с электромагнитными полями перечисленных типов, но и выработали в процессе эволюции какие-то особенности своей структурно-функциональной организации, приспособленные именно к естественному электромагнитному фону. Интересной в этом плане представляется монография В. Р. Протасова, А. И. Бондарчука и В. М. Ольшанского (1982) «Введение в электроэкологию», посвященная электромагнитным воздействиям, взаимодействиям и приспособлениям в мире рыб. Основные черты, направления и принципы подобных приспособлений в мире наземных экосистем еще предстоит выяснить, и это достаточно актуальная и перспективнейшая задача теоретических исследований на стыке эволюционной теории, палеон-

тологии, палеомагнетизма, палеогеографии и т. д. Именно на этом естественноисторическом фоне можно с должной обстоятельностью подойти к выяснению биологического влияния нового, планетарного (глобального) геофизического фактора сугубо антропогенного происхождения — электромагнитных полей, связанных с электроэнергетическими сооружениями и коммуникациями (ЛЭП).

В нашей стране общая протяженность только ЛЭП-500 Кв (500 тыс. вольт) достигает около 20 тыс. км, а ведь есть еще и ЛЭП-300, и ЛЭП-150, и ЛЭП-750. Надо полагать, что полной протяженности ЛЭП любой мощности на земном шаре достаточно для того, чтобы обернуть его этими линиями множество раз даже по экватору (длина экватора около 40 тыс. км). Особенно высока насыщенность ЛЭП в умеренных широтах северного полушария. Таким образом, материковая часть планеты превращена человеком в гигантскую индукционную катушку, и это надо считать одной из основных геофизических особенностей Земли.

С точки зрения экологии значение системы ЛЭП в биосфере складывается по крайней мере из трех аспектов:

1. Отчуждение площадей под ЛЭП, исключение их из пользования в некоторых видах хозяйственной деятельности. Это так называемый эколого-экономический аспект.

2. Членение элементов ландшафта, создание в экосистемах искусственных преград и барьера (своего рода хорологический пресс, накладываемый на природные процессы). Этот аспект можно назвать биохорологическим или биогеографическим.

3. Собственно биологическое воздействие электромагнитных полей ЛЭП (ЭМП — ЛЭП) на живые системы надорганизменного уровня (медицинско-биологический аспект).

На практике все эти аспекты тесно переплетаются и взаимодействуют, но для многих построений такое подразделение может оказаться полезным.

В целом уже сейчас под ЛЭП изъяты громадные площади, особенно в обжитых районах. При «сверх дальних» передачах электроэнергии (на тысячи километров) возникает проблема оптимальной прокладки трассы с точки зрения не только энергетики и техноло-

гии, но и экономики и экологии. Считается, что ЛЭП средней мощности служит около 50 лет, но сверхдалние и сверхмощные ЛЭП будут создаваться, вероятно, на более длительные сроки. Одна только ширина трассы требует всестороннего обоснования и оценки. То же самое можно сказать о «габарите линии» (расстоянии между нитями и землей на середине пролета), величине пролетов, величине опор и т. д. По-видимому, нужен своего рода экономический кадастр земель, изъятых и изымаемых под строительство ЛЭП, коммерческая оценка разных категорий земель в различных географических районах и типах ландшафтов с учетом перспектив и отнесение стоимости «недополучаемого» продукта на стоимость транспортируемой электроэнергии. Эта проблема особенно актуальна для лесного хозяйства: ведь в некоторых случаях кратчайшее расстояние между двумя пунктами может оказаться отнюдь не самым оптимальным вариантом прокладки ЛЭП.

Известно, что транспортировка электроэнергии на большие расстояния сопряжена с большими потерями (утечкой) энергии. Возникает вопрос, как соотносятся такие потери на ЛЭП в тундре, в таежной зоне, в аридном и влажном климате, в местах геомагнитных аномалий и т. п. Иными словами, речь идет о необходимости районирования по «поведению ЭМП — ЛЭП». При этом открываются определенные перспективы в понимании медико-биологических эффектов «бытовых» ЭМП, которые буквально пронизывают всю нашу жизнедеятельность, особенно в крупном современном городе.

Важно значение ЛЭП любой мощности и протяженности как фактора, усиливающего членение биохорологических и ландшафтных единиц. При дедуктивной его оценке можно выделить как положительные, так и отрицательные моменты. Например, членение крупного таежного массива при прокладке ЛЭП может иметь противопожарное значение (ЛЭП — как противопожарный разрыв и одновременно дополнительная транспортная коммуникация). И в то же время расчленение какой-нибудь локальной популяции редких растений или животных может вызвать самые неожиданные эволюционно-генетические последствия. Эти вопросы тесно соприкасаются с проблемами биогеоценологических границ и барьера, с проблемами целостности биогеоценозов и специфики межбиогеоценозных взаимодействий. Надо по-

лагать, что в рамках именно общей теории биогеоценологических границ и барьеров проблема воздействия ЛЭП на экосистемы получит исчерпывающее освещение.

Медико-биологический аспект воздействия ЭМП «антропогенного» или, точнее, даже «техногенного» происхождения заинтересовал в первую очередь медиков-гигиенистов, озабоченных вопросами охраны здоровья производственного персонала, имеющего дело с ЭМП промышленной частоты. По этому поводу существуют и разрабатываются специальные нормативные акты, имеется большое количество научных публикаций. Основные выводы этих работ могут быть сформулированы следующим образом:

1. Воздействия ЭМП промышленной частоты приводят к неспецифическим нарушениям нормальной деятельности организма, причем решающее значение имеет электрическая составляющая поля (магнитная быстро затухает).

2. Высоковольтные сети создают биологически активное поле, т. е. представляют собой существенный фактор физической среды. В некоторых западногерманских странах, а также в США и Канаде факт биологического воздействия ЭМП — ЛЭП на организм человека не считается доказанным. В подходах к этой проблеме, как и во многих других случаях, обнаруживаются принципиальные различия между советскими и зарубежными исследователями, которые считают доказательством влияния ЭМП наличие повреждений в организме. Советские же ученые ведут отсчет вредных воздействий ЭМП с момента появления в организме обратимых функциональных нарушений, которые при систематических воздействиях способны привести к патологическим эффектам. Соответственно предельно допустимые нормы интенсивности воздействия ЭМП в СССР более жесткие и на порядок величин ниже, чем, например, в США.

3. В связи с растущими масштабами электропередач постановка исследований в области воздействия ЭМП промышленной частоты на природные экосистемы представляется весьма актуальной. Одновременно требуется исследовать структуру ЭМП—ЛЭП и зависимость их характеристик от физико-географических факторов.

Все, что сделано в настоящее время медиками-гигиенистами, принадлежит к области экологии человека, причем на организменном уровне. Переход к демограф-

физическому (популяционному) уровню потребует серьезных теоретических усилий, и в первую очередь от физиков-энергетиков. Успех исследования во многом будет зависеть от ясного представления о геофизической природе ЭМП—ЛЭП. В частности, биолог-популяционист и биогеоценолог, рассматривая проблему в целом, непременно потребуют ясного ответа на следующие вопросы:

1. Как ЭМП—ЛЭП взаимодействуют с естественными ЭМП Земли и с аномалиями этих полей?

2. Какова пространственная структура ЭМП — ЛЭП? Как зависит эта структура от географического положения и ориентации ЛЭП (ЛЭП на экваторе, ЛЭП в умеренных или полярных широтах, ЛЭП, ориентированная по меридиану или перпендикулярно ему, и т. д.)?

3. Как зависят физические характеристики ЭМП — ЛЭП от гидрометеорологических факторов и подстилающей поверхности?

4. Как ЭМП—ЛЭП взаимодействуют между собой при их параллельном расположении или взаимном пересечении?

Все перечисленные предпосылки будут не более чем фоном для дедуктивного подхода к оценке экологических эффектов техногенных электромагнитных полей.

При индуктивном (экспериментальном) подходе к проблеме воздействия ЭМП на экосистемы наиболее перспективны два направления исследований. Первое связано с организацией массовых наблюдений за поведением экспериментальных сообществ (экосистем-тестов) в различных ЭМП и физико-географических условиях, а также в разных зонах одного и того же поля. Общие требования к тест-системам известны: они должны быть элементарно просты, легко воспроизводимы, доступны для применения количественных методов и т. д. Идеальными объектами могут быть, например, бактериально-водорослевые, бактериально-вирусные или бактериально-вирусно-водорослевые культуры. Сотни тысяч пробирок или чашек Петри с тест-культурой, помещенных в самые разнообразные условия по отношению к различным ЭМП, после соответствующей, практически стандартной статистической обработки результатов воздействия поля на каждую отдельную культуру, позволят сделать общие выводы, а главное — откроют пер-

спективы и направления для более углубленных исследований. Тест-системы при этом могут сыграть роль чувствительных электрофизических датчиков, дополняющих представления о структурно-динамических параметрах полей.

Второе направление исследований может быть основано на массовых наблюдениях за жизнедеятельностью ключевых компонентов естественных биологических сообществ в зонах действия различных полей. Организовать такие наблюдения значительно сложнее, чем работы с тест-системами, однако с их помощью в отдельных случаях можно получить совершенно уникальные данные, например исторического (ретроспективного) плана. Объекты могут быть самые разнообразные. Методами дендрохронологии и лихенометрии, например, можно заглянуть в весьма отдаленное историческое прошлое, т. е. сравнить ситуации до и после сооружения ЛЭП; методом сравнения жизнедеятельности идентичных объектов под ЛЭП, рядом с ЛЭП и на расстоянии от нее можно получить весьма ценные результаты. Наиболее удобными объектами для наблюдений подобного рода могут быть как растительные, так и животные организмы: лишайники, моллюски, дождевые черви, элементы почвенной микрофлоры, муравейники, терmitники и т. д. Энтомолог Е. К. Еськов (1982), например, установил любопытные факты, исследуя поведение в электрическом поле семей пчел и земляных ос. Оказалось, в частности, что наиболее чувствительны семьи к воздействию поля частотой около 500 Гц.

Большой интерес в этом плане представляют даже чисто фенологические сопоставления (сроки и обилие цветения, плодоношения, спороношения и т. п. у растений разных типов). Определенный вклад в разработку проблемы может быть сделан тератологией (разделом ботаники, посвященным всевозможным уродствам у растений). Так, И. И. Гуреева и А. Г. Карташев (1982) установили, что под линией электропередачи напряжением 500 кВ встречаемость терат (уродств) в цветках гравилата речного в 16 раз, а в соцветиях девясила иволистного в 37 раз выше по сравнению с контрольными экземплярами. В аналогичных ситуациях полезно в дальнейшем всесторонне исследовать свойства семян, что даст представление о генетико-популяционных и микроэволюционных последствиях воздействия поля.

На примере этого краткого обзора подходов и направлений должны быть достаточно очевидны основные черты экологического подхода применительно к запросам данной научно-технической проблемы. Аналогичные подходы могут быть распространены на явления акустического и радиотелевизионного диапазонов.

А. С. Пресман утверждает: «По примерным оценкам, средний уровень радиофона в 10—100 раз выше среднего уровня атмосферных полей соответствующих диапазонов» (1971, с. 46). В этой связи приведем несколько примеров.

Канадские специалисты М. Межерс и П. Вайнбергер (1970) установили, что воздействие звука с частотой 5 кГц на семена пшеницы в процессе их яровизации в течение четырех недель вызвало повышение вдвое числа побегов, числа корней и веса растений. Группа ученых в США в 1974 г. показала, что беспорядочный шум мощностью 100 дБ приводит к запаздыванию прорастания семян турнепса, тогда как постоянный однородный шум, напротив, активизирует этот процесс. М. Л. Иодловский с сотрудниками (1977) выяснили, что домашние голуби воспринимают инфразвуковые колебания с частотой ниже 1 Гц (инфразвук в атмосфере распространяется на тысячи километров). Датские ученые в 1974 г. выяснили, что тот же инфразвук у людей вызывает состояние, аналогичное морской болезни: многие оказываются особенно чувствительны к частоте около 12 Гц. Еще раньше М. Брайн и У. Темпест (1972) определили, что инфразвук высокой интенсивности возникает в автомобилях многих марок, вызывая у некоторых водителей состояние, сходное с опьянением... По сообщениям зарубежной печати, японские предприниматели серьезно озабочены тем обстоятельством, что крысы и мыши, поселяясь в электронно-вычислительных машинах, вызывают в них крупные неполадки. За проблему взялись химики, а несколько раньше английские специалисты нашли способ избавляться от крыс и мышей в помещениях с помощью ультразвука.

Эти и многочисленные другие примеры производят двойственное впечатление. С одной стороны, они показывают, что проблема действительно «созрела» и носит всеобщий характер (необходимы объединение усилий разных специалистов и даже международное сотрудничество). С другой стороны, становится очевидным, что

решение проблемы лежит не в бесконечном накоплении безусловно интересных фактов, а в создании мощных, действительно фундаментальных дедуктивных теоретических концепций, способных и «переварить» груды фактов, и определить пути новых исследований.

Уже в настоящий момент значительная часть инженерных разработок в этой области должна сопровождаться анализом экологических аспектов. Постановка собственно медико-биологических исследований в свою очередь требует квалифицированного инженерного обеспечения. При этом, как и во многих других случаях, полезно продумать не только меры защиты живых систем от ЭМП, но и возможности практического использования защитных свойств самих экосистем в интересах охраны здоровья человека от воздействия ЭМП. Нет сомнения, что в самом воздействии ЭМП на экосистемы есть отрицательные и положительные моменты. Максимальное использование последних — важная задача прикладной экологии.

---

## 2. Радиационная биогеоценология (радиоэкология)

Действие ионизирующих излучений на организмы (включая отдельные клетки, органы, ткани) стало предметом специальной научной дисциплины — радиобиологии, зародившейся вскоре после открытия лучей Рентгена и явлений радиоактивности, т. е. в конце XIX в. Резюмируя достижения «количественной радиобиологии», один из ее основоположников, К. Г. Циммер, писал: «Главное в этих поразительных наблюдениях состояло (и еще состоит) в том, что при передаче энергии биологическому материалу путем облучения ионизирующей радиацией поглощение чрезвычайно малого количества энергии может сопровождаться заметным биологическим действием. Для усиления впечатления достаточно сказать, например, что в чашке чая содержится такое количество тепловой энергии, которое оказалось бы смертельным для человека, если бы ее удалось передать в виде рентгеновских лучей» (1962, с. 8). Популяционные эффекты воздействия ионизирующих излучений исследованы преимущественно в рамках

радиационной генетики. Воздействие ионизирующей радиации на биогеоценозы и биосферу в целом — предмет исследования радиационной биогеоценологии, или радиоэкологии. Постановка и разработка проблем радиационной биогеоценологии связаны с именем Н. В. Тимофеева-Ресовского (1957, 1962а, 1962б). Это научное направление зародилось именно у нас в стране под влиянием идей В. В. Докучаева, В. И. Вернадского и В. Н. Сукачева. В числе важнейших прикладных задач именно радиоэкологии можно рассматривать разработку методов биологической борьбы с радиоактивными загрязнениями биосфера.

Жизнь на Земле с момента зарождения протекала и, более того, эволюционировала под воздействием ионизирующих излучений. Многие ученые считают, что естественный фон ионизирующих излучений на поверхности Земли в прежние геологические эпохи был неизмеримо более высоким, чем сейчас. Источниками естественной радиоактивности являются радиоактивные элементы в земной коре и космические излучения. Содержание радиоактивных изотопов (радионуклидов) в земной коре варьирует в зависимости от региональных геологических условий.

Степень радиоактивности вещества (активность) выражается в кюри (Ки). 1 Ки соответствует такому количеству вещества, в котором за одну секунду распадается  $3,7 \cdot 10^{10}$  атомов (с образованием ионизирующего излучения). 1 Ки обозначает очень высокую активность, которой обладает, например, и 3 т урана-238, и 1 г радия или 10 мг радиоактивного йода. Степень воздействия ионизирующего излучения называется дозой излучения или облучения и выражается в радах. 1 рад соответствует дозе, при которой на 1 г ткани приходится 100 эрг энергии. Доза гамма- или рентгеновского излучения выражается еще в рентгенах (Р). 1 Р соответствует приблизительно 1 раду. Наконец, доза излучения, отнесенная к единице времени, называется интенсивностью дозы (излучения). Фон естественных ионизирующих излучений на поверхности Земли составляет в среднем 0,1—0,5 рад в год (Ильенко, Криволуцкий, 1971). Эта величина очень небольшая. Для сравнения достаточно заметить, что при ядерных испытаниях интенсивность излучений достигает нескольких миллионов рад в час. Следовательно, предметом заботы радиоэкологов является

ются главным образом последствия инженерной деятельности человечества. Радиационные аспекты этой деятельности становятся уже необозримыми, поэтому рассмотрим лишь один пример, имеющий лишь весьма косвенное отношение к состоянию радиационного фона Земли.

Американские радиофизики М. Мендильо, Дж. Хоукис и Дж. Клобучар (1975), изучая эффекты в ионосфере, сопровождающие полет ракеты-носителя «Сатурн-5» 14 мая 1973 г., установили, что в результате прохождения ракеты в ионосфере Земли образовалось «отверстие» диаметром 1800 км. Площадь такой «дырки» достигает соответственно более 2,5 млн. км<sup>2</sup>. Для сравнения напомним, что площадь поверхности Земли составляет около 510 млн. км<sup>2</sup>. В 1979 г. аналогичные наблюдения при выведении на орбиту астрономической обсерватории с помощью ракеты «Атлас-Центавр» показали, что определенные изменения в ионосфере происходили вдоль траектории ракеты на расстоянии 2000—3000 км к востоку от мыса Канаверал и в полосе шириной 600—1000 км. Эта «дырка» сохранялась в течение трех часов, и площадь ее достигала 0,1% от площади всей ионосферы. Даже если допустить, что все эти изменения и нарушения являются недолговременными и обратимыми, нельзя забывать, что только ионосфера и защищает жизнь на Земле от губительного коротковолнового (жесткого) космического излучения. Здесь напрашивается определенная аналогия с различиями в подходе советских и американских специалистов к оценке влияния ЭМП — ЛЭП, обсуждавшимся в предыдущем разделе. Достаточно проследить за хроникой запусков космических ракет и выведения на орбиты спутников, чтобы убедиться, что над определенными точками земного шара «эфемерные дырки» в ионосфере «подновляются» с завидной регулярностью, а это не может не сопровождаться какими-то пусть сначала и не очень заметными радиобиологическими эффектами на прилегающей к этим точкам земной поверхности.

Исследуя воздействие дополнительного коротковолнового и длинноволнового ультрафиолетового излучения на жизнедеятельность растений в естественных условиях высокогорной местности, А. С. Султанбаев и Ю. Л. Соколов (1982) пришли к выводу, что такой специфический режим при некоторых оптимальных дозировках обладает мощными биостимулирующими свойствами. Пред-

полагается, что таким способом можно получить новые формы культивируемых растений. В опыте использованы пшеница, ячмень, овес, картофель, люцерна, сахарная свекла, томаты и соя. Но что происходит при этом с десятками и сотнями видов сорных и «диких» растений?

Упомянутые виды культурных растений прошли за сравнительно короткий срок испытание весьма жестким отбором. В результате они превратились (в генетическом смысле) почти в чистые линии, т. е. в совокупность особей, обладающих сходными наследственными задатками, поддерживаемыми в их жизнедеятельности селекционными и агротехническими мероприятиями. На этом фоне отдельные генотипические склонения культурных растений от нормы достаточно очевидны и даже «тиражируются» в массовых масштабах. Реакции популяций «диких» видов в данной ситуации практически непредсказуемы, поскольку на них и без того огромную генетическую изменчивость накладывается новый, весьма влиятельный мутагенный внешний эффект. Поэтому положительные результаты этих экспериментов уместно сопроводить определенными экологическими опасениями: из опыта сельскохозяйственной практики должно быть ясно, что вредители и паразиты сельскохозяйственных культур эволюционируют вообще чрезвычайно бурно...

Экспериментальных данных по радиоэкологии очень много. Обзоры их можно найти в книгах Н. В. Тимофеева-Ресовского (1962б), Г. Г. Поликарпова (1964), Н. В. Куликова и И. В. Молчановой (1975), а также в сводке Ю. Одума (1975). Основные эмпирические обобщения радиоэкологии, на наш взгляд, следующие:

1. В воздействиях ионизирующих излучений на живые организмы не существует низшей пороговой дозы, а следовательно, ее в принципе не существует и для экосистем: малые дозы не оказывают «заметных и устанавливаемых действий», но это не значит, что они не оказывают действия вообще. Как показал Дарвин, вся эволюция протекает под контролем именно малых и незаметных воздействий, а катаклизмы всех типов лишь усиливают этот процесс.

2. В биогеоценозах любого типа первый «удар» ионизирующих излучений воспринимает фитоценоз, т. е. автотрофный элемент экосистем. Фитоценоз накапливает в

себе радионуклиды и способствует их вертикальному и горизонтальному перераспределению. Радиочувствительность в целом повышается от низших к более высокоорганизованным формам (как в мире растений, так и в мире животных).

3. Ионизирующие облучения вызывают перестройку структурно-функциональной организации экосистем, способствуя обеднению их видового состава и ускорению сукцессионных превращений. Концентрированные дозы облучений более эффективны, чем протрагированные (растянутые во времени).

4. Более высокой радиоустойчивостью отличаются экосистемы аридной зоны, высокогорий, а также ландшафтов с повышенным естественным радиофоном.

5. Способность биологического накопления радионуклидов в цепях питания может быть практически использована не только для дезактивации очагов радиоактивных загрязнений, но и для «добычи» некоторых редких и рассеянных элементов.

Наибольшую актуальность с точки зрения радиоэкологии в настоящий момент имеют проблемы глобальных загрязнений атмосферы, гидросферы и литосферы веществами, образующимися в результате ядерных испытаний и аварий, а также проблемы захоронения отходов атомной промышленности.

Ядерные испытания или аварии — события разовые и непредсказуемые. Развитие атомной энергетики — явление закономерное и неотвратимое. Прогнозируется, что к 2000 г. число энергетических атомных реакторов достигнет 5,0—5,5 тыс. и более половины всей электроэнергии в мире будет вырабатываться именно в них. Вот почему ядерная энергетика с момента ее зарождения находится под пристальным наблюдением экологов. К настоящему времени накоплено огромное количество данных о том, что само по себе ядерное производство электроэнергии является наиболее «чистым» и безотходным. Достаточно заметить, что 500 г урана-235 энергетически замещают 1500 т угля (Говард, Ремсон, 1982). Центр внимания, таким образом, перемещается от пункта непосредственного ядерного производства в область радиоэкологии водоемов-охладителей АЭС и прилегающих к ним наземных экосистем.

Советский биолог Н. Н. Смирнов (1981) опубликовал сведения, полученные различными международными на-

учными организациями, о военном разрушении биосфера: в мире, где ежегодные расходы на вооружение достигли уже 500 млрд. долл., где на одного человека еще к 1976 г. было накоплено по 15 т ядерного взрывчатого вещества (в тротиловом эквиваленте), где с 1945 по 1978 г. было произведено 1165 ядерных взрывов, вероятность глобальных катаклизмов радиационного порядка весьма велика и все более возрастает. Эта информация должна послужить мощным стимулом в борьбе народов за мир и разоружение. Радиационная биогеоценология в состоянии выработать прогноз глобальных, зональных и региональных экологических последствий ядерных катаклизмов, т. е. радиационных эффектов на уровне биогеоценологического покрова Земли и отдельных ее частей.

В серии новейших научных публикаций советских ученых (см., например: *Феоктистов Л. П. Современное вооружение приобретает характер абсолютного*. — Природа, 1983, № 9, с. 3—10; *Баев А. А., Бочков Н. П. Ядерная война поставит под сомнение существование человека как биологического вида*. — Природа, 1983, № 10, с. 3—10) приведены последние известные данные об уровне мировых военных приготовлений и сделан прогноз медико-биологических последствий глобального термоядерного конфликта. Эти сведения не оставляют места наивным надеждам где-нибудь и как-нибудь «пережить» катастрофу. Что касается биосферы в целом, то она, безусловно, «переживет» любой мыслимый катаклизм, но всесторонний прогноз неизбежных, радикальных и бурных видоизменений биогеоценологического покрова Земли потребует еще беспрецедентных усилий от специалистов.

---

### 3. Экзобиология

Шри-ланкийский астроном Чандра Викрамасингхе взбудоражил мировую научную общественность, весьма остроумно обосновав следующее заявление: «Скорее ураган, проносящийся по кладбищу старых самолетов, соберет новый суперлайнер из кусков лома, чем в результате случайных процессов возникнет из своих компонентов жизнь», и далее: «Подобно тому, как некогда было доказано, что Земля не является физическим центром Вселенной, так для меня сегодня

столь же очевидно, что высший разум в мире не может сосредоточиваться на Земле» (Курьер ЮНЕСКО, июль, 1982, с. 38). Легко заметить, что проблемы происхождения жизни на Земле и наличия ее во Вселенной находятся «экологичны».

Задачи экзобиологии, или космической биологии, и современное состояние ее методологических концепций рассматриваются в книге Л. В. Фесенковой «Методологические аспекты исследования жизни в космосе» (1976). В основе прогрессивного развития экзобиологии лежат два постулата: постулат о множественности обитаемых миров во Вселенной и постулат о единстве земных и инопланетных законов жизни. Отрицание первого автоматически снимает и второй постулат, но отнюдь не отрицает самой экзобиологии как специфической отрасли естествознания. Признание первого постулата выдвигает альтернативу: либо законы жизни на Земле (в том числе и неизвестные) универсальны для всей Вселенной, либо они справедливы лишь в локальных земных условиях. Господствующим в настоящее время является представление, что законы органической жизни на Земле представляют собой частные проявления общих законов жизни во Вселенной.

Важным импульсом для развития экзобиологии служит техническая осуществимость жизнеобеспечения земных организмов в условиях космического пространства и некоторых других планет солнечной системы. Это обстоятельство выдвигает ряд конкретных научных задач, решаемых космической биологией и космической медициной, но при этом немалое значение имеют и чисто экологические аспекты.

Задачи экзобиологии формулируются следующим образом:

1. Поиск доказательств существования инопланетной жизни и следов вероятных контактов с внеземными цивилизациями.

2. Объяснение происхождения жизни на Земле и других планетах.

3. Обеспечение безопасности и длительности космических полетов.

4. Экспериментальные биологические исследования в экологических условиях космического пространства, космического корабля и других планет с известными особенностями физической среды.

Вполне очевидно, что вторая задача экзобиологии является по существу перманентной задачей общей биологии (независимо от наличия жизни на других планетах), а третья и четвертая задачи возникли в последнее время в связи с развитием техники и независимо от справедливости постулатов экзобиологии. Если даже органическая жизнь существует исключительно на Земле, то имеются достаточные основания предполагать, что в предвидимом будущем она может распространиться с помощью человека и на другие планеты.

Недостатком многих экзобиологических построений является доминирование в них организмических концепций. На это обстоятельство стали обращать внимание лишь в самое последнее время (Ильин, 1967; Фролов, 1972; Солсбери, 1972). Действительно, мы ищем доказательства существования жизни на других планетах, основываясь на известных закономерностях жизнедеятельности организмов или биосфер, но упускаем из виду столь же «суверенные» уровни популяций и биогеоценозов. По существу таким же дефектом обладают и многие представления общей биологии. В. И. Вернадский настойчиво пропагандировал мысль, что биологические системы надорганизменного уровня так же древни, как и сама жизнь. Однако, по справедливому замечанию К. М. Завадского (1966), «можно только удивляться могуществу консервативных традиций в биологии, благодаря которому эти идеи В. И. Вернадского долго заслонялись господствующей концепцией «монополии организма» (с. 31). Надо полагать, что развитие космических исследований с помощью ракет и спутников (космических станций) приведет к необходимости рассматривать жизнь в любом самом ограниченном пространстве одновременно с организменной, популяционной и биогеоценологической точек зрения, и от этого, безусловно, выиграют как космическая, так и «земная» биология. В частности, проявления органической жизни на других планетах можно ожидать и не в виде привычной для нас глобальной поверхности оболочки, а в форме погруженных в недра планеты микробных биогеоценозов, как это имеет место и на Земле, например в нефтегазоносных слоях литосферы.

В системе самых общих и фундаментальных представлений современного естествознания в настоящее время происходит весьма крупный, поистине революционный

сдвиг: вырисовываются контуры еще одного, может быть наименее древнего, царства живых существ — царства архебактерий (см.: Дуда В. И. Архебактерии — новое царство живых организмов. — Природа, 1984, № 2, с. 13—25). Отдельные его представители обладают уникальными экологическими характеристиками (их жизнедеятельность протекает при температуре 250—300° С и под давлением до 265 атм.), им свойственны особые типы морфологического строения и особые способы метаболизма... Этот пример достаточно наглядно показывает, что многообразие форм жизни даже в земных условиях раскрыто еще далеко не полностью. Экзобиология с ее пристальным вниманием в первую очередь именно к физическим факторам жизненной среды в данных обстоятельствах получает мощный дополнительный стимул для самостоятельного развития и может оказать сильное влияние на чисто «приземленные» общебиологические представления.

Теоретические представления о структурно-функциональной организации биогеоценозов по уровню своей формализации существенно отстают от организменных и суборганизменных концепций, и это затрудняет их применение к проблемам экзобиологии. Однако такие положения, как закономерности агрегации организмов в сообществах, неизбежность полидоминантности сообществ как существенного залога их устойчивости, необходимость отставания гетеротрофной фазы метаболизма сообществ от автотрофной, принципы сукцессионных превращений сообществ и т. п., могут быть взяты экзобиологией на вооружение уже сегодня.

Писатели-фантасты немало потрудились, чтобы подготовить человечество к перипетиям космической эры, но фигура эколога не пользовалась у них особой популярностью. Теперь становится все более очевидным, что знания экологии при освоении космического пространства необходимы.

---

#### 4. Геофизические методы в экологических исследованиях

По-видимому, не будет преувеличением утверждать, что экология до сих пор испыты-

вает недостаток в полевых методах, адекватных возможностям машинной обработки массовых полевых материалов. Между тем значительные объемы экологических наблюдений можно произвести, почти не выходя из кабинета и перепоручив самую рутинную часть работы машине.

А. Е. Ферсман и Б. А. Федорович в предисловии к первой советской монографической работе по применению аэрометодов — книге А. В. Гавемана «Аэросъемка и исследование природных ресурсов» (1937) писали: «Аэроснимок отображает Землю в такой проекции, которая недоступна исследователю, передвигающемуся по поверхности Земли и лишенному возможности охватить взглядом сразу большую территорию. В силу этого аэроснимок открывает совершенно неожиданные перспективы в изучении целого ряда проблем. В частности, ничто не может явиться таким прекрасным материалом для изучения всевозможных взаимосвязей и взаимодействий различных элементов ландшафта, как аэроснимок. Этой возможностью единым взглядом охватить территорию, вникнуть в элементы взаимодействия различных сред, возможность получить вполне ясное впечатление о всем природном комплексе данной местности и, наконец, абсолютной объективностью и своей точной документальностью — аэроснимок на наших глазах превращается в новое орудие научного познания территории» (с. 5). За почти полувековой путь последующего развития техники аэрофотосъемки и дешифрирования аэроснимков в этой области достигнуты значительные успехи, но цитируемое высказывание и в настоящий момент раскрывает возможности аэрометодов исчерпывающим образом. Уместно добавить, что благодаря своей строгой документальности материалы старых залетов в совокупности с новыми данными и подходами становятся все более действенным средством познания динамики ландшафтов и биogeографических явлений. Приближенным документальным образом территорий являются и репродукции накидного монтажа аэрофотоснимков.

Материалы как цветной, спектрозональной, инфракрасной, так и обычной черно-белой аэрофотосъемки местности применяются в самых разнообразных экологических исследованиях, но еще совершенно недостаточно. Приходится только изумляться зоологам, вооруженным дрекольем, которые ведут перечет котиков на леж-

бище... Такое же впечатление производит в большинстве случаев и геоботаник, пользующийся «кольцом Раункиера» (приспособлением для закладки случайным образом круглых площадок размером 1 дм<sup>2</sup> с целью определения частоты встречаемости видов растений). Для производства фотосъемки для научных целей совсем не обязательно подниматься в стратосферу, иногда вполне достаточно взобраться на пень, стремянку, скалу, дерево или мачту. Большую информацию, доступную для серьезных обобщений, несет обычная панорамная фотография местности. Серия фотографий какой-либо панорамы, сделанных в разное время из одной и той же или из разных точек с известными «координатами», дает четкое представление не только о скоростях, но и о причинах тех или иных процессов, что позволяет выработать и соответствующие рекомендации. Так, С. Г. Шиятов (1981) продемонстрировал возможности сравнительного использования ландшафтных фотографий известного советского геоботаника Л. Н. Тюлиной, сделанных на Южном Урале более 50 лет назад.

Задачи динамического плана можно решать не только по времененным сериям аэрофотоснимков, но и по материалам одного и того же залета. В последнем случае необходимо, чтобы на снимках было отражено как можно больше равнозначных и независимых элементов ландшафта, являющихся предметом исследования. Ими могут быть, например, овраги, острова на реке, речные меандры, озера, аллювиальные сегменты, болота, вымочки, снежники, каменистые россыпи, естественные биогруппы деревьев, колки в целинной степи, залежи пахотных земель и т. п. В любом случае необходимо иметь плановые фотоизображения по крайней мере нескольких десятков одноименных элементов генетически однородного ландшафта. Даже самый поверхностный анализ, как правило, позволяет выделить во всей совокупности несколько типов объектов: для островов — по степени развития на них луговых, кустарниковых и лесных биоценозов; для озер — по степени их зарастания; для болот — по степени их облесенности; для оврагов — по степени их разветвленности и т. д. Выделенные типы объектов нетрудно расположить в определенные условно-временные (генетические или динамические) ряды. Далее, манипулируя средними и относительными площадками идентичных контуров и их генетически преемственных элементов (на-

пример, озеро и его дериваты) и введя на каком-то этапе исследований во все построения координату времени, можно приблизенно рассчитать скорости исследуемых процессов. В сочетании с минимальными натуральными наблюдениями такой подход может быть достаточно результативным.

В последнее десятилетие большое развитие получила техника радарного и лазерного профилирования территорий (Remple, Parker, 1965; Schneider, 1968; Одум, 1975) (стереофотограмметрическое дешифрирование аэрофотоснимков и методы использования неоднородности оптической плотности аэроснимков и аэронегативов рассматриваются также в упомянутой выше сводке А. В. Гавемана). Суть метода состоит в том, что специальные приборы, установленные на самолете, могут регистрировать тончайшие изменения микрорельефа местности по линии полета. Так, с высоты 2 км могут быть зафиксированы особенности профиля на площади менее 1 кв. фута (1 фут равен примерно 30,5 см). Точность измерения расстояний лазерным лучом колеблется от 1:100 000 до 1:1 000 000. Очевидно, что при такой высокой чувствительности приборов на авиапрофиле, например, лесистой местности непременно отражаются особенности древесного полога (протяженность по высоте и сомкнутость полога, строение крон деревьев и т. п.). По характеру авиапрофиля полога леса, по-видимому, можно отдешифрировать даже состав древостоев. Вся эта информация наряду с материалами аэрофотосъемки местности становится мощным средством инвентаризации и исследования растительных ресурсов на громадных и труднодоступных площадях. Перспективы этого метода в экологии, биогеографии, геоботанике и лесоведении поистине безграничны. Уместно заметить, что модификации некоторых геофизических методов геологической съемки, вероятно, могут быть полезными в почвоведении.

Фотосъемка земной поверхности из космоса практически открывает новую эру в землеведении. По расчетам В. В. Иванова и Е. Д. Сулиди-Кондратьева (1977), «с экономической точки зрения пятиминутная съемка территории с «Союза-22» равна ценна двухлетней работе самолета со специальной аппаратурой и 80-летней — для наземной геодезической партии» (с. 21). Астрономические масштабы этих сопоставлений весьма впечатляют, однако без наземных и аэросъемочных работ эффектив-

ное использование космической информации невозможно. В любом случае дешифровщик должен обладать широкими знаниями о Земле вообще, глубоких знаний в какой-либо узкой области становится явно недостаточно.

В использовании материалов космической fotosъемки можно выделить инвентаризационный (карографический) и динамический аспекты. Документальные выявления расположения, конфигурации и границ каких-либо наземных объектов, структур и систем являются лишь предпосылкой для перехода к динамическим представлениям, основанным на изучении серий разновременных космических снимков одной и той же территории. В этой связи возрастает роль экологических знаний, особенно касающихся индикационных свойств растительного покрова. Так, явлениям новейшей тектоники, например, могут соответствовать какие-либо локальные видоизменения структуры лесных сообществ, тенденций лесообразовательного или болотообразовательного процессов и т. п.

Космические снимки имеют масштаб от 1:500 000 до 1:4 000 000, т. е. на два порядка более мелкий, чем масштаб аэрофотоснимков, поэтому навыки и методы, выработанные при дешифрировании аэрофотоснимков, в космическом дешифрировании непригодны; с серьезными трудностями, например, сопряжена постановка стереофотограмметрических наблюдений по космическим снимкам. Надо полагать, что непрерывное совершенствование техники фотографирования из космоса будет еще долго сопровождаться расширением дешифровочных свойств, но экологам следует овладевать всеми этими средствами информации уже сегодня, акцентируя внимание на динамических аспектах явлений. Замечательная особенность космической съемки в том и состоит, что в принципе можно иметь материал через любые сколь угодно короткие интервалы времени и в любое время года. Например, по зимним космическим снимкам для умеренных широт хорошо дешифруются многие детали развеивания почвогрунтов (на белом фоне подстилающей поверхности особенно отчетливо выделяются шлейфы или ореолы рассеивания частиц грунта в атмосфере, часто на больших расстояниях).

Подводя итог разделу и главе в целом, следует еще раз подчеркнуть, что Земля буквально пестрит «горячими» одновременно с точки зрения геофизики и экологии точками, рубежами и полигонами, особенно в умеренном

поясе северного полушария. «Горячими» — потому что давление каких-либо геофизических факторов здесь может ощутимо сказываться на состоянии тех или иных экосистем. Самый тонкий физический прибор иногда оказывается не в состоянии уловить те локальные особенности физической среды, которые надежно фиксируются биологическими макросистемами. Принцип биологического накопления в этой связи следует трактовать значительно шире, чем это обычно делается. Можно, в частности, утверждать, что биологические системы накапливают в себе не только вещество и энергию, но и разнообразную информацию.



### Глава III

---

## ЭКОЛОГИЯ И ХИМИЯ

В рассказе М. М. Зощенко «Исповедь» (1923) приводится диалог:

— Бог есть,— строго сказал поп.— Не поддавайся на это... А чего, вспомни, сын-то еще говорил?

— Да разное говорил.

— Разное!— сердито сказал поп.— А откуда все сие окружающее? Откуда планеты, звезды и луна, если бога-то нет? Сын-то ничего такого не говорил — откуда, де-скать, все сие окружающее? Не химия ли это?

— Не говорил,— сказала Фекла, моргая глазами.

— А может, и химия,— задумчиво сказал поп.— Может, матка, конечно, и бога нету — химия все...

Так талантливый юморист отразил одну из величайших революций в истории естествознания — признание единства материальной природы мира.

На Земле известно 89 естественных химических элементов. Еще 18 элементов получают искусственно, и надо полагать, что список последних будет продолжен. Исследование состава метеоритов и лунного грунта, зондирование атмосферы других планет, спектральный анализ излучений далеких звезд и туманностей — все эти наблюдения показывают, что Вселенная повсюду состоит из одних и тех же известных химических элементов. Разнообразие устойчивых химических соединений бесконечно велико (в настоящее время установлена химическая структура более 6 млн. химических соединений), причем около 200 тыс. новых соединений в год синтезируется человеком либо экстрагируется в огромных концентрациях.

Предметом биохимии являются химические процессы, происходящие на организменном и суборганизменном (тканевом, органондном, клеточном и молекулярном) уровнях. Достижения биохимии общеизвестны: это расшифровка генетического кода, структуры белков, ДНК

и РНК, природы вирусов, функций клеточных органоидов, мембран и т. д. Биохимическим исследованиям посвящены даже художественные произведения, например автобиографическая повесть лауреата Нобелевской премии Дж. Уотсона «Двойная спираль» (Воспоминания об открытии структуры ДНК, 1969). Зародившись преимущественно в недрах физиологии, современная биохимия глубоко внедрилась в область молекулярной биологии.

Академиком В. И. Вернадским заложены основы биогеохимии, предмет которой составляют химические процессы, совершающиеся в географических оболочках Земли при ведущей роли живого вещества планеты, т. е. на уровне биосфера. В этом смысле современные атмосфера и ионосфера, а также значительная часть литосферы Земли рассматриваются как функциональные производные биосферы. В трудах Б. Б. Полынова (1952, 1956), А. П. Виноградова (1957), А. И. Перельмана (1961, 1977), В. В. Добровольского (1966), М. А. Глазовской (1972, 1973), В. А. Ковды (1975) и многих других исследователей биогеохимические принципы Вернадского получили дальнейшее развитие, а происходящая научно-техническая революция придала им особую актуальность.

Синтез географических идей Докучаева и биогеохимических идей Вернадского привел Б. Б. Полынова в 30—40-х годах к разработке учения о геохимии ландшафта. Термин «ландшафт» первоначально обозначал просто «тип местности». В дальнейшем термин становился все более содержательным, а его содержание — все более дискуссионным: многочисленные определения можно было цитировать на протяжении нескольких страниц. По определению Л. С. Берга, географические ландшафты представляют собой «строго локализованные, характерные, обладающие естественными границами участки земной поверхности», живые и косные элементы которых находятся в непрерывном изменении и взаимодействии (см.: Л. С. Берг. Избранные труды, т. I, с. 276—277). Предметом геохимии ландшафта являются процессы распространения, сочетания и перемещения химических элементов в ландшафте. Б. Б. Полынов ввел в употребление понятие об элементарном ландшафте, которому вполне соответствует биогеоценоз В. Н. Сукачева. Комбинации элементарных ландшафтов образуют единый геохимический ландшафт.

Итак, очень условно, биохимия соответствует организменному, геохимия ландшафта — биогеоценологическому (экосистемному) и биогеохимия — биосферному уровням интеграции жизни. Однако, как уже неоднократно отмечалось, между организменным и биосферным уровнями интеграции лежит громадная область биологических явлений, структурно-функциональная природа которых отражается в таких разноплановых категориях, как поколение, клон, дем, семья, ценопопуляция, популяция, вид; биогруппа, синузия, парцелла, консорция, ярус, биогоризонт, фитоценоз, зооценоз, микробоценоз, биоценоз, биогеоценоз (экосистема); ландшафтный, зональный, эндемический и реликтовый флористический и фаунистический комплексы. Каждой из этих реальных категорий членения живого вещества соответствует своя специфическая система связей между ее соподчиненными компонентами, в том числе и сугубо химических. На уровне биоценоза и его важнейших структурных подразделений, например, это должна быть прежде всего химия высокомолекулярных органических соединений, а не только химических элементов и элементарных веществ типа  $H_2O$  и  $CO_2$ .

В настоящей главе мы рассмотрим некоторые аспекты химических взаимодействий внутри биоценоза, химических воздействий на биоценозы и химических проявлений биоценозов как метаболически целостных объединений по отношению к окружающей среде, включая смежные биогеоценозы. По-видимому, именно при такой постановке вопросов можно будет обсудить большинство неясных и поисковых, но актуальных для развития экологии моментов, весьма существенных для практики.

---

## 1. Химические взаимодействия внутри биоценозов

Известный французский зоолог Реми Шовен (1972) очень справедливо заметил: «Представление о двух особях в противовес изолированной особи является основополагающим: можно утверждать, что если два животных, живущих вместе на неперенаселенной территории, где имеется вдоволь корма и воды, по своей физиологии или поведению отличаются от

изолированного животного, то речь идет об эффекте группы» (с. 147). Это положение без особых принципиальных поправок можно распространить и на растения.

Эффект группы, шире — эффект плотности, еще шире — эффект сосуществования в ограниченном объеме пространства-времени живых организмов различной видовой, половой, возрастной и генотипической конституции, а соответственно с разными физиологическими потребностями и отправлениями являются предметом огромного множества конкретных биологических исследований, выполненных за последние полтораста лет, а также объектом многотысячелетней земледельческой и животноводческой практики человечества. Но не случайно академик С. С. Шварц с сотрудниками одну из своих книг назвал «Эффект группы в популяциях водных животных и химическая экология» (1976).

Не слишком ли много «экологий», может возразить читатель. Действительно, «общая экология», «эволюционная экология», «популяционная экология», «радиоэкология», «прикладная экология», «экология человека», а теперь еще и «химическая экология»... Но разве кто-нибудь может упрекнуть, например, медицину, поделившую свой предмет на десятки научных дисциплин?

Со времен Дарвина существует концепция борьбы за существование. Десятки тысяч научных работ посвящены экспериментальному изучению всех моментов во взаимоотношениях между организмами в сообществах. Исторический обзор отечественных исследований по этому вопросу можно найти в книге Я. М. Галла (1976). Ленинградский ботаник Ю. В. Титов (1978), экстраполируя представления Л. А. Николаева (1971) о взаимодействиях субклеточных и молекулярных систем на взаимоотношения растений, выделяет в этих взаимоотношениях параметрические и кодовые связи: «Конкурентные отношения в их классическом понимании, проявляющиеся при резком недостатке в среде жизненно важных факторов или при ограничении жизненного пространства для растений, а также случаи токсикоза почв, концентрационные эффекты физиологически активных метаболитов растений в аллелопатии, взаимодействия растений при резком изменении в среде концентрации элементов питания (внесение удобрений) — примеры параметрических отношений между растениями» (с. 125—126). Кодовые связи имеют преимущественно невещественную (инфор-

мационную, биоритмическую, электромагнитную, структурную и пр.) природу, которую у животных можно было бы просто определить как поведенческую или этологическую. Такая постановка вопроса не вызывает возражений и, более того, представляется весьма перспективной, но при этом нельзя забывать, что подавляющая часть коммуникаций, особенно между растениями и животными, растениями и микроорганизмами, животными и микроорганизмами, в биоценозе осуществляется все-таки чисто химическими агентами, циркулирующими в их объединенной среде.

В 1928—1930 гг. Б. П. Токин открыл фитонциды — летучие вещества, выделяемые высшими растениями и убивающие микробов. В 1937 г. немецкий ботаник Г. Молиш опубликовал книгу «Влияние растений друг на друга — аллелопатия», где рассматривались эффекты именно специфических химических выделений. В работах Г. Грюммера (1957, 1964), А. Винтера (1964) и А. М. Гродзинского (1965) приводится множество примеров, когда вещества, выделенные из одних растений, оказываются токсичными для растений других видов. Как правило, такие результаты получены экспериментальным путем, и Г. Грюммер (1964) резюмирует их следующим образом: «При выращивании в чашках Петри и в сосудах с питательным раствором было продемонстрировано действие многих токсичных веществ. Но многие из них теряют свое действие, как только опыт переносится в почву. Иными словами, эти вещества не имеют экологического значения» (с. 278). Причин такого несоответствия несколько: во-первых, многократное превышение концентрации активного вещества в опыте по сравнению с его естественными концентрациями; во-вторых, громадное превышение плотности экспериментальных популяций растений по сравнению с природными; в-третьих, создание в эксперименте таких сочетаний видов растений, которые отсутствуют в природе. Аналогичными дефектами обладает большинство экспериментов, выполненных на животных. Прямых наблюдений аллелопатии в природе очень мало. И нередко обстоятельства допускают множество толкований одного и того же факта «подавления» одних организмов другими.

Наметившаяся тенденция выяснения отрицательных взаимодействий между организмами и видами в сообществах путем химических выделений (аллелопатии)

вряд ли способствует охвату проблемы во всей ее широте: мы искренне изумляемся, когда встречаем факты очевидного химического подавления одних организмов другими, но равнодушно проходим мимо поистине массового явления, когда разнообразные организмы процветают в «атмосфере» ядовитых выделений других организмов. А это и есть, по-видимому, магистральное направление в эволюции форм существования организмов с различными физиологическими потребностями...

Вещества в сообществе распределяются дискретно, по крайней мере пока они находятся в составе организмов. Организмы в свою очередь распределяются не случайно, а в соответствии со структурно-функциональной организацией сообщества. Как метаболически целостные, но подчиненные по отношению к сообществу образования выступают внутриценозные группировки организмов: ярусы, синузии, биогруппы, парцеллы и т. д. Структурной неоднородности надземной фитомассы соответствует неоднородность почвенного гетеротрофного населения биоценоза. Не следует абсолютизировать эту неоднородность, поскольку она, как и все в живой природе, чрезвычайно динамична, но пренебрегать ею — значит сознательно упускать из виду реальные формы существования организмов и множество малых (внутриценозных) круговоротов веществ.

В 1952 г. ботаник Л. Г. Раменский и зоолог В. М. Беклемишев независимо один от другого высказали свои соображения о консорциях как устойчивых внутриценозных объединениях организмов отдаленной таксономической принадлежности, субординированных в каких-либо аспектах своей жизнедеятельности. Позднее, в трудах главным образом ботаников, представления о консорциях как основных структурных и элементарных материально-энергетических подсистемах биоценоза получили конструктивное развитие (Мазинг, 1966; Дылис, 1973).

Впечатляющий пример консорции можно наблюдать в лесостепи: на листьях отдельной бересклета в редколесье пасутся «стада» тли, питающейся соком растения; по стволу и ветвям дерева маршируют колонны муравьев, охотящихся за тлей, а у основания ствола почва почти в шахматном порядке усеяна ловчими воронками личинок муравьиного льва... Бересклет в данном случае является детерминантом консорции, а все прочие связанные с ней организмы — ее конsortами. При внимательном наблюдении

нии у березы можно найти еще десятки консортов (другие виды насекомых на листьях, в коре и в древесине, паразитические грибы и лишайники, птицы, почвенные микроорганизмы и пр.), а у каждого из консортов можно обнаружить свою, верную ему «свиту».

Значение насекомых в жизнедеятельности перекрестноопыляющихся растений общеизвестно: насекомые осуществляют транспортировку гамет, для чего в процессе сопряженной эволюции и у растений, и у насекомых выработались соответствующие физиологические и морфоанатомические приспособления. Как выяснилось сравнительно недавно, в этом классическом «дуэте» иногда присутствует третий компонент. В сводке С. Лурия и Дж. Дарнелла (1970) упоминаются вирусы, способные размножаться одновременно в организмах растений и в организмах некоторых насекомых, которые, таким образом, являются не просто механическими переносчиками какого-либо специфического заболевания растений, но и жертвами этого же заболевания. Вирус состоит из молекулы ДНК, заключенной в белковую оболочку. Активным началом в инфекции является именно ДНК, т. е. конкретное химическое вещество. В системе «(вирус + клетка растения) + (вирус + клетка насекомого) + (вирус + клетка растения)» вещество специфической ДНК не просто механически циркулирует, но воспроизводится и приумножается, сопровождаясь во всех своих превращениях определенными патологическими эффектами. Самое удивительное и обнадеживающее в этом примере то, что науке удалось установить сам факт столь тонкого и изощренного взаимодействия организмов в сообществе.

Издавна считалось, что почвенные микроорганизмы разлагают поступающее в почву органическое вещество и фиксируют атмосферный азот, и в этом состоит их биогеоценологическая функция. Т. В. Аристовская (1973) привела убедительные доказательства того, что различные группы почвенных микроорганизмов с их разнообразными метаболитами не только извлекают и вносят в круговорот элементы питания из самых устойчивых минералов почвообразующей породы, но и вызывают образование в почве целой серии минералов. Замечательным в этих процессах является то, что «в отличие от высших растений и животных, у которых все реакции обмена вещества (за редкими исключениями) протекают внутри их органов и тканей, микроорганизмы способны произво-

дить превращения источников энергии и питания вне клетки. Животные и растения выделяют в окружающую среду преимущественно конечные продукты обмена, у микроорганизмов же вне клетки находятся не только конечные, но и промежуточные продукты метаболизма, не утратившие своего физиологического значения для микроба-продуцента» (Аристовская, 1973, с. 21).

У кишечной палочки выделено более 20 (!) типов хеморецепторов (химических сигнализаторов) белковой природы, обеспечивающих активное передвижение бактерии из неблагоприятных в благоприятные биохимические условия (Каппучинелли, 1982). Отсюда можно определить, каков может быть общий фон химической сигнализации в среде природного сообщества микроорганизмов, растений и животных. При всем этом достаточно очевидно, что в интересах управления удобнее всего воздействовать именно на коммуникации между особями и ценопопуляциями.

Все эти примеры и с консорциями, и с насекомыми — переносчиками вирусных инфекций, и с элементами почвенной микрофлоры убедительно показывают, что в биоценозе практически невозможно выделить чисто химические или чисто биологические явления. По-видимому, утверждение Ю. Одума о том, что «новому поколению экологов придется заниматься круговоротом почти всех известных элементов» (1975, с. 132), глубоко справедливо. В этих обстоятельствах, видимо, полезно присмотреться к поведению в биоценозах, как это ни парадоксально звучит, в первую очередь именно физиологически нейтральных, или «пассивных», химических элементов и веществ. В представлениях о круговоротах вещества и энергии в экосистемах абсолютизируется «безотходность» биологической технологии, но как в этом случае подходить к запасам углей, торфов, сапропелей? Два сборника — «Общие методы изучения истории современных экосистем» (1979) и «Частные методы изучения истории современных экосистем» (1979) — содержат описание множества способов консервации преимущественно в пределах биогеоценозов самой разнообразной биологической продукции. Таким образом, «круговороту почти всех известных элементов» может быть противопоставлен «круговорот остальных элементов», являющийся как бы матрицей или оттиском первого, но в исторической или даже палеоэкологической проекции.

---

## 2. Химические воздействия на биоценозы

Было время, когда считалось, что могущество химии, например, в сельском и лесном хозяйстве безгранично. Вскоре, однако, возникло множество ситуаций, послуживших П. Дювиньо и М. Тангу (1973) основанием для заявления: «...экологи обязаны умерить рвение химиков...» (с. 241). Такая постановка вопроса вряд ли справедлива. Не в противопоставлении эколога химику, а в объединении их усилий залог успешного решения многих проблем. Здесь нет надобности приводить многочисленные примеры и анализировать ошибки, допущенные в химических воздействиях на биоценозы, поскольку это уже сделано и делается в огромном количестве научных публикаций. Гораздо важнее обсудить некоторые общие моменты, либо недооцениваемые, либо часто упускаемые из виду. Иными словами, полезно еще и еще раз продумать логику воздействия на биоценозы и встречные реакции биоценозов.

Как уже отмечалось, по отношению к естественному транспорту минеральных и органических веществ, непрерывно совершающемуся в природе, все биогеоценозы могут быть подразделены на три типа: биогеоценозы, для которых преобладающей тенденцией является вынос материала; биогеоценозы, в которых приток и вынос веществ относительно сбалансированы (транзит материалов); биогеоценозы, для которых в валовом выражении характерно накопление материала. При более строгом подходе, который убедительно демонстрируется В. М. Фридландом (1972, 1975), характерную мозаику микрочастков трех перечисленных типов можно обнаружить в пределах одного и того же биогеоценоза. Последнее обстоятельство особенно актуально для агробиогеоценозов: в интересах прогрессивной технологии земледелия массивы все более укрупняются, а значит, становятся все более неоднородными в биолого-почвенном отношении.

Чтобы экологически грамотно выбрать вид удобрения для какого-либо сельскохозяйственного участка, прежде всего нужно решить, к какому из упомянутых типов он относится. На участках, где преобладает вынос или транзит материала, следует определить направление

стока. Естественные водоприемники стока с удобряемых полей необходимо как-то ограждать от взвешенных и растворенных в этом стоке веществ, чтобы предотвратить и остановить угрожающую деградацию качества воды в реках и состояния водных экосистем. В США, например, в среду вносится ежегодно около 500 тыс. т только токсичных препаратов, и комиссия Академии наук США пришла к заключению (1976), что сельское хозяйство, в частности, в Калифорнии является в настоящее время самым вредным для здоровья человека занятием.

Если без удобрений современное интенсивное хозяйство успешно развиваться не может и проблема заключается лишь в их экологически грамотном применении, то к биоцидам (гербицидам, пестицидам, инсектицидам, альгицидам и т. п.) экологи, как правило, относятся с большой осторожностью. Дело не только в том, что все эти вещества высокотоксичны. Гораздо более серьезная проблема та, что они в противоположность удобрениям применяются преимущественно в сложных по своей структурно-функциональной организации полидоминантных, разновозрастных и многовидовых сообществах, жизнедеятельность которых и без «грубого» химического вмешательства в большинстве случаев еще далеко не изучена, и здесь нужна крайняя осторожность.

Первые опыты по использованию химических средств для борьбы с сорными растениями в сельском хозяйстве и при лесовыращивании начались в последние десятилетия прошлого века (Шутов, Козлова и др., 1967). В качестве гербицидов и арборицидов (веществ, губительных для древесных растений) испытаны десятки тысяч препаратов и сотни отобраны для широкой практики. Преимущества химических методов борьбы с нежелательными компонентами сообществ по сравнению с механическими приемами вполне очевидны. Главное из них состоит в том, что обработку сообществ химическими веществами можно высоко механизировать, а следовательно, за короткие агротехнические сроки производить на громадных площадях. Гербициды избирательного (селективного) действия позволяют «наносить удары» по отдельным видам. Гербициды общестребительного (сплошного) действия уничтожают все растения, что может быть самоцелью при подготовке площадей под лесные питомники, экспериментальные посевы

и т. п. Американские стратеги, например, не преминули «испытать» в качестве экологического оружия смеси гербицидов последнего типа в ходе преступной войны во Вьетнаме: за период с 1961 по 1971 г. там было рассейано более 72 тыс. м<sup>3</sup> гербицидов на площади 1 709 тыс. га (Смирнов, 1981). Результаты такого «эксперимента» можно будет снимать на протяжении еще многих десятков лет.

Избирательность действия гербицида относительна, все зависит от дозы, места и времени его внесения в почву... «Принцип биологического накопления» (вещества в цепях питания) никто не отменял, поэтому не следует удивляться, когда вдруг обнаруживается, что содержание ядовитого препарата ДДТ в грудном молоке американских женщин в некоторых местностях в 3—10 раз превышает норму, установленную федеральным правительством для коровьего молока, поступающего в продажу (об этом факте сообщали американские журналы более 10 лет назад). По новейшим данным из тех же источников, сельхозкультурам США наносят ощущимый вред около 160 видов бактерий, 250 видов вирусов, 8000 видов грибков и 2000 видов растений (Science, 1982, v. 215, N 4529, p. 134). Отсюда ясно, с какими сложностями соприкасается практическое применение даже самых «безобидных» химических средств воздействия на естественные и культурные биоценозы.

Всем известно, каким серьезным бедствием и все более распространенным явлением становится «цветение» воды, т. е. массовое размножение в некоторых водоемах одноклеточных синезеленых водорослей. Л. П. Брагинским (1977) проведен анализ возможностей применения химических средств (альгицидов) в борьбе с этим явлением в водохранилищах. Автор сообщает, что американские специалисты испытали на ЭВМ в качестве альгицидов около 100 000 известных науке органических веществ. Машина отбрала из них всего 7 веществ, которые отвечали общим стандартным требованиям для этих целей. Пять из этих веществ были забракованы по различным причинам при экспериментальной проверке их действия. Оставшиеся два вещества оказались гораздо более опасными для человека и животных, нежели для пресловутых синезеленых водорослей... Характерен вывод самого Л. П. Брагинского: к идеалу «селективного альгицида» ближе всего стоят фитонциды

высших водных растений. Л. П. Брагинский привел мас-су наших отечественных экспериментальных данных, большинство из которых в дедуктивной постановке во-проса перед ЭВМ могло бы просто ужесточить общие требования к характеристикам «идеальных» альгицидов.

В последние годы открыты феромоны — летучие ве-щества, которыми самки насекомых привлекают самцов, и простагландины — соединения, которые в принципе управляют естественным синтезом феромонов. Эти вы-дающиеся открытия намечают необозримые перспективы в управлении жизнедеятельностью природных экоси-стем.

По-видимому, есть уже достаточно оснований утвер-ждать, что успех в применении химических препаратов против какого-либо отдельного компонента биоценоза тем надежнее, чем дальше этот компонент стоит от на-чала биоценологической пищевой цепи. В противном случае в силу эффектов накопления последствия могут быть самые неожиданные, в том числе и для человека.

Нами было исследовано воздействие тальковой пыли на древесную растительность в прилегающих лесных биогеоценозах. Было установлено, что в зоне распро-странения этой пыли на деревьях сосны, лиственницы и березы заметно возрастает частота возникновения так называемых «ведьминых метел». «Ведьмина метла» представляет собой пучки укороченных и бурно ветвя-щихся побегов с укороченной хвоей, обильно усыпанных мелкими шишками (у сосны и лиственницы). Было до-казано, в частности, что «ведьмины метлы» отличаются чисто женской сексуализацией, т. е. на них образуются только женские генеративные органы. Было исследовано семенное потомство «ведьминых метел» у сосны: уста-новлена его повышенная жизнеспособность (в опыте), показано расщепление признаков (из 50% семян с «ведьминой метлой» получаются нормальные растения, а другие 50% наследуют все признаки исходной «ведь-миной метлы»). Таким образом, потомство «ведьминых метел» неизбежно «засоряет» местную популяцию сос-ны растениями с заведомо патологическими и наследу-емыми (даже тиражируемыми) уклонениями от нор-мального генотипа.

Наше сообщение (Плотников, Семериков, 1976) за-интересовало экологов, генетиков и даже фармацевтов. Действительно, тальк (водный силикат магния ( $Mg_3$

$[Si_4O_{10}][OH]_2$ ), как известно, является весьма нейтральным веществом и широко применяется в бумажной, резиновой, парфюмерной и пищевой промышленности, а также в медицине и в сельском хозяйстве. И вдруг такой неожиданный эффект... Неужели он обладает какими-то канцерогенными свойствами? Разумеется, нет. Не содержится в нем и каких-либо добавок. Механизм действия талька в данном случае представляется следующим. Органы растений в естественных условиях очень часто повреждаются, хотя бы сильным ветром, морозами или животными. У растений при этом выделяются так называемые раневые гормоны, и повреждения быстро устраняются. Регенерационная способность тканей растений колоссальна. Тончайшая тальковая пыль, по-видимому, чисто механически блокирует нормальное заживление ран, и в них успевают проникнуть всевозможные вирусы, бактерии, микроскопические грибы (актиномицеты), мелкие насекомые и даже какие-нибудь действительно канцерогенные вещества, которые и являются истинными возбудителями тератологического эффекта (образования «ведьминой метлы»). В пользу этого объяснения говорил и тот факт, что в зоне воздействия выбросов талька существенно сокращена продолжительность жизни древесной хвои: тальковая пыль буквально забивает весь ассимиляционный аппарат растений. Аналогичное явление можно наблюдать и просто в лесных полосах вдоль оживленных автодорог...

Этот пример достаточно наглядно показывает, как даже самый безобидный фактор может иметь огромное экологическое значение.

---

### **3. Химические проявления биоценозов по отношению к смежным биоценозам и окружающей среде**

«Каждый биогеоценоз так или иначе влияет на другие биогеоценозы и вообще явления природы, соседние с ним или в той или иной мере удаленные от него», — писал В. Н. Сукачев (1964, с. 28). По-видимому, это положение представляется исследователям настолько очевидным, что они до сих пор считают его исчерпывающе раскрывающим суть явлений и

не уделяют внимания фактической стороне дела, сосредоточив свои интересы исключительно на анализе внутрибиоценозных превращений и перемещений вещества и энергии. Господствующими в настоящее время являются представления о «внутриценозных биологических круговоротах веществ», и они совершенно заслонили тот факт, что биогеоценоз — это открытая система. Убедительная критика некоторых концепций и состояния дел в этом вопросе дана в работе Н. В. Дылиса (1973а). Он пишет: «...взаимодействия между различными биогеоценозами, выражющиеся во взаимном обмене метаболитами, энергией и живыми организмами или их зачатками, играют роль важнейшего механизма, который обеспечивает как глобальную целостность биогеоценотической оболочки Земли, так и связанность ее отдельных крупных частей. Поэтому изучение этих взаимоотношений имеет прямое отношение к наиболее острым сейчас проблемам биосферы» (с. 71).

Известный норвежский ботаник К. Фэгри в статье с характерным названием «Экология опыления» (1979) приводит следующие любопытные данные: много клеток пыльцы деревьев просто падает через крону на землю и оказывается не дальше 50 м от ствола; другая часть пыльцевых зерен подхватывается ветром и переносится горизонтально на расстояние не более 300—500 м от материнского дерева, но некоторая часть пыльцы попадает в восходящие воздушные потоки, образует пыльцевое облако, зависает под инверсионным слоем воздуха (в котором зарождаются кучевые облака) и транспортируется на расстояние до 50 км; наконец, в очень сухом воздухе инверсионный слой не образуется, и пыльца в этом случае обнаруживается за сотни и тысячи километров от пункта ее образования.

В 1968 г. был впервые обнаружен эффект вторичного загрязнения воздуха лесной растительностью: французский биохимик К. Кормис установил, что растения, поглотив из атмосферы сернистый газ, затем выделяют его обратно вместе с сероводородом... Советские специалисты (Николаевский, Казекина, Видякина, 1976) выяснили, что кроме сернистого газа и сероводорода растения в этом случае выделяют еще и канцероген — сероуглерод, поглощая аммиак, они выделяют обратно в среду и аммиак, и окислы азота. Наконец, в майском номере журнала «Курьер ЮНЕСКО» за 1981 г. появил-

лось сообщение с Берега Слоновой Кости (Западная Африка): «Трудно было предположить, что тропический лес «вырабатывает» газы, обычно относимые к числу загрязняющих, такие, например, как сернистый ангидрид и другие сернистые соединения. Тем не менее здесь отмечено присутствие серы в воздухе в количествах, превышающих уровни содержания ее в сельскохозяйственных районах Франции и сопоставимых с уровнями, свойственными крупным промышленным городам. Сера в воздухе является продуктом распада органики при низком содержании кислорода» (с. 17).

Эти и многие другие примеры показывают, что естественные межбиогеоценозные коммуникации могут быть весьма протяженными, а транспортируемые вещества — чрезвычайно специфическими. Помимо ветра, воды и животных транспортирующим агентом в межбиогеоценозных отношениях все более становится человек. Его роль особенно велика там, где он оказывается в состоянии не только сам изымать, добавлять или перемещать вещество, но и влиять на мощность и направление потоков вещества на других, естественных трактах транспортировки. Именно в этой связи так актуальна организация исследований всех коммуникаций между биогеоценозами.

По-видимому, для этого уже на предварительном теоретическом этапе исследований полезно ввести понятие о «полигонах влияния биоценоза», подразумевая под ними картографические образы областей распространения отдельно твердых, жидких и газообразных выделений биоценоза, транспортируемых за его пределы отдельно водой, ветром и животными. Совокупность «полигонов» можно обозначить понятием «поле влияния биоценоза». На рис. 1 на примере степного колка в абстрактной форме показаны принципиальные соотношения между рассматриваемыми понятиями. Разумеется, на практике все это будет выглядеть очень непросто, особенно в сплошных массивах биоценозов и в части, касающейся роли животных, но обходиться без подобной формализации будет еще труднее.

Сориентировав модальный биоценоз относительно преобладающих направлений стока и ветра и расположив по определенной системе какие-либо датчики, свидетельствующие о наличии притока вещества из данного биоценоза, мы непременно обнаружим некоторые

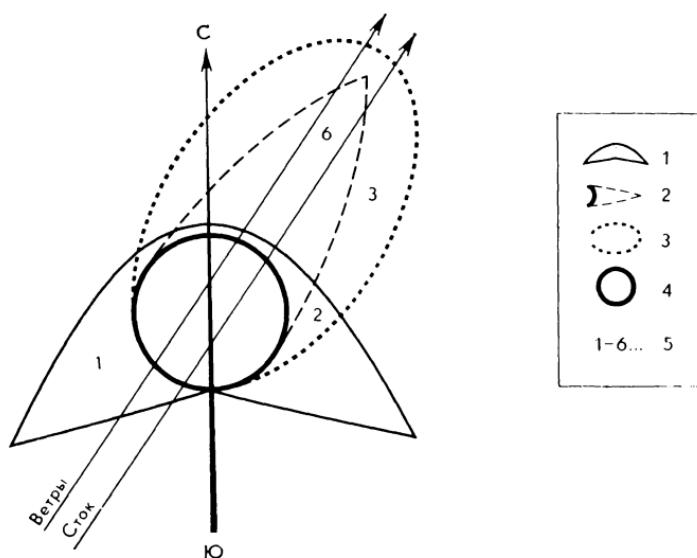
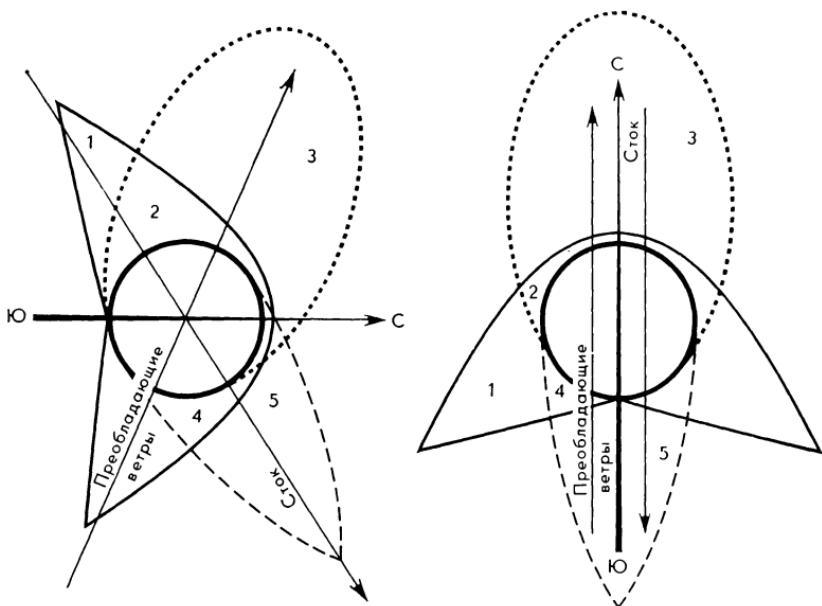


Рис. 1. Принцип установления поля влияния биоценоза: 1 — зона затенения в течение суток; 2 — зона перехвата и обогащения стока; 3 — ореол рассеяния продуктов жизнедеятельности ценоза с помощью ветра; 4 — степной колок; 5 — тип условий микросреды (элемент полигона влияния)

шлейфы или ореолы рассеяния вещества. Следующей ступенью будет определение фракционного механического состава выносимых веществ, их макроскопических особенностей. Наконец, после всех этих операций можно будет определить элементарный химический состав, а затем и физиологически активное начало (если таковое окажется) в метаболических выделениях биоценоза во внешнюю среду. Априори надо полагать, что валовой объем продуктов, выносимых за пределы биоценоза, в любой момент времени обратно пропорционален степени его структурно-функциональной целостности, которая в свою очередь зависит от фенологического и возрастного состояния ценопопуляций автотрофов-доминантов, воздействий человека и других причин.

Биоценозы аккумулятивного типа должны рассматриваться по принципиально иной схеме: для них основополагающее значение будет иметь определение границ водосбора, а также внешних источников органического и минерального вещества. К транзитным биоценозам должным образом применимы оба подхода. Эту логику можно распространить на какие-либо территориальные объединения биоценозов, особое внимание уделяя на этот раз уже и потокам энергии. В условиях Субарктики, например, нетрудно убедиться в огромном значении теплового стока из биоценоза в биоценоз (Плотников, 1984).

Постановка конкретных исследований по данным чрезвычайно интересным аспектам нуждается в материально-техническом или, точнее, инженерном обеспечении. Вполне очевидно, что проблемы, например, количественной оценки биологического воздействия химических выделений какого-либо промышленного предприятия поднимают в принципе те же вопросы, которые были поставлены выше, а следовательно, и логика исследований должна быть одна. Многие конкретные и специальные моменты проблемы химических воздействий на экосистемы промышленной среды освещены в книге уральского ботаника Ю. З. Кулагина (1974), а также в работах сибирского почвоведа С. С. Трофимова с сотрудниками (1977).



## ЭКОЛОГИЯ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Вода и жизнь — понятия неразделимые. Трудно удержаться от патетики, обсуждая проблемы водного хозяйства Земли, ведь вода — это поистине кровь биосфера. Предмет данной главы необъятен, и мы рассмотрим лишь некоторые, особенно актуальные проблемы.

### 1. Некоторые общие сведения о гидросфере Земли

Водой покрыто 70,8% поверхности земного шара, что в абсолютном выражении составляет  $3,61 \cdot 10^{18}$  см<sup>2</sup> (Куликов, Сидоренков, 1977). Общие ресурсы воды на поверхности Земли, по данным П. Вейля (1977), оцениваются следующими цифрами:

Морские воды	$1,4 \cdot 10^{24}$ г
Ледники	$1,5 \cdot 10^{22}$ г
Грунтовые воды	$5,0 \cdot 10^{20}$ г
Воды рек и озер	$10^{20}$ г
Воды в атмосфере	$1,7 \cdot 10^{19}$ г

В объемном выражении общий итог составит 1 386 млн. км<sup>3</sup>, из которых лишь 35 млн. км<sup>3</sup>, или 2,5%, приходится на долю пресных вод. В. И. Корзун и А. А. Соколов (1978) приводят следующие цифры: 24 млн. км<sup>3</sup> пресной воды находится в «законсервированном виде», т. е. в объеме ледников и снежного покрова Арктики, Антарктиды и Гренландии (это своего рода глобальный резерв пресной воды). Более 50 млн. км<sup>3</sup> пресных вод относятся к подземным запасам. Лишь 95 тыс. км<sup>3</sup> воды, т. е. 0,26% от суммарных ресурсов

пресных вод, или 0,007% от общих запасов воды на Земле, сосредоточено в реках и озерах. Любопытно, что в живом веществе планеты воды содержится примерно в 5 раз больше, чем во всех реках земного шара. На суше выпадает ежегодно в среднем 119 тыс. км<sup>3</sup> атмосферных осадков, из них около 45 тыс. км<sup>3</sup> выносится в Мировой океан реками, а 2 тыс. км<sup>3</sup> — ледниками стоками Арктики и Антарктиды.

Мировое потребление воды населением, промышленностью и сельским хозяйством, по сообщению Г. В. Воропаева (1978), достигло 3 тыс. км<sup>3</sup> в год, причем основным потребителем является сельское хозяйство. За последние 25 лет объем водопотребления утроился, а до конца века ожидается по крайней мере удвоение достигнутого к настоящему времени уровня.

Советский Союз занимает первое место в мире по запасам пресной воды и второе место (после Бразилии) по объему годового речного стока (Беличенко, Поляников, 1976). По данным А. Н. Вознесенского, Г. Г. Гандгардта и И. А. Герарди (1974), общий среднегодовой поверхностный сток всех рек СССР достигает 4700 км<sup>3</sup>, а подземный сток оценивается в 1100 км<sup>3</sup>. Объем водопотребления составляет около 350 км<sup>3</sup> в год, т. е. 7,5% по отношению к поверхностному стоку. Для сравнения отметим, что в США, по материалам Ю. Г. Ермакова и Г. С. Игнатьева (1978), объем водопотребления (около 600 км<sup>3</sup>) достиг уже 60% по отношению к пригодному для использования (без полного регулирования) годовому стоку рек с территории США. И несмотря на столь напряженный баланс, многие специалисты в США еще в конце 60-х годов пришли к выводу, что «привлечение стока с соседних территорий и из океана приведет лишь к увеличению объема грязных вод, и без того переполненных берега рек и озер страны» (Ермаков, Игнатьев, с. 89).

Таковы самые общие характеристики гидросфера как материального (вещественного) ресурса Земли и некоторых отдельных стран. Но это лишь один аспект ресурсной оценки, поскольку в гидросфере сосредоточена и подавляющая часть энергетических ресурсов планеты. Общий гидроэнергетический потенциал Земли составляет свыше 2200 кВт, при этом 30% приходится на страны Азии (без СССР), 19% — на страны Африки, 13% — на страны Южной Америки. Развивающимися

странами гидроэнергоресурсы в настоящее время осваиваются примерно на 7% (Стырикович, 1978). Один только Гольфстрим, например, по данным Национального управления океанографических и атмосферных исследований США, располагает мощностью, эквивалентной 25 млн. кВт. Как известно, одним из основных компонентов управляемой термоядерной реакции синтеза может быть дейтерий — тяжелый изотоп водорода. Дейтерий же составляет 0,015% от обычного водорода, содержащегося, например, в воде. Как сообщают Б. Б. Кадомцев и Г. А. Елисеев (1978), энергия, которую можно получить при термоядерном «сжигании» дейтерия, извлеченного из 1 л воды, эквивалентна энергии примерно 300 л нефти. Разумеется, на практике пока еще для добычи 1 т нефти требуется безвозвратно употребить в среднем 10 м<sup>3</sup> воды.

---

## 2. Морская экология

Как физический, причем исходный, первичный субстрат для органической жизни, морская вода обладает многими удивительными особенностями, которые еще только предстоит осознать. Например, только в последние годы благодаря исследованиям преимущественно советских гидробиологов (Зайцев, 1970; Цыбань, 1970; Дудка, Береговая, 1975; Нестерова, Пилищук, 1975) были выяснены основные закономерности жизнедеятельности нейстона — планктонного населения самого поверхностного слоя воды мощностью до 5 см. Достаточно серьезное внимание ученых привлек тот факт, что благодаря микроскопическим размерам абсолютно преобладающих по биомассе живых существ океана общая поверхность активного взаимодействия между отдельными частицами (живыми и мертвыми) и водой «превышает суммарную площадь всех остальных поверхностей раздела, вместе взятых, включая признаваемую наиболее «важной» поверхность океана — атмосфера» (Лебедев, Айзатуллин, Хайлов, 1974, с. 118).

Проблемы морской экологии помимо общеизвестных сводок П. Дювињо, М. Танга (1973) и Ю. Одума (1975) подробно рассмотрены в книге П. Вейля (1977). В данном же контексте достаточно выделить те обстоятельства, которые должен знать каждый человек.

Мировой океан является международным достоянием, поэтому его прогрессирующее загрязнение беспокоит всю мировую общественность. Ученые подсчитали, что в атмосферу ежегодно выбрасывается до 1 млрд. т пыли и других загрязнителей (Назаров, 1977). При этом не трудно подсчитать, что до 700 млн. т из них выпадает в океан.

Реки ежегодно выносят в Мировой океан около 3,5 млрд. т минеральных веществ, из которых 1,8 млрд. т выпадают в осадок, а 1,7 млрд. т растворяются. Можно возразить, что Мировой океан на протяжении всей геологической истории Земли испытывал воздействие этих факторов в результате вулканических извержений, денудационных процессов и т. д. Однако в качественном выражении выбросы вещества в океан стали сейчас совершенно иными. Неисчислимые бедствия причиняет одна только нефть, поступление которой в океан неуклонно растет. По расчетам английских специалистов (Tendron, 1965), только после второй мировой войны в море с судов ежегодно сливалось в среднем по 2,5 млн. м<sup>3</sup> нефтепродуктов, так что к настоящему времени только таким образом в море поступило уже около 75 млн. т нефтесмесей, а ведь это только один из многочисленных путей поступления нефти в море. Так, по данным А. Д. Говарда и И. Ремсона (1982), естественное просачивание нефти со дна морей и океанов в масштабах всего земного шара достигает более 600 тыс. т в год. При этом всего лишь 1 т нефти, разлившись по поверхности воды, способна образовать мономолекулярную пленку на площади 12 км<sup>2</sup> (Чичварин, 1970). Из-за аварий супертанкеров, сообщения о которых время от времени потрясают мир, отравляется жизнь на громадных участках моря и морских побережий (март 1978 г.— американский супертанкер «Амоко Кадис» с 220 тыс. т нефти терпит аварию у берегов Франции; декабрь 1978 г.— «Андрос Патриа»— 60 тыс. т нефтепродуктов; январь 1979 г.— «Бетельжез»— 120 тыс. т; июль 1979 г.— в Карибском море столкнулись танкеры «Эйджен кэптен» и «Атлантик экспресс»— 470 тыс. т нефтепродуктов). На глубину 120 м в 100 км от атлантического побережья Франции погрузился либерийский танкер «Джино» с 40 тыс. т нефти. Немалые хлопоты в конце 1981 г. причинила авария танкера «Глобе Асими» с 16 тыс. т мазута в окрестностях Клайпеды.

Ядерные испытания, развитие атомной промышленности и транспорта отрицательно сказываются на экосистеме океана. «Курьер ЮНЕСКО» в июле 1978 г. сообщал следующее: «Согласно прогнозам, к 1990 году при переработке отработавшего топлива будет образовываться до 20 000 кубометров высокоактивных отходов (ежегодно. — В. П.). Эти отходы содержат свыше 99% продуктов деления, имеющихся в топливе, а также небольшие количества трансурановых элементов. Высокоактивные отходы хранятся сейчас преимущественно в жидкой фазе, и некоторые трансурановые элементы будут оставаться опасно радиоактивными в течение нескольких сот тысяч лет. Пока не существует каких-либо надежных методов полного изолирования таких отходов от окружающей среды, с тем чтобы они оставались безопасными в течение долгих периодов времени». Около 7 тыс. т радиоактивных отходов, согласно сообщению того же журнала, ежегодно погружаются в специальных контейнерах на глубину 4500 м в Атлантический океан под наблюдением Агентства по атомной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР).

По мнению известного американского биохимика Э. Д. Голдберга, совершенно новую и чрезвычайно серьезную угрозу экосистемам океана представляют собой ежегодно миллионами тонн сбрасываемые в него синтетические вещества типа галогенпроизводных углеводородов (химикатов, содержащих атомы хлора и фтора). Весьма характерно, что программа контроля за состоянием некоторых тест-объектов (моллюсков и ракообразных) в связи с загрязнениями океана оценивается Голдбергом всего в 300 тыс. долл.

Среднегодовой мировой улов рыбы в последние годы стабилизировался на уровне примерно 60 млн. т, а только в одну Нью-Йоркскую бухту ежегодно сбрасывается 15 млн. м<sup>3</sup> промышленных и бытовых отходов. При этом обнаружены повышенная концентрация кишечных бактерий, гнойные заболевания плавников у рыб и деформации панциря у ракообразных (Science News, 1975, v. 108, N 1, p. 8).

Разумеется, в первую очередь и больше всего от загрязнений страдает микроскопическое автотрофное население моря, но многократно усиленные в цепях питания подобные эффекты в итоге обрачиваются и против

человека. В этой связи хотелось бы подчеркнуть следующее:

1. Основа глобального загрязнения океана «заложена» на суше, в бытовой и промышленной технологии. При этом в экосистеме Мирового океана возбуждаются новые биологические и биохимические процессы, уследить за которыми современная наука, к сожалению, в большинстве случаев не в состоянии.

2. Из-за огромной площади океана суммарные эффекты многочисленных мелких нарушений его экосистем технически неустранимы.

3. В последние годы начался процесс бурного освоения минерально-сырьевых ресурсов континентального шельфа и внутренних морей. Важнейшая задача мировой общественности в этой связи — организация своевременной международной экологической экспертизы технических проектов эксплуатации ресурсов моря, какой бы стране ни принадлежал прилегающий участок суши.

4. Функции океана в приложении к интересам человека чрезвычайно многообразны, и ближайшей теоретической задачей является построение функциональной модели Мирового океана именно с этой точки зрения. Обнадеживающим примером в данном случае может быть эффективная имитационная математическая модель экосистемы Азовского моря, выполненная в Северо-Кавказском научном центре высшей школы (Жданов, Горстко, 1980).

---

### 3. Речные экосистемы и поймы

Сколько рек на Земле и какова их общая протяженность? На этот вопрос ответить не просто. Ю. П. Беличенко и Л. Я. Поляников (1976) утверждают, что общая протяженность рек только на территории СССР составляет 3 млн. км. Однако И. В. Попов (1977) в своей книге о речных руслах сообщает, что на территории СССР имеется около 3 млн. рек (!) общей протяженностью более 10 млн. км. По-видимому, И. В. Поповым учитывались даже весьма мелкие, постоянно действующие русловые водотоки длиной в несколько сот метров. Если исходить из данных И. В. Попова и учесть, что территория СССР занимает около 15%

всей площади суши, то можно считать, что на Земле имеется около 20 млн. рек общей протяженностью 67 млн. км.

По данным П. Вейля (1977), относительная площадь бессточных районов, т. е. районов, не имеющих речного стока в Мировой океан, для суши в целом составляет около 33%, а для отдельных континентов она колеблется от 10% (в Северной Америке) до 6,4% (в Австралии). При этом лишь 800 тыс. км<sup>2</sup> бессточных котловин лежит ниже уровня моря (Толстой, 1975).

Одним из крупнейших в мире бессточных районов, например, является Арало-Каспийский бассейн. Площадь Арало-Каспийской области замкнутого стока, включающей также бассейны озер Балхаш, Иссык-Куль и др., равна 5,45 млн. км<sup>2</sup>, что составляет 23,9% территории СССР (Энергетические ресурсы СССР. Гидроэнергетические ресурсы, 1967).

Территорию, подобную Арало-Каспийскому бассейну, уместно считать единой, хотя и открытой экосистемой. Эпитет «открытая» в данном случае совершенно не смягчает остроты постановки вопроса. В конце концов существуют ли вообще в природе абсолютно закрытые экосистемы, этакие «вещи в себе»? Любую из них, даже экспериментальную, при зреющем размышлении можно назвести в ранг открытой... Вопрос, следовательно, стоит лишь в том, какие же преимущества дает, а точнее, может дать подход, при котором река и ее водохранилищный бассейн рассматривались бы как элементы единой и целостной экосистемы?

Собственно, балансовые гидрологические расчеты основываются всегда именно на таком подходе. Экологи же привыкли в данном случае оперировать чрезвычайно мелкими категориями: экосистемы устьевого участка реки, лотические сообщества (сообщества перекатов и плесов), экосистемы ручья, экосистемы низкой поймы, экосистемы свежих аллювиальных наносов и т. п. Ю. Одум (1975) справедливо подчеркивает, что, «учитывая интересы человека, минимальной единицей экосистемы следует считать не один водоем, а всю площадь водосбора... Причины загрязнения вод и способы борьбы с ним не удается обнаружить, если смотреть лишь на воду; наши водные ресурсы страдают из-за плохого хозяйствования на всей площади водосбора, который и должен рассматриваться в качестве хозяйственной единицы» (с. 26).

Специалисты из Северо-Кавказского научного центра высшей школы на своей модели экосистемы Азовского моря убедительно продемонстрировали жизнеспособность и актуальность высказанных идей. По-видимому, в условиях нашей огромной страны имеет смысл постепенно приводить границы административных районов и территориальных хозяйственных единиц в соответствие с границами водосборных бассейнов. Целесообразность подобных реформ была достаточно обоснована еще А. И. Войековым и В. В. Докучаевым.

Каждый бассейн, каждый водосбор уникален, однако именно поэтому и надо попытаться прежде всего расположить все их многообразие хотя бы в самую примитивную схему. Принципы построения классификации могут быть самые разнообразные, но нам следует предусмотреть возможность экологической оценки каждой из выделенных категорий водосборов, соблюдая при этом определенную преемственность между отдельными классификационными единицами.

Прежде всего мы должны выделить в самостоятельный тип водосборы, не имеющие речного стока в Мировой океан и не имеющие также внутреннего открытого водоприемника. С точки зрения не только экологии такая система является наиболее замкнутой: она ближе всего стоит к типу идеальных и гипотетических закрытых экосистем. В пределах этого типа можно выделить по крайней мере два подтипа: системы, не имеющие русловой гидросети, и системы, имеющие русловую, хотя бы и периодически действующую гидросеть. Рассмотрим, например, водосбор пустыни Рамлат-эс-Сабъатайн в Йеменской Арабской Республике, относящийся именно к первому типу и ко второму подтипу водосборов. Нет сомнения, что вся эта система имела некогда прямой сток в Аденский залив Аравийского моря, а еще раньше и сама в своей пониженной части была заливом этого моря. В данном случае мы имеем дело с реликтовой, деградированной и чрезвычайно древней гидросетью.

Далее мы можем выделить в самостоятельный тип водосборы, также не имеющие речного стока в Мировой океан, но имеющие открытый сток во внутренконтинентальные водоемы. В особые подтипы при этом можно выделить водосборы, имеющие сток в соленые озера и в пресные. Надо полагать, что в большинстве случаев водосборы с соленым «резервуаром» более древние, релик-

товые. Таков, например, бассейн соленого оз. Ван в Турции. У нас в стране много систем подобного подтипа (Волго-Каспийская система, системы Аральского моря и оз. Балхаш), но все они чрезвычайно изменены человеческой деятельностью.

Водосборы, имеющие прямой речной (русловой) сток в Мировой океан, вполне естественно подразделить на три подтипа: бассейны, имеющие сток непосредственно в океан (в море); водосборы, имеющие сток в эстуарий, т. е. в губу, в залив Мирового океана; наконец, самые распространенные на земном шаре экосистемы, имеющие речной сток в речную гидросеть более высокого порядка.

Водосборы выделенных типов существенно различаются между собой по географическому распространению, по происхождению, по ритмике стока и поведению вещества (косного и биогенного). Нет сомнения, например, что, соорудив водохранилище в бассейне последнего типа, мы переводим часть его водосбора, лежащую выше водохранилища, в режим предыдущего типа. Возникает справедливый вопрос: в чем состоят принципиальные экологические различия между водосборами рассматриваемых типов независимо от их известной географической изменчивости? Можно конкретизировать вопрос, например, таким образом: существуют ли (известны ли) сугубо биологические различия между бассейнами рек Терека и Кубани исключительно из-за того, что Терек впадает во внутренний континентальный водоем, а Кубань, хотя и опосредованно, имеет связь с Мировым океаном? Уровень Каспия, как известно, лежит на 28 м ниже уровня Черного моря.

Вполне очевидно, что первым каналом связи «снизу — вверх» для водосбора является базис эрозии. Повышение — понижение его через русловые процессы в гидросети несомненно отражается на состоянии всего водосбора, и в первую очередь на сукцессионных превращениях биоценозов, тяготеющих к водным коммуникациям. Биологические эффекты подобного рода могут быть чрезвычайно тонкими и различаться лишь при ювелирном геоботаническом исследовании. Здесь напрашивается определенная аналогия с проблемами, возникающими, например, при оценке биологических эффектов электромагнитных полей ЛЭП. И в том и в другом случае особое значение приобретают индикационные аспекты геоботаники и биогеоценологии: подбор тест-объектов; выбор

признаков биосистем, чувствительных к данному фактуру; совершенствование методов сбора и обработки материала массовых экологических наблюдений.

Вторым каналом связи между водоприемником и водосбором являются гидробионты. Их поведение с этой точки зрения, за исключением миграционных передвижений рыб, изучено еще недостаточно. Надо полагать, что значительная роль в перемещении низших гидробионтов (бактерий, водорослей, грибов, беспозвоночных) от устья реки по направлению к верховьям принадлежит наземным животным и особенно птицам. Со времен Дарвина и до наших дней биологи в своих теоретических представлениях о биологических коммуникациях громадное значение придают нередко лишь одной стороне дела, а именно фактору изоляции. В гидробиологии, однако, в силу чрезвычайной динаминости субстрата основополагающим во многих ситуациях может быть как раз фактор взаимодействия между, казалось бы, заведомо разобщенным в пространственно-временном отношении биологическим материалом. Рассмотрим более подробно одно из удивительнейших явлений отмеченного порядка.

Колебания базисов эрозии и их асинхронность наряду с локальными геоморфологическими процессами в смежных речных бассейнах приводят к речным перехватам и переливаниям рек (Болиг, 1956). При этом отдельные участки водосбора одной реки вместе с их биоценозами становятся принадлежностью другой реки, иногда весьма отличающейся по своим географическим и биологическим особенностям. По сообщению Е. В. Ястребова (1961), например, подобные явления, можно сказать, в классическом виде широко распространены на Северном Урале, во взаимоотношениях между бассейнами рек Вишеры и Лозьвы. Притоки Лозьвы с их более низкими долинами и базисами эрозии растут в длину в западном направлении, постепенно перехватывая сток меридиональных отрезков рек и ручьев западного макросклона Уральского хребта. При этом генеральный водораздел Европа — Азия постепенно смещается к западу, отдельные участки территории вместе с соответствующими биоценозами отходят к бассейну Оби. На рис. 2 показана принципиальная схема этого процесса, однако в ней не учтено, что в связи с изменением водоносности на рассматриваемых участках рек должны существенно изменяться и русловые процессы. Разумеется, при специальном

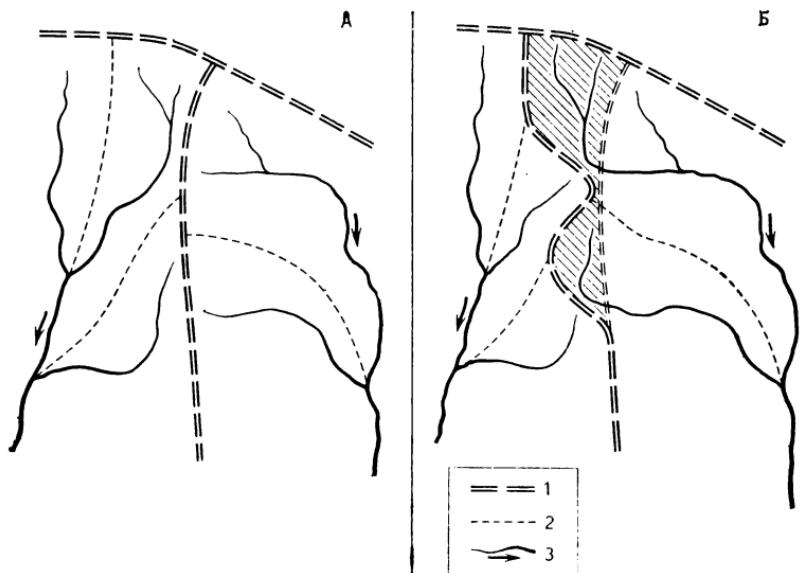


Рис. 2. Принцип перехвата стока одной реки другой: 1 — границы генеральных водосборов; 2 — границы второстепенных водосборов; 3 — реки

подходе можно найти немало способов абсолютной датировки и определения скоростей прохождения отдельных фаз этих процессов. С биологической точки зрения наибольший интерес в данном случае представляет то обстоятельство, что перехват части водосборов западного макросклона Урала реками восточного склона сопровождался своего рода «дрейфом» элементов европейского флористического и фаунистического комплексов на восток. Нечто подобное, только в более широких масштабах, может происходить и при перебросках стока рек.

При прочих равных условиях большое экологическое значение имеет относительное распределение территории водосборного бассейна по категориям сточных, транзитных и аккумулятивных ландшафтов, которое можно назвать «архитектоникой» бассейна. Это положение иллюстрируется в самом общем виде, на широком географическом фоне. Действительно, если принять площадь аккумулятивных ландшафтов в бассейне и вообще на какой-либо территории за константу, а сумму площадей сточных и транзитных ландшафтов — за «единицу» (1,0),

Таблица 2

**Расчет среднегодового объема стока, поступающего в основную гидросеть с водосбора, в зависимости от архитектоники бассейна (соотношения сточных и транзитных площадей),  
мм/год (Плотников, 1984)**

Наименование географической зоны	Среднегодовое количество осадков, мм	Испаряемость с поверхности суши, мм	Сток из бассейна при относительной доле сточных ландшафтов (от суммы сточных и транзитных)			
			0,8	0,6	0,4	0,2
Зона полярных пустынь и арктической тундры	250	180	29,7	39,8	49,8	59,9
Зона лишайниковой и кустарниковой тундры	350	250	42,9	57,2	71,5	85,8
Зона лесотундры	400	300	45,8	55,0	70,0	85,0
Северотаежная подзона	450	370	27,4	40,6	54,0	66,9
Среднетаежная подзона	500	460	10,6	17,9	25,3	32,6

то, исходя из известных зональных показателей среднегодового объема осадков и испаряемости, можно рассчитать объемы стока с водосборов в магистральные водотоки при различных соотношениях сточных и транзитных площадей. В табл. 2 приведены результаты такого расчета для нескольких ландшафтно-географических зон. Расчет сделан для четырех вариантов соотношения площадей сточных и транзитных ландшафтов в бассейне (0,8:0,2; 0,6:0,4; 0,6:0,4; 0,2:0,8).

Как видно, влияние этого фактора весьма существенно и отличается определенными зональными особенностями. Этот абстрактный расчет представляет отнюдь не академический интерес. В связи с водохозяйственным строительством (плотин, каналов) и прочими видами промышленной деятельности, особенно на равнинных территориях, мы невольно переводим некоторые площади из категории сточных в категорию транзитных и наоборот,

автоматически нарушая тем самым исторически сложившийся водный баланс отдельных бассейнов. Рассуждая аналогичным образом конкретно о короткой истории экосистемы бассейна р. Хадытаяха (Южный Ямал), было показано (Плотников, 1984), что доля транзитных ландшафтов в нем неуклонно увеличивалась за счет денудационного разрушения поверхности водоразделов, а значит, и приток воды с водосбора в долину реки при прочих равных условиях увеличивался (и увеличивается). Иными словами, было доказано, что формирование долинного биогеоценологического комплекса данной экосистемы протекало на фоне растущей обводненности, если даже атмосферное увлажнение и не увеличивалось. Экологическое значение подобных обстоятельств трудно переоценить.

Заманчивую перспективу для высокой формализации гидрографических и геоморфологических, а впоследствии и экологических представлений дает наблюдение И. Н. Степанова (1982): вода, стекающая с гор, способствует выработке на прилегающей равнине рельефа, антисимметричного рельефу горной системы. И в данном случае весьма наглядным образом подтверждается гениальная догадка В. И. Вернадского об универсальном методологическом значении явлений симметрии-диссимметрии в неживой и живой природе.

Аллювиальные наносы рек, как новейшие в геологическом отношении естественные субстраты, привлекают особое внимание экологов и геоботаников, исследующих смены растительного покрова. Замечательной особенностью аллювиальных отложений рек является их разновозрастность в пределах отдельных структурных элементов поймы (аллювиальных сегментов, островов), что определяет одновременное присутствие на них растительных сообществ, находящихся на разных стадиях индивидуального развития (сукцессии). Это обстоятельство позволяет из доступной наблюдению статики процесса аллювиальной сукцессии вывести его динамику, на что указывали в свое время К. Н. Игошина (1927) и Б. Н. Городков (1946). Интересный в этой связи анализ идей зарубежного поймоведения проделан Б. М. Миркиным и Н. Г. Ишбулатовой (1967).

Наиболее полные схемы процесса смен растительности на речных наносах даны Б. Н. Городковым (1946) для севера лесной зоны Западной Сибири и В. Шелфор-

дом (1954) для нижнего течения Миссисипи (Shelford, 1954). Оригинальные схемы или фрагменты схем составлены для аллювиев Камы и Чусовой (Игошина, 1927), долины Печоры (Самбук, 1930), верхней Оби (Бокк, 1966), Буреи (Нечаев, 1967), верховьев Вишеры (Плотников, 1968, 1970), некоторых рек Аляски (Drigg, 1956; Bliss, Cantlon, 1957). Обобщенная схема аллювиальной сукцессии представляется в следующем виде:

1. Стадия пионерных растительных группировок на свежих аллювиальных наносах, отмеченная преобладанием ползучекорневищных трав. Как показал А. П. Нечаев (1967), семена ивовых имеют специальные приспособления для заселения субстрата уже на этой стадии.

2. Стадия заливного луга; на горных отрезках рек обычно весьма быстротечная, во многих случаях длительно поддерживается хозяйственной деятельностью человека.

3. Стадия заливных кустарников, преимущественно ивовых.

4. Стадия первичного лиственного леса.

5. Стадия первичного хвойного леса.

6. Стадия субклиматика, т. е. биоценоза, близкого по своей структурно-функциональной организации к зональному типу ценозов, но не сменяемого последним в силу ощутимого влияния гидрологического и микроклиматического факторов речной долины.

Длительность отдельных стадий сукцессии и общая продолжительность полной серии смен растительности на речном аллювии зависят от многих обстоятельств и могут быть вычислены несколькими способами. Наиболее популярные способы основаны на детальной геоботанической съемке какого-либо конкретного острова или аллювиального сегмента и последующем ретроспективном хронологическом анализе (абсолютной датировке) отдельных разновозрастных элементов речных отложений и растительного покрова на них. Особую ценность при этом представляют исследования годичных приростов деревьев и кустарников. Датировки осуществляются, как правило, с весьма высокой точностью, а затем распространяются на определенные отрезки речной долины. Разумеется, чрезвычайно ценные результаты можно получить при анализе серии разновременных лоцманских карт одной и той же реки.

Нами разработан своего рода экспресс-метод определения скорости аллювиальных сукцессий, основанный на использовании материалов разовой аэрофотосъемки местности (Плотников, 1968, 1970). Для этого на определенном, генетически однородном участке реки (следует особо выделять по крайней мере верховья, среднее течение и низовья реки) путем дешифрирования аэрофотоснимков собираются характеристики как можно большего количества островов или сегментов. На каждом из островов выделяются зоны, соответствующие отдельным стадиям аллювиальной сукцессии (песчано-галечные косы с пионерными группировками растений, кустарниковые заросли, первичный лиственный лес, темнохвойный лес). Выбираются признаки, надежно дешифрируемые на снимках даже весьма низкого качества. На цветных и спектrozональных крупномасштабных снимках можно отдешифрировать множество промежуточных элементов сукцессии. По наличию или отсутствию отдельных зон, соотношению их площадей, по размерам и конфигурации островов их можно разбить на несколько групп, соответствующих гипотетическому генетическому ряду. Далее составляется и решается система уравнений, в которых пространственные параметры островов и количественные соотношения аллювиальных зон на них ставятся в пропорциональную зависимость от времени их существования. При некоторых специфических в каждом конкретном случае допущениях таким путем удается установить общую длительность сукцессии и ее отдельных этапов или стадий.

Наблюдения, выполненные самыми различными способами, показывают, что скорость сукцессии уменьшается, а ее продолжительность соответственно увеличивается по направлению от истоков реки к ее низовьям. Для крупнейших рек умеренного пояса северного полушария, таких, как Обь и ее притоки, Кама, Печора, длительность полного цикла аллювиальной сукцессии приближенно можно считать равной 200—250 годам в верхнем, 400—500 годам в среднем и 600—1000 годам в нижнем течении. Разумеется, самостоятельное значение в этом случае имеют и зональные климатические особенности, но выяснить его можно лишь на достаточно широком географическом фоне.

«Наши реки имеют некоторые особенности сравнительно с реками Западной Европы, всего лучше изученными

до сих пор. Две главные из этих особенностей: малое падение и правильность половодья весной», — писал А. И. Войков еще в 1888 г. (Войков, 1963, с. 193). Как было показано выше, скорость аллювиальных сукцессий практически прямо пропорциональна величине падения реки. Из-за этого мы располагаем весьма внушительными ресурсами речных пойм. По данным П. А. Худякова (1976), площадь пойм составляет 2,5% от всей площади СССР. По его же расчетам, поймы рек производят не менее 30% всей биопродукции континентальной части земного шара. В масштабах всей планеты, по сообщению А. В. Лапо (1979), поймы занимают меньше 1% поверхности, а производят около 10% живого вещества. Таким образом, биологическая продуктивность пойменных экосистем на порядок величин превосходит продуктивность всех других континентальных ландшафтов. Специфические особенности пойм (по П. А. Худякову) следующие:

1. Пойма, как аккумулятор питательных веществ, сакми и гарантирует, и регулирует свое плодородие.
2. В паводково-пойменном экологическом цикле складывается исключительно благоприятный газово-термический режим.
3. В нем смягчена суровость морозного периода.
4. Пойма представляет собой арену регулярных миграций животных.
5. Пойма — место переживания зимы для многих видов животных.
6. Сложная архитектоника пойм является причиной исключительного разнообразия их растительного и животного населения.
7. Пойма хорошо и регулярно промывается от всевозможных «шлаков».
8. Поймы до сих пор сохраняются в относительно не нарушенном состоянии (если не учитывать грандиозные затопления, спрямления русел рек и т. д.).

К этому перечню следует добавить, что пойма — это убежище для растений и животных от многих неблагоприятных, так называемых исторических факторов (урбанизаций, войн и пр.). Особую ценность представляют пойменные луга. Характеризуя их, А. Н. Тюрюканов, И. Т. Кузьменко и М. Т. Павлова (1971) утверждают, в частности, что «качеству биопродукции пойменных лугов следует отдать предпочтение перед ее количеством»

(с. 50). Тенденция превращать пойменные луга в пашню чрезвычайно неблагоприятна еще и потому, что «для смыва почвы толщиной 15 см на пашне требуется всего 15 лет, а на лугу — 3500 лет» (Попов, 1977, с. 83). Даже в Субарктике отдельные типы пойменных лугов могут производить в год до 150 ц/га надземной биомассы в воздушно-сухом весе (Пешкова, 1977). По-видимому, проблема рационального использования пойменных земель будет решена тогда, когда агрономы, животноводы и экономисты будут давать товарную оценку каждому квадратному метру поймы, изымаемому для каких-либо нужд из естественного биологического оборота.

Специфическим элементом пойм равнинных сибирских рек являются так называемые «сора» или «туманы» — мелководные, то промерзающие, то обсыхающие озеровидные разливы рек преимущественно в их устьевых участках (Вагильский Туман на р. Вагиль, Пелымский Туман на р. Пелым; Турсунский, Шаймский Туманы и Кондинский Сор на Конде, Харбейский, Веленгамский и Воронковский Сора на Оби и многие другие). Известно, что это нерестилище и нагульные пастища ценнейших пород рыб, а также великолепные охотничьи угодья. Они же являются и регуляторами ледовой обстановки на реках... Но каков генезис этих водоемов, какова их связь с новейшей тектоникой Западной Сибири, на конец, каково их будущее в связи, например, с эксплуатацией знаменитых нефтяных и газовых месторождений? Эти и десятки других, более специальных вопросов ждут своего незамедлительного разрешения.

Анализируя современные представления о влиянии лесохозяйственных и лесомелиоративных мероприятий на речной сток, иногда высказываются лишь некоторые общие, «гарантийные» соображения: «...при сокращении лесопокрытой площади всей лесной зоны примерно на 15% водный режим рек заметно ухудшится, что выражается прежде всего в ослаблении подземного питания из-за засыпания источников в результате возросшей эрозии и из-за нарушения водного баланса» (Идзон, 1974, с. 72). Но что такое лесная зона? На территории нашей страны она слишком обширна и неравномерно освоена, чтобы рассматриваться в качестве единой хозяйственной единицы. Лесная зона — это прежде всего своего рода конгломерат водосборных бассейнов различной облесенности. Концепция водосбора как элементарной водохозяй-

ственной и естественноисторической категории представляется в данном случае весьма конструктивной. Действительно, расположив, например, все водосборы лесной зоны в порядке уменьшения их лесистости, мы одновременно получим ряд рек, в котором наверняка возрастает амплитуда внутригодовых колебаний стока. Далее следует установить более тонкие детали, а именно как зависят относительные параметры стока от видового состава и возрастной структуры лесов водосбора. Наконец, особый интерес представляет выяснение зависимости параметров стока от соотношения облесенности истоков реки, облесенности транзитных отрезков реки и ее устьевой части. Любопытные результаты по исследованию влияния залесенности, заболоченности и озерности территории водосбора на некоторые характеристики стока для отдельных районов Западной Сибири приводятся в книге «Закономерности и прогнозирование природных явлений» (1980). Данные о зависимости параметров речного стока от лесистости водосборных бассейнов приведены И. С. Сафаровым (1982) для горных экосистем Азербайджанской ССР.

Как видим, требования экологического подхода отнюдь не сложны, и решение этих вопросов даст нам в руки надежную научную основу для планирования водохозяйственных мероприятий. Именно пересмотр официальных форм учета лесного фонда нашей страны, основанных на административном и ведомственном соподчинении территории, и приближение содержания и структуры учета лесного фонда к рассмотрению водосбора как элементарной статистической единицы гарантирует понимание функциональной природы лесов страны по отношению к ее водному хозяйству.

С экологической точки зрения очень важен учет объемов и «поведения» теплового стока рек, особенно в северных районах страны. Тепловым стоком называют количество тепла, переносимое рекой через какое-либо ее сечение за единицу времени (Одрова, 1980). Тепловой сток  $\Theta$  за время  $T$  вычисляется по формуле

$$\Theta = c \cdot \gamma \cdot Q \cdot T \cdot t,$$

где  $t$  — средняя температура воды,  $Q$  — расход воды (объем воды, протекающий за секунду через данное сечение реки),  $c$  — теплоемкость воды и  $\gamma$  — ее удельный вес.

Из формулы следует, что величина теплового стока зависит главным образом от температуры и расхода воды, которые подвержены сезонным и многолетним колебаниям и доступны регулированию. Максимум теплового стока рек приходится на летние месяцы. Это и определяет его огромное экологическое значение.

В мировой практике сложилось и наполняется все новым содержанием понятие «международная река» (Чичварин, 1970). Вполне очевидно, что концепция водосборного бассейна как единой и целостной экосистемы приобретает в данном случае международно-правовое и экономическое значение.

В последние годы общественность начала проявлять интерес к проблемам малых рек. Известный знаток речных систем С. Л. Вендров определяет их следующим образом: «К малым обычно относят реки, у которых площадь водосбора не более 2 тыс. кв. км или же у которых длина не более 100 км независимо от площади водосбора. Критерии эти, конечно, весьма условны» (Наука и жизнь, 1983, № 9, с. 2). Малые реки у нас в стране составляют около 99% от их общего числа, а их суммарная длина достигает 92% от общей протяженности рек Советского Союза. Комментарии к этим данным поистине излишни.

---

#### 4. Озерные экосистемы

По сообщению Ю. П. Беличенко и Л. Я. Полянинова (1976), на территории СССР расположено 285 тыс. озер. Надо полагать, что эта цифра очень занижена, поскольку, по данным С. С. Фолитарека, Н. В. Востряковой и В. А. Понько (1976), только в Западной Сибири насчитывается 1,14 млн. озер общей площадью 66,7 тыс. км<sup>2</sup>, из них в лесной зоне расположено 0,91 млн. озер общей площадью 45 тыс. км<sup>2</sup>.

Известный американский лимнолог Дж. Хатчинсон (1969) по способу образования выделяет 76 типов озер и включает сюда искусственные водоемы (пруды и водохранилища), что вряд ли правомерно. Все существующие классификации озер основаны на свойствах собственно водоемов, т. е. в них не учитываются в достаточной мере геологические, исторические и биогеоценологические особенности водосборных бассейнов, что существует

венно ограничивает понимание их динамики, особенно под влиянием человека. Самостоятельное значение приобретает необходимость региональных классификаций озер по их санитарным, рекреационным и даже эстетическим признакам. Наконец, до сих пор отсутствует единая классификация озерных ландшафтов, т. е. генетически однородных региональных объединений озер: озерно-болотно-лесных, озерно-степных, озерно-ледниковых и других комплексов.

Как и во многих других случаях, полезно подразделение озерных экосистем на сточные, проточны (транзитные) и аккумулятивные. Различия в динамике экосистем упомянутых типов на едином географическом фоне поразительны. Рассмотрим конкретную ситуацию.

В августе 1908 г. участником Ямальской экспедиции Русского Географического общества капитаном В. Н. Введенским (см.: Записки по общей географии Имп. Рус. геогр. об-ва, т. 48, 1911; т. 49, 1912) была произведена мензульная топографическая съемка самых крупных водораздельных озер Центрального Ямала — Нейто (Малто), Нейто (Ерто), Нейто 1-е (Нгэвогыто) и Ямбуто. Первые три озера сообщаются между собой, имеют абсолютные отметки уреза воды 15 м над ур. м., а сток из них происходит и в Байдарацкую, и в Обскую губу. Оз. Ямбуто имеет абсолютную отметку уреза воды 16 м и сток в Обскую губу. Длина последнего озера достигает 22 км, а глубина — 28 м (13 саженей, по данным Введенского). Общая площадь этих озер достигает 550 км<sup>2</sup>.

Вполне очевидно, что система упомянутых озер может служить увеличенной (!) моделью тех гидрографических процессов, которые происходят в любой ямальской системе необозримого множества более мелких водораздельных озер. В этой связи особое внимание к рассматриваемой системе привлекают именно данные инструментальной съемки 1908 г. Настоящее и будущее этой системы мы можем исследовать когда и как угодно, но ее прошлое навсегда документально запечатлено в уникальных материалах Введенского.

Исходя из этих предпосылок, мы проделали небольшое самостоятельное исследование, техника которого предельно проста. Приведя карту Введенского и топокарту 1955 г. к единому масштабу, мы совместили их, добиваясь максимального совпадения контуров обрывистых берегов озер. На совмещенной карте особо были вы-

делены участки, которые в 1908 г. представляли собой сушу, а к 1955 г. оказались покрытыми водой; далее были выделены участки, претерпевшие обратный процесс; наконец, из всех последующих построений была исключена южная половина оз. Малто, поскольку для нее данные Введенского недостоверны (инструментальная съемка там не производилась). Как и следовало ожидать, контуры на период 1908 и 1955 гг. совместились в целом вполне удовлетворительно. Наибольшие расхождения обнаружились именно на пониженных участках озерного побережья и в мелководных зонах озер. Местами, особенно на оз. Ямбуто, береговая линия за рассматриваемый отрезок времени сместила на расстояние более 2 км, и нет никаких оснований считать, что это всего лишь искажение, допущенное при съемке или при трансформации карт. По совмещенной карте проведена серия измерений и вычислений, результаты которых показаны в табл. 3.

Таблица 3

**Сравнительная характеристика некоторых водораздельных озер Центрального Ямала по данным съемок 1908 и 1955 гг.**

Название озера	Площадь озера в 1955 г., км <sup>2</sup>	Изменения акватории озера за период с 1908 по 1955 г.		Сумма изменений акватории	
		Приращение, км <sup>2</sup>	Сокращение, км <sup>2</sup>	Площадь, км <sup>2</sup>	В % от площади озера
Малто	219	8,75	2,25	11,00	5,0
Ерто	106	7,00	3,00	10,00	9,4
Нгэвогыто	50	4,25	3,50	7,75	15,5
Итого...	375	20,00	8,75	28,75	7,7
Ямбуто	169	3,50	28,75	31,75	18,8
Всего...	544	23,50	37,50	60,50	11,1

Следует заметить, что оз. Ямбуто — сточное, причем его собственный водосборный бассейн весьма невелик. Озера Малто, Ерто и Нгэвогыто — проточные, их собственный объединенный водосборный бассейн довольно значителен, и к тому же они взаимно зарегулированы. Все это дает основание предполагать, что режим оз. Ямбуто должен быть наиболее динамичным. Режим трех

других озер должен быть сравнительно стабилен, причем степень их зарегулированности должна возрастать от оз. Нгэвогыто к озерам Ерто и Малто.

Как видно, данные таблицы вполне подтверждают высказанные выше соображения. «Изменчивость» сточного озера Ямбуто оказывается более чем вдвое выше изменчивости группы проточных озер. Самое же замечательное, что изменения озер рассматриваемых типов происходили с противоположной направленностью. Акватерия оз. Ямбуто в целом неуклонно срабатывалась, а озера противоположного типа увеличивались в размерах, и все это происходило на фоне одинаковой обводненности (точнее, единых колебаний обводненности) территории. Вполне очевидно, что ценные результаты динамического порядка можно получить, продублировав эти наблюдения по новейшим топографическим материалам. Экологические и гидробиологические исследования рассматриваемой группы озер приобретут при этом достаточно надежную историческую и геоморфологическую основу.

Что касается классификации собственно озерных водоемов, то следует отметить несколько их наиболее распространенных типов, выделяемых в зависимости от глубины водной толщи, местного климата и содержания химических примесей в воде.

На основании глубины водоема выделяют три типа озер. Меромиктические — очень глубокие озера, в которых наблюдается постоянная стратификация водной толщи на верхний, хорошо перемешиваемый и соответственно богатый кислородом слой, называемый эпилимнионом; и нижний, застойный, более холодный и почти лишенный растворенного кислорода слой, называемый гиполимнионом. Граница резкого перепада температуры между упомянутыми слоями называется термоклиной. В озерах умеренных широт термоклина залегает обычно на глубине 5—10 м.

Голомиктические озера — более мелкие, один или несколько раз в году перемешиваемые на всю глубину, в которых стратификация имеет не постоянный, а периодический характер. К третьему типу относятся озера глубиной в несколько метров, в которых термической и химической стратификации вообще не происходит.

По частоте и периодичности циркуляции вод в связи с климатом выделяется несколько типов озер, главным

образом в арктических и тропических областях. Озера же умеренных широт относятся все к типу димиктических, т. е. характеризующихся двумя периодами активного перемешивания и обновления вод (весной и осенью). Для наших условий весьма актуально подразделение озер в соответствии с климатом на промерзающие и непромерзающие, заморные и т. д.

Наиболее отвечающей интересам экологии является классификация озер по химическим особенностям воды и по их биологической продуктивности. На основании этих признаков выделяются три крупных типа озер. Олиготрофные — как правило, глубокие озера с прозрачной и холодной водой, бедной минеральным азотом и фосфором, с достаточным содержанием кислорода, но низким содержанием  $\text{CO}_2$ . Эвтрофные — неглубокие малопрозрачные озера, из-за геологических и прочих особенностей водосбора богатые азотом и фосфором. Биологическая продуктивность их весьма высокая, поэтому временами (особенно в глубинных слоях) ощущается острый дефицит кислорода. Азот при этом переходит в аммиачную форму. Дистрофные — мелкие озера в торфяных берегах. Вода в них окрашена в бурый цвет взвесью гуминовых веществ, вымываемых из торфяной залежи. Кислорода в воде чрезвычайно мало, жизнь в озере и само оно постепенно деградируют.

Между этими типами имеется масса взаимопереходных состояний. В частности, выделяются широко распространенные олиготрофно-эвтрофные (мезотрофные) озера. В целом в связи с аллювиальным процессом и сукцессиями водной растительности озера эволюционируют от олиготрофного к дистрофному типу. В результате человеческой деятельности на водосборных территориях эта естественная тенденция усиливается.

Не затрагивая здесь обширной области гидробиологии озер, совершенно необходимо рассмотреть ряд моментов, имеющих наибольшее практическое значение. К ним относится явление эвтрофикации (обогащения) водоемов — поистине ключевая проблема при оценке состояния и перспектив озерного хозяйства. Угроза эвтрофикации весьма актуальна и для океана. Эвтрофикацией называется процесс преобразования водной экосистемы в результате привнесения в водоем минеральных и органических питательных веществ с водосбора в таких количествах, которые не могут быть усвоены биоценозом

водоема. Известные формулировки Ю. Одума (1975) в данном случае усилены указанием на то, что эвтрофикация — это процесс, и в первую очередь он связан с состоянием водосбора, с хозяйственной деятельностью на его территории.

Уместно заметить, что жизнь на Земле еще с момента ее зарождения сопровождалась локальными проявлениями эвтрофикации, т. е. это явление не характерно исключительно для современной геологической эпохи. Именно грандиозным масштабам эвтрофикации в отдаленном геологическом прошлом планеты мы обязаны сегодня наличием залежей угля, месторождений нефти, газа, горючих сланцев и многих других полезных ископаемых биогенного происхождения. Более того, эвтрофикация в прошлом могла быть одним из существенных факторов эволюции метаболизма сообществ, их структурно-функциональной организации, особенно в гетеротрофном цикле. На рис. 3 основные пути эвтрофикации сведены в схему.

Следует пояснить, что на рисунке отражены только новые причины эвтрофикации, связанные с деятельностью человека. Самостоятельное значение придается «тепловым загрязнениям» водоемов. В этой связи надо целиком согласиться с Ф. Д. Мордухай-Болтовским (1975), что «изучение тепла как экологического фактора в изменяемых человеком природных комплексах, по существу, только начинается» (с. 66). Как показано на схеме, отдельные тракты эвтрофикации обладают так называемым множественным эффектом, т. е. несут одновременно органические, минерально-солевые и тепловые загрязнения. Многие источники эвтрофикации обладают кумулятивными свойствами, т. е. в зависимости от дозы и периодичности воздействия могут то подавлять, то стимулировать метаболизм экосистемы. Наконец, отдельные «эвтрофикаторы» образуют между собой самые причудливые комбинации, суммарные биологические эффекты воздействия которых на текущем уровне знаний практически непредсказуемы.

Вполне очевидно, что подобные схемы должны быть составлены для каждого водоема, находящегося в критическом состоянии и нуждающегося в оздоровлении. Они и будут основной предпосылкой для выбора оптимальной стратегии борьбы с эвтрофикацией данного конкретного водоема.

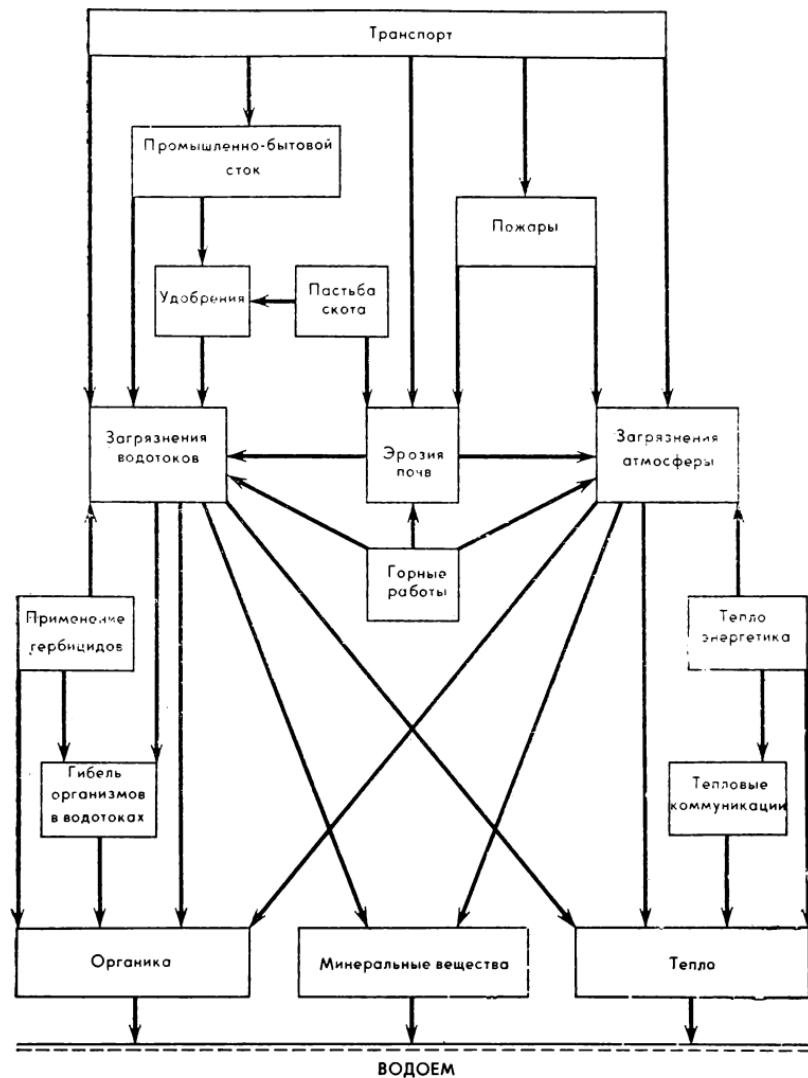


Рис. 3. Пути эвтрофикации водоемов

Переходя к рассмотрению механизма эвтрофикации, следует подчеркнуть, что современные представления о нем весьма поверхностны: преобладают догадки и качественные предположения, но почти отсутствуют количественные оценки явлений. Естествознание, понимаемое

в самом широком смысле, стоит здесь перед множеством проблем. Ведь в конце концов даже о воде как об активном субстрате протекания эвтрофикации предстоит выяснить очень многое. Французский физик М. Батисс весьма справедливо и своевременно заметил по этому поводу: «...понадобится еще много времени, прежде чем мы узнаем все об этом сложном веществе — жидкой воде. Физики продолжают выдвигать теории и строить модели, пытаясь объяснить все ее свойства» (Батисс, 1978, с. 16).

На рис. 4 сведены в определенную систему некоторые достаточно известные представления об отдельных элементах механизма эвтрофикации. Эта логическая схема, являющаяся по существу продолжением предыдущей (рис. 3), может служить вспомогательным средством для понимания действия на гидроэкосистемы всевозможных токсичных веществ, эффективность, производство, применение и соответственно утечки которых растут с фантастической скоростью. Особо следует продумать схему и конкретное содержание отдельных этапов эвтрофикации: механизмы вспышек и угасания автотрофного и гетеротрофного циклов метаболизма озерных биоценозов. Создание количественной и динамической модели явления эвтрофикации представляется одной из важнейших междисциплинарных проблем современности.

Попытки «лечения» озер предпринимаются во многих странах и на всех континентах. В Западной Европе наиболее радикальные меры для оздоровления озер предпринимаются ГДР, Венгрией, Швецией, Францией, Данией и Италией. В Венгрии на оз. Балатон построены сооружения, перехватывающие сток в него органических веществ (Sigray, 1979). Относительно знаменитого Женевского оз., например, с 1963 г. действует франко-швейцарская конвенция. На основании конвенции на озере сооружено около 100 очистных станций, запрещен сброс пестицидов, начаты работы по дефосфатации стоков. К 1978 г. качество воды в Женевском оз. стабилизировалось, но существенное улучшение обстановки ожидается не ранее чем через 15 лет (Vernet, Scolari, 1980). В Швейцарии же в отдельных случаях рекомендуется извлечение глубинных вод и их обогащение кислородом (Ambühl, 1978).

Во Франции наиболее серьезное положение сложилось на крупнейшем оз. Бурже (площадь 45 км<sup>2</sup>): для

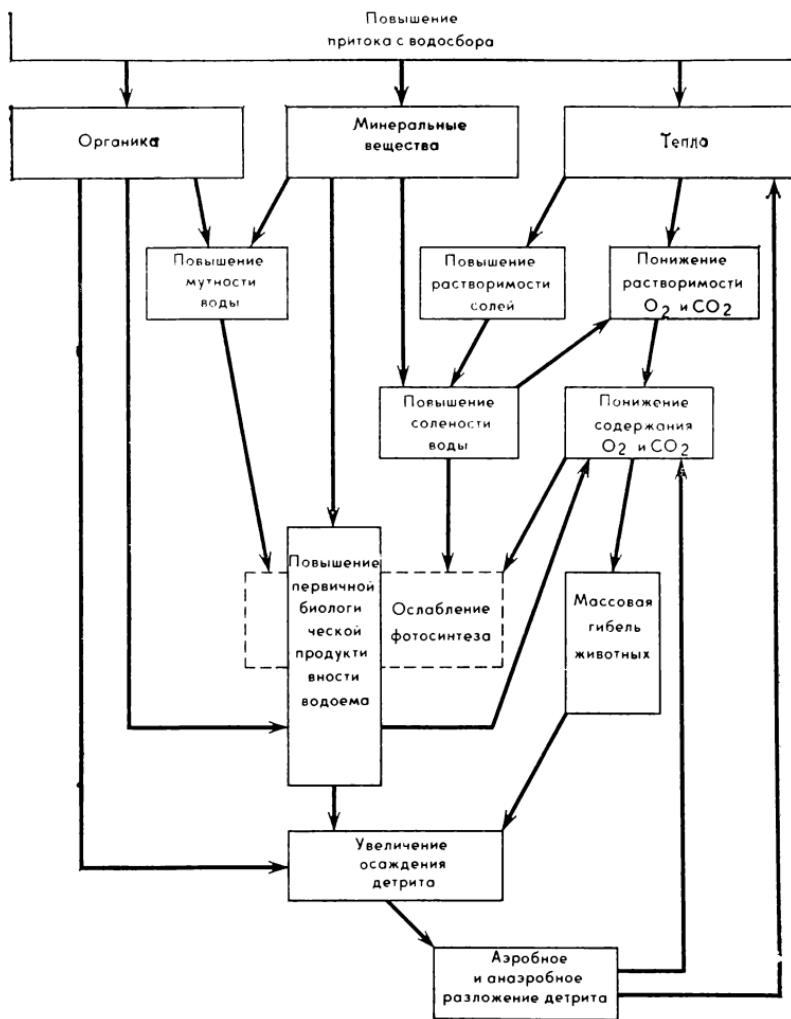


Рис. 4. Принципиальный механизм эвтрофикации водоемов

его сохранения требуется на 95% сократить сброс в него сточных вод. С этой целью за пять лет построен подземный коллектор (Rey, 1980). Канал-коллектор сооружен также вокруг оз. Паландру (Chassin, 1978). Аналогичным образом поступают в Италии: там на оз. Варези сооружена система перехвата стоков и переработки их на центральной станции очистки, а не на мно-

жестве мелких станций; централизованная очистка считается более эффективной (Frangipane, 1978). В Дании на примере оз. Наксков для очистки речных стоков в озеро весьма успешно применяют водорослевые пруды-отстойники (Nyholm, Sorensen и др., 1978).

В Швеции действуют наиболее радикально: на небольших озерах откачивают со дна ил, транспортируют его в отстойники и используют в дальнейшем в качестве удобрения. В ряде случаев органические осадки с помощью соответствующих веществ биохимически окисляются непосредственно в озере. Наконец, сильно эвтрофицированные и заросшие высшей растительностью озера механически пропалываются в несколько приемов с культивацией грунта — вычесыванием и измельчением корней растений (Gelin, 1978; Roralett, 1978). Аналогичные мероприятия практикуются и в ГДР, где только до 1980 г. на «лечение» озер было ассигновано 130 млн. марок.

В США и Канаде наиболее острыя проблема — сохранение Великих озер. С 1972 г. действует канадско-американская комиссия по качеству воды в Великих озерах, имеющая соответствующие научно-исследовательские вспомогательные подразделения. Важнейшие мероприятия предусматривают устранение фосфатов из моющих препаратов, более полную очистку сточных вод, механическое усиление водообмена, удаление высшей водной растительности, аэрацию гиполимниона (Delfino, 1979; Maugh, 1979). Для строительства очистных сооружений на Великих озерах от США требуется около 5 млрд. долл. капитальных затрат, от Канады — 65 млн. долл. Как видим, дело восстановления нарушенных озерных экосистем весьма сложное и дорогостоящее, но общество вынуждено идти на это.

В связи с растущими антропогенными «нагрузками» на озерные ландшафты большой научный и практический интерес представляют исследования динамики превращений в системе: «озеро — болото (дериват озера) — лес (дериват озера — болота)». Термином «дериват» в широком смысле обозначается производное от чего-либо первичного (болото на месте озера — дериват озера, лес на месте болота — дериват болота и т. д.). Вполне очевидно, что эта проблема затрагивает интересы не только озероведения, болотоведения и лесоведения. На примере группы озер Ильменского государ-

ственного заповедника на первый взгляд с противоположных, а фактически — взаимодополняющих исходных теоретических и методических позиций были сделаны первые попытки в изучении этой проблемы (Маковский, 1978а, 1978б; Плотников, 1978а, 1978б).

В. И. Маковский тщательно исследовал структуру фитоценозов и стратиграфию торфяной залежи на нескольких типичных дериватах озер. Многие по результатам дешифрирования аэрофотоснимков были получены и статистически обработаны сведения о нескольких десятках генетически сходных и одновозрастных озерно-болотно-лесных комплексов, находящихся в различных состояниях деривации («продвинутости замещения»). И в том и в другом исследовании были даны региональные прогнозы (в том числе и количественные), которые в основных своих чертах совпадают. И все-таки полученные результаты недостаточно корректны, поскольку в обеих работах не принимались в расчет параметры и вообще какие-либо характеристики водосборных территорий исследуемых водоемов. Исследования должны быть продолжены именно с учетом всевозможных характеристик, а указанные работы могут быть полезны в рекогносцировочном и методическом плане.

Выше речь шла главным образом о пресных озерах. Соленые озера имеют множество специфических особенностей. Как известно, к пресным относятся воды, содержание растворенных солей в которых менее 0,1%; при минерализации от 0,1 до 3,5% воды считаются солоноватыми, а собственно соленые — это воды с минерализацией более 3,5% (в открытом океане на глубине 300 м соленость составляет 3,5%). Соленость и химический состав солей в соленых озерах варьируют в широких пределах. Так, известны карбонатные, углекислые (содовые), сульфатные, сернокислые, хлоридные и многие другие типы химического состава озерной воды, а содержание солей может достигать нескольких десятков процентов. В зависимости от гидрометеорологических факторов соленость и тип минерализации в одном и том же озере могут периодически изменяться, подчиняясь одновременно нескольким хронологическим ритмам.

Особый интерес для эколога представляют озерные провинции, подобные Северному Казахстану, где пресные и соленые озера чередуются в непосредственной бли-

зости одно от другого, а иногда даже отдельные участки одного и того же озера могут быть либо пресными, либо солеными. В таких ситуациях требует специального изучения структура и динамика населения переходной полосы. В целом же видовое разнообразие растений и животных в соленых озерах по сравнению с пресными обычно невелико, но популяции отдельных видов могут достигать очень высокой плотности. Существенную роль в эвтрофикации таких водоемов играют водоплавающие птицы.

К числу зональных природных явлений относятся озера термокарстового типа, распространенные в поясе многолетнемерзлых грунтов, занимающем около 49% территории СССР. Характерной особенностью этих озер является их высокая геоморфологическая активность: на Южном Ямале, например, термокарстовые озера занимают около 20% площади, но их деятельностью переработано до 50% поверхности водораздельных пространств. Имеются убедительные доказательства, что днища спущенных термокарстовых озер можно трансформировать в превосходные луга (Крючков, 1979). Народнохозяйственное значение озер многообразно: здесь надо учитывать кроме биологических ресурсов и запасы различных солей, и урожай тростника (до 200 ц с гектара), и лечебные грязи, и залежи сапропеля, и отложения торфа... Степень использования всех этих ресурсов пока что невысокая. Между тем абсолютно все полезные направления озер относительно легко доступны для оптимизации и регулирования путем простейших гидротехнических и мелиоративных мероприятий (дноуглубительные работы, сооружение дамб, облесение берегов, строительство каналов или плотин на временных и постоянных водотоках, снегонакопление, аэрация, подсев кормовых трав, разведение ценных пород рыб и т. д.). Важной народнохозяйственной задачей является паспортизация озер, и в первую очередь в наиболее освоенных районах.

---

## 5. Экосистемы болот

Болота и заболоченные земли есть во всех географических зонах, но особенно много их в тайге. В нашей стране они занимают около 9,5%

всей площади, т. е. 2,1 млн. км<sup>2</sup>. Особую ценность представляют торфяные болота. На территории СССР находится более 70% от общей площади болот на Земле (около 1 млн. км<sup>2</sup>), в которых сосредоточено свыше 60% мировых запасов торфа.

По определению Н. И. Пьявченко (1971), «болотные биогеоценозы являются в современных природных условиях важнейшими аккумуляторами и хранителями колоссальных запасов связанной воды, органического вещества и потенциальной солнечной энергии. В связи с этим их следует относить к особому типу аккумулирующих систем биосферы с декомпенсированным обменом веществ и энергии, в котором аккумуляция органического вещества превалирует над его распадом» (с. 73). Своего рода сводкой современных представлений о болотах СССР являются сборники «Генезис и динамика болот» (1978), в которых структурно-функциональные организации болотных экосистем обсуждаются широким кругом специалистов и с самых разнообразных позиций.

К сожалению, мы до последнего времени относились к болотным массивам как к объектам, которые надо обязательно осушать. Резюмируя мировой опыт использования болот в условиях урбанизированных ландшафтов, Ю. Одум (1975) приходит к выводу, что «болота в большинстве случаев... гораздо выгоднее использовать в качестве хранилищ воды и местообитаний диких животных, чем пытаться использовать их для сельского хозяйства» (с. 537).

По данным Е. Д. Сабо (1966), потенциальный гидролесомелиоративный фонд СССР, исключая тундровую зону (!), составляет около 3,0 млн. км<sup>2</sup>; из них 1,7 млн. км<sup>2</sup> представлены заболоченными лесами, а 1,3 млн. км<sup>2</sup>— собственно болотами, расположенными преимущественно также на территории гослесфонда. Естественно, что эти цифры в настоящее время следуют существенно уменьшить с учетом перспектив и последствий промышленного освоения территорий, проектируемого гидротехнического строительства и потребности сохранить до  $\frac{1}{3}$  поверхности урбанизированных ландшафтов в неизмененном, естественном состоянии. Особенно осторожного отношения требуют болотные массивы водораздельных пространств. Некоторые болотные массивы европейской части СССР, и в частности Урала, по при-

меру Прибалтийских республик должны быть объявлены заповедными.

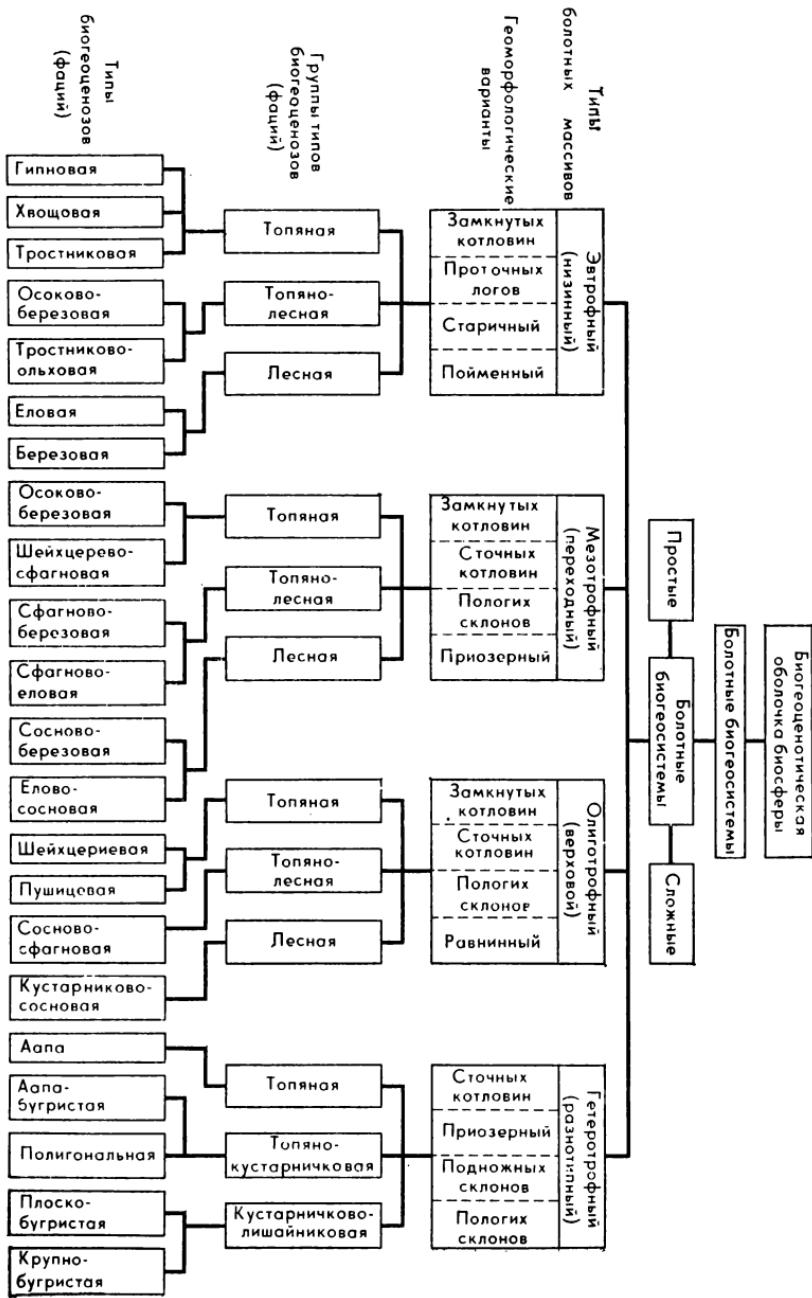
Болота водораздельных междуречных пространств называются верховыми. По характеру залегания они могут быть водораздельными, водораздельно-склоновыми и котловинными. Болота, тяготеющие к речным долинам, называются низинными. Среди них выделяются пойменные и притеррасные болота, а также болота староречий. По способу водного питания болота могут быть четырех типов: намывного (паводкового) питания — в поймах, глубинного питания — в ложбинах и в пунктах выклинивания подземных напорных вод; грунтового питания — в понижениях водораздельных пространств, сложенных водопроницаемыми породами; атмосферного питания — в замкнутых понижениях, подстилаемых водоупорными породами. Разумеется, на практике встречается множество переходных типов болот как по характеру залегания, так и по способу питания. Каждому типу болот соответствует особый тип растительного покрова и его динамики, что вызывает необходимость биогеоценологической и генетической классификации болот.

Детальный обзор истории, состояния и принципов биогеоценологической классификации болот проделан Н. И. Пьявченко (1973). Им же предложена и наиболее отвечающая интересам экологии классификация болот (рис. 5). Как подчеркивает Н. И. Пьявченко, « дальнейшее развитие и углубление комплексного изучения болотных биогеоценозов даст возможность подойти и к разработке классификации их как функционально-энергетических систем » (с. 187). В связи с развитием аэрокосмических методов исследования и инвентаризации природных ресурсов особый интерес представляют принципы генетической классификации болотных ландшафтов, предложенные Е. А. Галкиной (1946, 1959, 1978).

Торфонакопление — удивительнейший геологический и биологический феномен, аналогичный во многих своих чертах процессу углеобразования. Не углубляясь в вопросы генезиса и классификации торфов, следует заметить, что совершенно неудовлетворительны представления о торфяной залежи как о целостном физическом теле, т. е. об ее интегральных физических и геофизических свойствах не только в динамике, но даже и в статике.

Многие вопросы относительно торфонакопления вполне разрешимы даже при самой примитивной технике ис-

Рис. 5. Биогеоценологическая классификация болот (по Н. И. Пьявченко, 1973)



следования, например каковы тепловые свойства торфяного монолита (теплопроводность, теплоемкость, теплоотдача), каковы его свойства в замороженном, оттаявшем, водонасыщенном и в переосушенном состоянии по отношению к механическим нагрузкам (растяжению, сжатию и пр.); каковы физические свойства торфяного пласта в водопогруженном или погребенном состоянии; насколько физические свойства естественного торфяного пласта отличаются от свойств механически переотложенной и перемешанной толщи торфа; каково поведение торфяного пласта на склоне; как взаимодействует торфяник с его ложем (с подстилающим грунтом); каковы его электромагнитные свойства... Все эти вопросы диктуются интересами промышленного освоения громадных заболоченных территорий на севере и востоке Сибири, интересами сознательного отношения к преобразованию и использованию колоссальных торфяных ресурсов страны.

Биохимики в настоящее время определяют в лишайниках более 300 биохимически активных веществ, из которых 75 специфичны только для этой группы организмов (Равинская, Вайнштейн, 1975). Надо полагать, что разнообразие биологически активных веществ в действующем торфянике еще более велико, поскольку в их состав непременно входят и пресловутые «лишайниковые вещества», а следовательно, в связи с грандиозными затоплениями, подтоплениями и осушениями торфяников возникает задача определения валового содержания в них упомянутых специфических веществ и характера их поведения в смежных водных экосистемах.

Естественная влажность торфяных болот достигает 88—91%, т. е. в 1 м<sup>3</sup> торфа содержится 915—930 л воды. По данным М. А. Шапошникова (1978), в болотах Западной Сибири аккумулируется около 490 км<sup>3</sup> воды, что на 20% превышает среднегодовой сток Оби. В болотах европейского Северо-Запада содержится около 200 км<sup>3</sup> воды, что также существенно превышает объем годового стока его рек. «Болота выполняют функцию кибернетических регуляторов стока: в катастрофически маловодные годы, при быстром и значительном понижении уровней воды в реках, болота автоматически срабатывают часть своего водного запаса (до 25% аккумулированного объема воды). В последующие периоды, и в

частности, в многоводные годы болота восстанавливают свои водные ресурсы, регулируя паводки и предотвращая сброс огромных масс воды в моря Мирового океана» (Шапошников, 1978, с. 122).

Торфяные болота аккумулируют в себе значительные запасы тепла. Например, С. М. Новиков (1976) для Сургутского Полесья вычислил, что при понижении уровня воды на болотах лишь на 0,5 м запасы тепла в них уменьшаются в пересчете на 1 см<sup>2</sup> площади на 250 кал. Таким образом, при обводненности болот автоматически регулируется и тепловой режим, и радиационный баланс заболоченных территорий. При осушении торфяников температура приземного слоя воздуха зимой несколько понижается, а летом — повышается, что в целом увеличивает амплитуду колебаний местного климата. Связь торфяников с многолетнемерзлыми грунтами более сложная. Считается, что торфяники как бы «консервируют» многолетнюю мерзлоту (Крючков, 1975).

Мировые запасы торфа оцениваются в 265 млрд. т условного топлива (Берковский, 1978). Теплопроводная способность его колеблется от 1500 до 4000 ккал/кг. Энергетическое потребление торфа составляет 20 млрд. кВт/ч в год, но к 2000 г. прогнозируется его увеличение в 50 раз. Для сравнения заметим, что увеличение потребления древесного топлива прогнозируется всего в 1,5—2 раза. И все-таки надо полагать, что в будущем прямое сжигание торфа в качестве топлива будет столь же неэффективным, как и сжигание угля и нефти, поскольку уже сейчас он находит более выгодное применение (в сельском хозяйстве в качестве основного компонента комплексных удобрений и подстилки для скота, в химической, фармацевтической и парфюмерной промышленности, в строительстве и пр.). По данным Института торфа АН Белорусской ССР, в виде топлива низинный торф дает прибыль всего 6 руб. на 1 т, а в виде гранулированных комплексных удобрений — 122 руб.

---

## 6. Стихийные бедствия

«Стихийное бедствие (natural hazard) определяется как некое взаимодействие населения и природы, исход которого зависит от существующих

способов приспособлений в социальной системе природообразования и состояний природы в системе природных событий. Стихийные бедствия связаны с экстремальными событиями, которые превосходят обычную способность социальной системы отражать, поглощать или смягчать их. Экстремальным событием считается любое событие в геофизической системе, приобретающее сравнительно большое отклонение от среднего значения» — такие определения дает американский ученый Г. Ф. Уайт (1978, с. 29). В этих определениях привлекает акцент на социальные приспособления: действительно, одинаковое по типу и мощности стихийное бедствие в различных социально-экономических системах отражается по-разному.

Включение этого раздела именно в данную главу продиктовано тем обстоятельством, что более половины мировых стихийных бедствий связано с катастрофическим избытком или недостатком воды: 40% всех стихийных бедствий приходится на наводнения и 15% — на засухи (Лавров, 1978). С водой в жидкой либо в твердой фазе так или иначе связаны и такие стихийные бедствия, как селевые потоки, лавины, оползни, проседания верхнего слоя земной коры в районах карста, наледи, гололеды и пр. Наконец, в результате человеческой деятельности возник обширный класс явлений, сопоставимых по своим последствиям со стихийными бедствиями и связанных с эксплуатацией водных, земельных, лесных и горных ресурсов, с прокладкой транспортных и энергетических коммуникаций, с осушением и обводнением площадей, с технологическим и бытовым водопотреблением.

В редакционной статье «Современным городам нужна вода» журнал «Курьер ЮНЕСКО» (март 1978) писал: «Проведенные в Соединенных Штатах исследования показали, что наводнения стали более частыми и более разрушительными в урбанизированных районах, нередко расположенных вблизи рек. Масштабы затопления территории возрастают пропорционально степени ее урбанизации» (с. 12). В справедливости этого утверждения нетрудно убедиться хотя бы по регулярным газетным сообщениям из разных стран мира. Из этих сообщений стало известно, например, что только в 1982 г. США потерпели убытки от стихийных бедствий на сумму в 1,53 млрд. долл.

Специфическими особенностями природных стихийных бедствий считаются их вероятностный характер, неопределенность момента наступления и «неоднозначность» последствий. И. П. Герасимов и Т. В. Звонкова (1978) нарисовали весьма благополучную картину состояния изучения, контроля и оповещения стихийных бедствий на территории СССР. Если принять расширенное толкование стихийного бедствия, как это было показано выше, то оснований для благодушия не останется. В следующих разделах мы обсудим некоторые проблемы водохозяйственного строительства, в которых элемент стихийности оборачивается неблагоприятными последствиями.

---

## 7. Проблемы водохранилищ

По водохранилищам имеется обширная литература. Наиболее полно и в популярном стиле проблемы водохранилищ освещены в книге С. Л. Вендрова и К. Н. Дьяконова (1976).

По данным Ю. П. Беличенко и Л. Я. Полянинова (1976), в СССР эксплуатируется около 1000 водохранилищ, при этом объем каждого из них превышает 1 млн. м<sup>3</sup>. Общая площадь их зеркала достигает 116 тыс. км<sup>2</sup>. Полная емкость этих водохранилищ — 831 км<sup>3</sup>, полезная, т. е. доступная регулированию, — 406 км<sup>3</sup>. По заявлению А. Н. Вознесенского, Г. Г. Гангардта и И. А. Герарди (1974), к окончанию XX в. полный объем водохранилищ в СССР возрастет до 1600—1800 км<sup>3</sup>, а полезный — до 800—1000 км<sup>3</sup>. Разумеется, с учетом более мелких водохранилищ (объемом менее 1 млн. м<sup>3</sup>), число которых измеряется, вероятно, десятками тысяч, и прудов, численность которых измеряется, по-видимому, сотнями тысяч, все вышеприведенные цифры должны быть существенно увеличены. Во всяком случае несомненно, что в ближайшие 25 лет площадь водохранилищ и прудов существенно возрастет и превысит площадь зеркала естественных континентальных водоемов на земном шаре (Карпенко, Сиренко и др., 1975).

Абсолютное преобладание на земном шаре водохранилищ гидроэнергетического назначения дает экологу и экономисту весьма впечатляющий критерий для

оценки эффективности затопления территорий. Таким критерием в крупном энергетическом гидростроительстве является отношение площади затопления к объему производимой гидроэлектроэнергии.

Эколога соответствующие данные весьма настораживают. Не вдаваясь в их обсуждение, заметим лишь, что надо проектировать в союзе с экологией, начиная с постановки проблемы и обсуждения принципиальной идеи ее технического решения и кончая претворением проекта в жизнь. Множества коллизий можно избежать именно на самом начальном этапе проектирования, посоветовавшись с экологами и географами. Экологическая экспертиза готовых проектов является паллиативной мерой.

Нет сомнения в том, что самым болезненным моментом в создании водохранилища является необходимость затопления сельскохозяйственных угодий и лесных земель. Академик С. Г. Струмилин и Э. Е. Писаренко (1977) с достойной подражания гражданской прямотой раскрыли причины этой легкости: «После Октябрьской революции в результате национализации земля выпала из товарооборота страны. Ее нельзя уже ни продать, ни купить на рынке. Выпали из учета и цены на нее. Землю стали рассматривать как «даровое» благо природы, подобное речной воде или дачному воздуху. Однако эта заведомо ошибочная концепция чревата бесхозяйственным расточительством важнейших первоисточников народного богатства — расточительством общественных ресурсов прошлого и живого труда. А практика доказывает необходимость учета и оценки этих «даров» природы. Их следовало бы включить в себестоимость производства хозрасчетных предприятий в качестве рентных платежей государству» (с. 101). Но как подойти к стоимостной оценке затапляемых водохранилищами земель?

В последние десятилетия все более серьезное внимание уделяется так называемым «невесомым» полезностям леса (при специальном подходе даже самые «деликатные» из них оказываются вполне весомы и измеримы). По оценкам специалистов из разных стран, собственно стволовая древесина по отношению к «невесомым» полезностям лесного массива в стоимостном выражении составляет от  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{1}{280}$ . Последняя оценкадается в ФРГ, так что величину  $\frac{1}{33}$ , вычисленную ан-

глийскими лесоводами, надо считать вполне умеренной и реалистичной. Стоимость же древесины на международном рынке сама по себе с каждым десятилетием удваивается. В этой связи мы предлагаем следующий подход к стоимостной оценке природных угодий (можно считать его одним из экологических принципов): проектируя, например, под затопление 1 млн. м<sup>3</sup> древесины, да еще «на корню», надо считать, что с учетом всех полезностей лесного массива упомянутый объем эквивалентен в стоимостном выражении 33 млн. м<sup>3</sup> древесины (принимаем коэффициент перевода —  $1/33$ ); через 10 лет этот же объем будет эквивалентен уже 66 млн. м<sup>3</sup>, через 20 лет — 132 млн. м<sup>3</sup> и т. д. Отсюда нетрудно перейти к денежному выражению, но главное — следует отнести эти коммерческие потери на стоимость «искомого продукта», т. е. электроэнергии, прибавки урожая зерна с орошаемых земель и т. п., получаемых в результате затопления. Аналогичным путем можно найти разумный эквивалент при затоплении пойменных лугов и пастбищ.

Есть еще один способ стоимостной оценки природных угодий. Он называется у экономистов субституционным. Суть его состоит в том, что стоимость естественных угодий определяется в размерах капитальных (а в идеале — и эксплуатационных) затрат, потребных для полного замещения (субституции) той или иной функции естественного угодья соответствующими техническими мероприятиями. Функцию естественных нерестилищ ценных пород рыб, например, можно заместить строительством и эксплуатацией рыбопитомников. Но эти затраты опять же нужно соотнести со стоимостью «искомого продукта», т. е. электроэнергии, прибавки урожая и пр.

Следующим после прямого затопления критическим моментом в создании (и проектировании) водохранилища является трансформация прилегающих к этому водохранилищу угодий в результате подтопления, инфильтрации, изменений местного климата и т. п. Оценка этих явлений чрезвычайно сложна, особенно на водохранилищах с переменным подпором. При районировании береговой полосы водохранилищ выделяются зоны гидрологического, гидрогеологического, активного климатологического и эпизодического климатологического влияния (Корнилов, 1970). В зоне гидрологического влияния особо выделяется полоса временного затопления

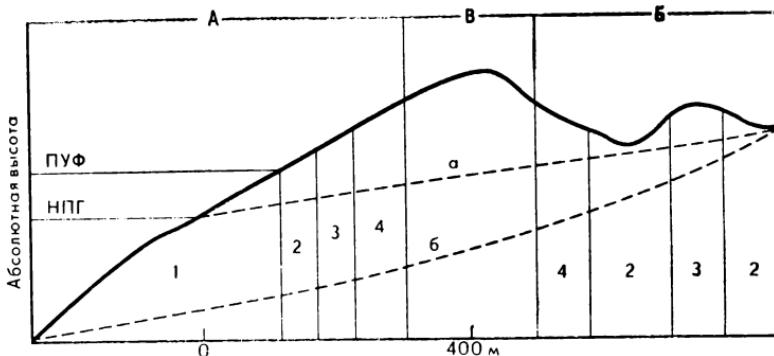


Рис. 6. Схема влияния водохранилищ на экосистемы побережья (по К. Н. Дьяконову, 1970). Подзоны: А — прямого влияния; Б — косвенного влияния; В — местообитания (в пределах которых влияние водохранилища не сказывается). Пояса: 1 — периодического затопления; 2 — сильного подтопления, отрицательного влияния; 3 — переходный, слабого влияния; 4 — умеренного и слабого подтопления, положительного влияния; а — положение депрессионной кривой после создания водохранилища; б — то же до создания водохранилища. Переходные пояса А-З и Б-З прослеживаются только на плоских берегах

(выше нормального проектного уровня — НПУ) и полоса сработки (ниже НПУ). На равнинных водохранилищах при сработке уровня из-под воды освобождаются на некоторое время громадные территории. И хотя полоса сработки «включается» гидростроителями в площадь зеркала водохранилища, т. е. рассматривается как территория, покрытая водой, однако это не совсем так. Значительную часть времени эта площадь не будет залита водой, и здесь образуется прибрежное болото...» (Корнилов, 1970, с. 57).

На рис. 6 показана схема влияния водохранилищ на леса побережья, предложенная К. Н. Дьяконовым (1970). Автор поясняет, что система «грунтовые воды — водохранилище» достигает состояния динамического равновесия через несколько десятков лет после создания водоема. Позднее К. Н. Дьяконов (1977) предложил называть совокупность зон, подзон и поясов сферой влияния водоема, указав, что относительная стабилизация влияния фильтрации и подпора происходит через 10—20 лет после создания водохранилища, причем при наличии верховых болот на побережье водохранилища ширина зоны гидрогеологического влияния снижается.

Существенные противоречия между строителями и экологами обнаруживаются при установлении границ пояса или зоны подтопления грунтовых вод водохранилищем. Проектировщики руководствуются «концепцией одного метра» (Дьяконов, 1977), т. е. считают подтопляемой территорию, лежащую на 1 м выше НПУ. И. Ю. Долгушин (1970) объясняет предмет противоречий следующим образом: «...в проектных организациях главным признаком подтоплений территории принято считать ее заболачивание, происходящее обычно в первые годы после создания водохранилища, а нас же интересует весь комплекс изменений ландшафта, которые могут происходить постепенно (сравните с ситуацией при оценке воздействия ЭМП — ЛЭП на человека.— В. П.), на протяжении нескольких десятилетий» (с. 161). Далее он обосновывает «концепцию двух метров», которая представляется более надежной.

На изменения уровня и режима грунтовых вод в результате подтопления биоценозы любого типа реагируют соответствующей перестройкой своей структурно-функциональной организации. Даже гибель биоценоза в этом смысле нельзя считать абсолютной: на смену ему рано или поздно придет биоценоз нового типа, более приспособленный к новым условиям. Единственным и достаточно надежным источником представлений о превращениях биоценозов в зоне подтопления может служить система сопряженных региональных генетических классификаций лесных, луговых и болотных биогеоценозов, основанных на отношении биогеоценозов к гидрологическому фактору. Границы биогеоценозов, как известно, очень постоянны, поскольку детерминированы одновременно множеством геофизических, геохимических, биологических и исторических факторов. Разрушить их совместное действие измененный гидрологический фактор не в состоянии, следовательно, численность биогеоценологических участков (контуров, выделов) в зоне предполагаемого подтопления останется неизменной при любых превращениях биоценозов. При наличии классификаций, в которых отражены естественные взаимопревращения не только одного типа леса в другой тип леса, типа луга в другой тип луга и т. д., но и луга в лес, леса в болото; задача сводится к перенесению площадей биоценозов из одной классификационной категории в другую с последующей все-

сторонней оценкой всех земельных превращений в зоне подтопления, составлением сводного баланса его положительных и отрицательных моментов. Далее наступает этап принятия дифференцированных решений и рекомендаций, направленных на усиление положительных и ослабление отрицательных моментов, этап коммерческой оценки «доходов и расходов» и их распределения между заинтересованными хозяйствами и ведомствами. Такова идеальная схема эколого-экономической оценки эффекта подтопления и в прогностическом, и в ретроспективном плане.

До 90% протяженности водохранилищ при НПУ составляет так называемая зона переменного подпора (Беркович, Виноградова, 1975), где речные условия периодически сменяются озерными. Выше этой зоны по течению реки образуется зона регressiveвой аккумуляции, характеризующаяся накоплением руслового материала и соответственно повышением отметок дна реки. Все это способствует оживлению аллювиальных сукцессий растительности. Как показала Л. К. Малик (1972, 1973, 1976, 1978), на равнинных реках Западной Сибири даже в ненарушенном гидрологическом режиме влияние подпора главных рек на притоки распространяется чрезвычайно далеко. Создание водохранилищ в этих условиях существенно изменит даже ледовую обстановку в подпertenых водотоках. На Новосибирском водохранилище, например, где подпорные явления гораздо менее актуальны, чем на Нижнем Иртыше и Средней Оби, ледяной покров в подпertenых водотоках начал устанавливаться на 5—10 дней раньше и сходить на 10—15 дней позднее, чем в естественных условиях (Вендров, Широков, Подлипский, 1976), в зоне выклинивания подпора значительно усилились заторные явления. Для экосистем, зависимых в своей жизнедеятельности от ледового и снежного режима (прибрежных и речных — потамофильных), создание водохранилища в данном случае оказалось практически равноценным перемещению их на несколько сот километров к северу, в более суровые климатические условия.

Если влияние водохранилища в верхнем бьефе еще можно весьма условно ограничить зоной выклинивания подпора, то в нижнем бьефе оно практически распространяется до устья реки и далее в эстуарий (залив, море), как бы ни была велика эта река. Прежде всего

водохранилище задерживает до 93—95% твердого стока, что вместе со снижением водности и срезкой паводков кардинальным образом перестраивает гидрологический и гидрохимический режим реки в нижнем бьефе. Как отмечают А. М. Комлев и Н. В. Вострякова (1975), только внутрисуточные колебания стока полностью затухают лишь в 500 км от плотины. С. Л. Вендрев и К. Н. Дьяконов (1976) приводят впечатляющие данные о пределах влияния водохранилищ на гидротермические условия в нижнем бьефе гидроузлов. Как показали И. А. Кузьмин и Л. И. Викулова (1974), а затем И. В. Попов (1977), задачи прогноза только русловых процессов в нижнем бьефе гидроузлов достаточно сложны. Тем более сложны и недостаточно исследованы взаимосвязанные биологические явления. Анализируя эту проблему, некоторые авторы рекомендуют прежде всего принципиально различать нижние бьефы гидроузлов, находящиеся в подпертом и свободном состоянии (Л. Н. Шапиро, 1974). На самом деле участок реки, расположенный между двумя гидроузлами, испытывает одновременно влияние и верхнего и нижнего водохранилищ. При этом складывается режим, практически не имеющий аналогов в естественных условиях. Наконец, имеются проектные разработки по созданию на отдельных отрезках крупных рек режима «анти-реки». Системой плотин естественный ток воды должен быть направлен обратно: река потечет вспять.

Концепция водосбора как элементарной экологической и хозяйственной единицы при создании (проектировании) и эксплуатации водохранилищ приобретает особое значение. Действительно, сооружением плотины некогда целостный и единый водосборный бассейн делится на две части, развитие которых пойдет по-разному. Поэтому водосборный бассейн верхнего бьефа гидроузла и самостоятельно водосбор нижнего бьефа можно рассматривать уже по отдельности. Граница этих двух «субводосборов» строится по элементам (водоразделам) существующей гидросети, но вполне очевидно, что в дальнейшем, т. е. в процессе эксплуатации водохранилища, эта граница начнет смещаться и видоизменяться в результате дискоординации базисов эрозии для верхнего и нижнего бьефов сооружения и не скоро достигнет состояния динамического равновесия. В равнинных, а особенно в горных условиях довольно обычными явле-

ниями должны стать перехваты пограничных водотоков верхнего бьефа водотоками нижнего водосборного бассейна. Новый режим и новая гидросистема в отдельных случаях могут самым неожиданным образом вступить во взаимодействие с погребенной, древней палеогидросетью, а также с подземными водами... Эта концепция достаточно ясно показывает и практически доказывает, что сооружение водохранилища в любой части водосборного бассейна вовлекает в сферу преобразования природу всего бассейна. В этой связи чрезвычайно наивно рассуждать и доказывать, что влияние того или иного гидроооружения будет локальным.

О гидробиологических условиях и ресурсах собственно водохранилищ (а не прилегающих площадей и водотоков) написано очень много, и схема развития гидроэкосистем (например, для Днепровского каскада гидроузлов) разрабатывается весьма детально. Именно разрабатывается, поскольку жизненный цикл высших гидробионтов (рыб) сопоставим с жизненным циклом человека, а жизнедеятельность низших гидробионтов, напротив, протекает с такой огромной скоростью, что их изучение в природных условиях практически не успевает за их развитием, т. е. идет лишь вслед за ним. Я. Я. Цееб (1973) сделал обстоятельный обзор проблем, которые при этом возникают. Л. П. Брагинский (1977) в прикладном аспекте показал, что одна из острейших проблем — явление бурного развития популяций одноклеточных синезеленых водорослей (цветение воды), регулировать которое техника пока не в состоянии. Каждая водорослевая клетка при благоприятных условиях может дать до  $10^{20}$  потомков, а частота мутаций достигает одной на  $10^6$ — $10^7$  клеток. В период массового размножения синезеленых водорослей в Днепровских водохранилищах их биомасса может достигать 500 г/м<sup>3</sup>, так что только содержание в воде ядовитых выделений водорослей может составлять от  $10^{-20}$  до  $10^{-8}$  мг/л (Карпенко, Сиренко и др., 1975).

Гидрохимический режим водохранилищ, особенно в первые годы их существования, в значительной мере зависит от структуры и состава затопленных почв (Драчев, Карельская, Брук, 1939). Особые сложности возникают в тех случаях, когда затоплению подвергаются массивы торфяных болот (Богдановская-Гиенэф, 1959; Молкин, 1967; Бирюков, Тарунина, 1967а, 1967б). При

разложении затопленной торфяной залежи в анаэробных условиях образуется огромное количество газа (метана, сероводорода, окиси углерода и углекислоты). Накопление газов наряду с промерзанием торфа создают предпосылки для его всплыивания (объемный вес торфа становится меньше 1,0).

Зыбуны, надиловые и надводные сплавины всплывают одновременно с их затоплением. Верхние слои торфа промерзают в зимний период при сработке уровня водохранилища. При весеннем подъеме воды именно эти неоттаявшие слои торфа и всплывают (либо всплывает вся залежь целиком). Особенно благоприятные условия для всплыивания торфа образуются во время летнего затопления торфяника на глубину 1,0—2,5 м. При увеличении слоя воды способность торфа к всплыvанию уменьшается, и с глубины 8—10 м всплыивание торфа наблюдается лишь в исключительных случаях.

В прибрежных полосах водохранилищ всплывшие участки торфа сначала часто бываю связаны с невсплывшей залежью, но под воздействием волн и ветра они в конце концов отрываются и дрейфуют. Дрейфующие же торфяные острова, постепенно разрушаемые волной, загрязняют водоем взвешенными наносами из торфяной крошки, коллоидальных частиц гумуса и грунта. Наиболее часто всплывают шейхцериевые и шейхцериево-сфагновые виды торфа, а также осоково-сфагновые и сфагновые со степенью разложения не более 20—25%. Хорошо разложившийся торф всплывает только в промерзшем состоянии. На Горьковском и Рыбинском водохранилищах, например, всплывшая торфяная масса составляет от 6,6 до 10% по отношению к затопленной, но при сильных перепадах уровня воды это соотношение может быть значительно больше. Большая пнистость залежи тормозит ее всплыивание. Мелкие торфяники всплывают целиком.

Всплывшая залежь выделяет в 2—3 раза больше газа, чем затопленная, поскольку она лучше прогревается. О возможных количествах газа, выделяемого из всплывшего торфа, можно судить по следующим данным: переходная шейхцериевая топянная залежь средней степени разложения выделяет за сутки с 1 га при температуре залежи 13,4° 5,3 тыс. л, при 19,2°—20 тыс. л, при 20,2°—25 тыс. л газовой смеси (Бирюков, Тарунина, 1967б).

Известные резервы для оптимизации экологических условий водохранилищ и прилегающих территорий представляет режим эксплуатации водохранилищ. До последнего времени он подчинялся исключительно технологическим интересам гидроэнергетики или орошения. Некоторые «послабления» допускаются лишь для поддержания определенных условий при нерестовом ходе ценных пород рыб. По-видимому, потребуется громадный объем научно-исследовательских работ для того, чтобы выработать принципы эксплуатации водохранилищ, благоприятствующие одновременно удовлетворению комплекса требований. В целом достаточно очевидно, что в большинстве случаев создание системы небольших и гибко взаимодействующих между собой водохранилищ гораздо предпочтительнее, чем создание одного огромного водохранилища. Система, например, из трех водохранилищ (два на крупных притоках реки чуть выше пункта их слияния, одно — замыкающее — на основной реке) по мере надобности может эксплуатироваться в восьми «жестко фиксированных» режимах (все три створа закрыты, все три открыты; 1-й открыт, а 2-й и 3-й закрыты; 1-й и 2-й открыты, а 3-й закрыт и т. д.), а с учетом промежуточных состояний «открытости-закрытости» створов число комбинаций может быть практически бесконечным. Это и будет истинным регулированием.

Как и любой естественный водоем, водохранилище не может жить вечно. Нормальный срок его службы исчисляется, вероятно, 40—60 годами. В этой связи во многих случаях давно уж назрела проблема реконструкции существующих водохранилищ. Вопросы оптимизации их экологического режима при этом встают с такой же остротой, как и при их создании.

---

## 8. Экологические особенности каналов

Все более обычными элементами современного ландшафта становятся каналы самого различного назначения. Помимо самотечных все чаще сооружаются каналы, в которых ток воды поддерживается мощными насосными установками: растет их общая протяженность и пропускная способность. Соответственно воз-

растает их воздействие на окружающую среду и их значение как специфического жизненного субстрата.

Полная классификация типов каналов была бы очень сложна, поэтому воспользуемся их гидробиологической классификацией (Оксюк, Кафтанникова и др., 1977). По отношению к условиям формирования планктона, как первичного звена в биогеоценологическом круговороте, выделяются каналы следующих типов:

1. Водоснабжающие и судоходные каналы, берущие начало из рек или водохранилищ, — каналы с зависимым планктоном, берущие начало: а) из горных рек; б) из водохранилищ на горных реках, в горах и предгорьях; в) из водохранилищ на горных реках при выходе их на равнину; г) из равнинных рек; д) из водохранилищ на равнинных реках.

2. Каналы дренажные и родникового питания с самостоятельным формированием планктона.

Разумеется, наиболее обильно планктонное население в каналах, берущих начало из равнинных водохранилищ. Для эксплуатации каналов, однако, наибольшее значение имеют бентические растительные сообщества. Развитие их зависит не столько от источника водоподачи канала, сколько от свойств дна и стенок, а также от скорости и мутности воды в канале. Для водорослей бентоса в канале, как и в приливно-отливной полосе океана, необходимы неподвижный субстрат, а также достаточно умеренные скорости течения. В каналах развитие бентических водорослей ограничивается лишь при скоростях течения более 1 м/с, высокой мутности воды и низком содержании биогенных веществ. При малых скоростях течения облицованные каналы дают бентическим водорослям определенные преимущества, но облицовка препятствует развитию в канале высшей водной растительности, которая в свою очередь может быть субстратом, точнее, биомеханической основой для низших, прикрепленных к субстрату водорослей...

Вообще живые формы создают массу препятствий для нормальной эксплуатации каналов: много хлопот причиняет в европейской части СССР известный моллюск дрейссена; слабоукореняющиеся растения в определенные моменты парализуют деятельность гидротехнических сооружений; некоторые виды низших водных микроорганизмов не реагируют даже на двойное (по существующим санитарным нормам) хлорирование (не-

матоды, хирономиды). В то же время высшие растения и особенно моллюски способствуют своего рода биологической очистке воды в канале (каждый из моллюсков, таких, как перловица или беззубка, фильтруют за сутки до 70 л воды).

Как и на водохранилищах, вдоль каналов выделяются полосы их гидрологического и гидрогеологического влияния. Полоса гидрологического влияния связана с разливами воды из канала и подтоплением грунтов. Гидрогеологические условия изменяются в результате фильтрации воды из канала через его дно и стенки. В районе Каракумского канала, например, ширина зоны гидрогеологического влияния достигает 3—4 км, а местами даже 30 км, что зависит от механического состава грунтов и уклона местности. Сложные формы взаимодействия возникают при пересечении канала естественными постоянными и временными водотоками.

Крупнейший и наиболее изученный во всех отношениях канал на территории СССР — Каракумский канал им. В. И. Ленина, вступивший в действие в 1959 г. Этот канал транспортирует ежегодно 7,8 км<sup>3</sup> воды на расстояние 1069 км. Несмотря на то что природные условия в зоне канала и его воздействия на них изучаются уже более четверти века специализированными проектными и научно-исследовательскими учреждениями, по мнению Л. М. Граве и М. К. Граве (1975), «на существующей стадии изучения Каракумской геотехсистемы возможно говорить пока лишь о качественной стороне связей» (с. 56). Опыт эксплуатации канала чрезвычайно важен. К сожалению, в силу его географического положения выводы, которые сделаны и делаются по его эксплуатации, почти невозможно экстраполировать на системы, проектируемые в более умеренных широтах. Действующей моделью для некоторых систем, проектируемых в Сибири, может служить канал Караганда, расположенный в земляном русле.

Он имеет длину 452 км и ширину в среднем около 15 м, обслуживается 22 насосными станциями общей мощностью 350 тыс. кВт; 11 гидроузлов поднимают воду на высоту 475 м, к каналу примыкают 12 водохранилищ.

Вопросы взаимодействия искусственных водотоков с естественной гидросетью дают дополнительный импульс для развития концепции водосборного бассейна как эле-

ментарной хозяйственной и экологической категорий. Действительно, в данном случае можно уже говорить о явлениях, связанных с наложением искусственного водосбора на систему смежных естественных водосборов. Начало каким геоморфологическим и соответственно биологическим процессам на обширных территориях дает прокладка новой мощной водной коммуникации, пересекающей исторически сложившиеся водотоки, а также геологические, геоморфологические, геохимические и биохорологические рубежи? Каких тенденций при этом надо остерегаться и какие, напротив, следует усиливать? С какой скоростью и какими путями достигается стабилизация обстановки в зоне нового водного тракта? В каком направлении эволюционирует сам этот тракт? Какое влияние на его состояние и эволюцию оказывает хозяйственная деятельность в его водосборе? Какие гидрохимические превращения происходят с транспортируемой водой?

Предварительное рассмотрение всех этих вопросов должно основываться на ясном представлении о технических характеристиках проектируемого канала (его трассе, ширине, пропускной способности, режиме эксплуатации, характере покрытия и пр.). После этого можно будет уже говорить об изменениях в структуре площадей, прилегающих к каналу. Пренебрежение экологическими аспектами гидростроительства привело к тому, что мы сейчас не знаем, например, какова была роль каналов в расселении по территории СССР таких гидробионтов, как элодея канадская, водный гиацинт, дрейссена... А ведь вопросы качества воды, транспортируемой и трансформируемой каналом, имеют и определенные, чисто медико-биологические аспекты. В заключении раздела следует подчеркнуть, что экологические проблемы каналов при достаточном к ним внимании могут оказаться даже сложнее, чем проблемы водохранилищ.

---

## 9. Проблемы орошения

А. И. Воейков еще в 1894 г. подчеркивал, что орошение—это такая работа человека, при которой «всего решительнее видоизменяется природа, причем в смысле наиболее гармоническом, т. е. при условиях,

где нет противоречия между временными выгодами человека и выгодами целого общества» (Воейков, 1963, с. 83). Как уже было сказано, в некоторых районах Юго-Западной Азии ирригационные сооружения появились еще за 5000 лет до н. э. (Нейс, 1978). Таким образом, общечеловеческий опыт орошения земель вполне сопоставим с опытом земледелия. Подавляющая часть «безвозвратного» мирового водопотребления приходится именно на орошение. Достаточно отметить, что для орошения 1 га посева хлопка необходимо 5—6 тыс. м<sup>3</sup> воды в год, а 1 га риса — 15—20 тыс. м<sup>3</sup> воды в год (Корзун, Соколов, 1978), причем 70—80% этих объемов расходуется безвозвратно (Воропаев, 1978).

Большинство людей убеждены, что в орошении нуждаются земли исключительно аридной зоны, но это далеко не так. По замечанию С. Л. Вендрова и А. М. Комлева (1976), например, «зона оптимального увлажнения и теплообеспеченности занимает в Западной Сибири лишь узкую полосу в 150—200 км шириной, тянущуюся от Свердловска на Новосибирск. К северу от нее лежит обширная область избыточного и весьма избыточного увлажнения, а к югу до предгорий Алтая — недостаточного и весьма недостаточного» (с. 10). А. Ф. Бушманов (1958) убедительно показал, что в условиях Среднего Урала, исключая горные районы, в целом ощущается дефицит влаги, и засухи последних лет этот вывод полностью подтвердили.

В постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О Долговременной программе мелиорации, повышения эффективности использования мелиоративных земель в целях устойчивого наращивания продовольственного фонда страны» определены основные направления дальнейшего развития мелиорации земель до 2000 г. по союзным республикам (табл. 4).

В табл. 5 показаны нормы орошения основных групп культур для Восточного Урала в год 50%-ной обеспеченности при увлажнении грунта до 0,9 наименьшей влагоемкости.

Эти цифры весьма наглядно показывают перспективу роста водопотребления для нужд орошения, но далее В. С. Мезенцев рассматривает зависимость относительного урожая сельхозкультур от относительного увлажнения почвы и уровня агротехники. Приводим эту зависимость на рис. 7. Из нее следует вывод: можно

Таблица 4

**Площади орошаемых и осушенных земель в 2000 г.  
по союзным республикам, млн. га**

Республика	Орошаеьые земли	Осушенные земли
РСФСР	10—11	8—8,5
Украинская ССР	4—4,2	3,9—4,0
Белорусская ССР	0,3—0,4	3—3,2
Узбекская ССР	5—5,5	—
Казахская ССР	3—3,5	—
Грузинская ССР	0,65—0,67	—
Азербайджанская ССР	1,4—1,6	—
Литовская ССР	—	2,9—3
Молдавская ССР	0,7—0,8	—
Латвийская ССР	—	1,9—2
Киргизская ССР	1,1—1,2	—
Таджикская ССР	0,8—0,9	—
Армянская ССР	0,4—0,47	—
Туркменская ССР	1,3—1,4	—
Эстонская ССР	—	0,65—0,7

Таблица 5

**Нормы орошения, мм (по В. С. Мезенцеву, 1976)**

Область	Зерновые	Овощные	Кормовые и технические
Курганская	110—220	145—285	180—330
Оренбургская	220—300	285—380	330—450
Свердловская	0—110	0—190	0—240
Челябинская	110—180	145—240	180—290

сколько угодно уповать на гипотетический водный «до-пинг», но реальный резерв повышения продуктивности сельскохозяйственных площадей в любом режиме увлажнения заключен в совершенствовании уровня агротехники.

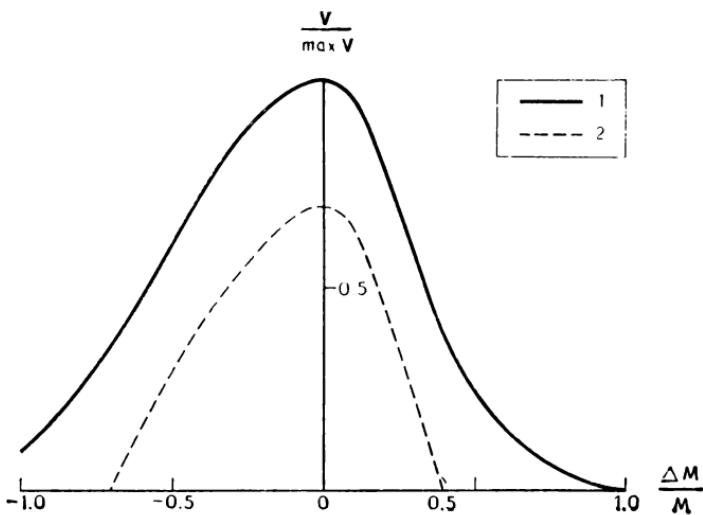


Рис. 7. Зависимость относительного урожая сельскохозяйственных культур  $\left( \frac{V}{V_{\max}} \right)$  от относительного  $\left( \frac{\Delta M}{M} \right)$  достаточное,  $\frac{\Delta M}{M} > 0$  избыточное) увлажнения почвы при высоком (1) и низком (2) уровнях агротехники

Приведенные выше данные позволяют составить общее представление о масштабах предполагаемых преобразований земель в нашей стране. В этой связи уместно отметить, что в США, например, проблема орошения ставится несколько по-иному: там «практически прекратилось расширение площадей поливного земледелия: количество новых орошаемых земель... равно потерям таких земель, занятых под постройки, дороги и другие хозяйственные объекты» (Ермаков, Игнатьев, 1978, с. 90); основной упор делается на совершенствование форм и способов орошения (модернизация ирригационной сети, применение новых облицовочных материалов в каналах, регулирование норм и графиков полива и т. д.). В настоящее время в СССР уделяется все большее внимание совершенствованию форм и способов орошения: испытываются методы капельного орошения, на 40% более экономного, чем арычное; на крутых склонах все шире применяется синхронно-импульсное дождевание, исключающее эрозию почвенного

слоя; применяется бороздковый метод полива, при котором экономится до 10% площади... Надо полагать, что это весьма своевременные мероприятия, мобилизующие огромные агротехнические резервы.

«Земельные улучшения должны, конечно, сообразоваться с климатами, но крупные улучшения имеют в свою очередь влияние на климат», — писал А. И. Войеков в 1910 г. (1963, с. 109). Решительный прогресс в представлениях о системе «цивилизация — климат» (и соответственно «орошение — климат») будет достигнут в результате регулярных космических наблюдений за атмосферой Земли.

В. А. Ковда (1972) проанализировал существующие дефекты применяемой системы бездренажного орошения (цементация или слитизация почв, потеря их структуры, повышение щелочности, вторичное засоление земель и т. д.). Ю. Одум (1975) показал, что обводняемая экосистема неизбежно «стареет», и это связано главным образом именно с деградацией почв. «Старению» экосистем способствует и повсеместное возделывание монокультур на орошаемых землях. Американский почвовед Г. Э. Дрегн (1977) приводит удручающие примеры засоления почв в результате орошения земель в Южной Калифорнии и показывает, что в дальнейшем положение будет все более ухудшаться: «Технические возможности борьбы с засолением существуют, однако не ясно, найдут ли они эффективное применение. Все зависит от принятия соответствующих решений и от экономических факторов» (с. 17). Советские ученые А. Г. Бабаев и Н. С. Орловский (1977) на примере оросительных систем с закрытым горизонтальным и вертикальным дренажем в Голодной степи убедительно показали, что эта проблема вполне разрешима. Планируя орошение новых площадей, необходимо делать предварительную экологическую экспертизу проекта освоения земель. Как и во многих других случаях, это позволит «избежать по крайней мере очевидных ошибок» (Ермаков, Игнатьев, 1978, с. 94).

На октябрьском Пленуме ЦК КПСС (1984 г.) говорилось, что, «осуществляя широкую мелиорацию, мы так или иначе вторгаемся в природу. Поступать нужно очень осторожно, чтобы, преобразуя землю, не только не нанести ей вреда, а улучшить ее, облагородить, умножить возможности природы».

---

## 10. Загрязнения и очистка воды

Для производства 1 т капронового волокна необходимо использовать 5600 м<sup>3</sup> чистой пресной воды, а для того, чтобы эта вода стала вновь пригодной для употребления, ее требуется (даже после очистки по современной технологии) разбавить еще в 100—200 раз (Корзун, Соколов, 1978). Только один этот пример наглядно показывает, сколь остро стоит проблема загрязнения и очистки воды в современном мире.

Громадный опыт человечества в «деле загрязнения и очистки воды» резюмировали Ю. Г. Ермаков и Г. М. Игнатьев (1978) на примере проблем расходования и воспроизводства водных ресурсов США. Вот некоторые их выводы:

1. «Игнорирование требований по охране водных ресурсов, пусть даже элементарных, в предыдущие годы, почти абсолютная бесконтрольность, отсутствие очистных сооружений на большинстве предприятий привели к необходимости «залпового» расхода средств, что ложится тяжелым бременем на экономику» (с. 93).

2. Практика экологических экспертиз проектируемых мероприятий и составления экологических прогнозов, несмотря на ее известные недостатки, вполне себя оправдывает и «служит активной формой улучшения состояния окружающей среды, в том числе и водных ресурсов» (с. 95), так что ее надо внедрять повсеместно.

3. В некоторых водоемах и водотоках в результате загрязнения произошли столь глубокие качественные изменения, что вернуть их в исходное состояние практически либо невозможно, либо чрезвычайно трудно. К числу необратимых качественных изменений принадлежат в первую очередь нарушения жизнедеятельности биологических компонентов экосистем, нарушения структурно-функциональной организации биосистем.

4. Неуклонно возрастает спектр загрязнителей, спектр форм загрязнения. Например, очень стойким и опасным загрязнителем оказался ПХБ (полихлорированные биофенилы), обнаруженный в водоемах только в 1966 г.

5. «Наряду с усложнением форм растет и разнообразие источников загрязнения. Если ранее в нем были повинны главным образом промышленность и крупные города, то в настоящее время грязные стоки идут почти отовсюду» (с. 95). Множится число «рассеянных источников загрязнения», т. е. таких, сток от которых невозможно собрать в один канализационный тракт, чтобы затем эффективно очистить. В редакционной статье «Современным городам нужна вода» журнал «Курьер ЮНЕСКО» (март 1978) сообщает, что на улицах Стокгольма, например, ежегодно сгребается до 850 тыс. м<sup>3</sup> снега, который затем вывозится на оз. Маларен, а в этой массе снега содержится 30 т свинца, 6 т нефтепродуктов и 130 т солей. В Филадельфии — городе с двухмиллионным населением — ежегодно образуется более 1,5 млн. т различных отходов, включая промышленные, при этом изнашивается около 4 млн. пар обуви и более 2 млн. автомобильных шин, происходит эрозия 650 тыс. зданий. В период дождей вся эта «продукция» выносится в водоемы. В целом в городских зонах сток содержит в 5—10 раз больше взвешенных веществ, чем в сельских районах.

6. Неуклонно расширяется сфера загрязнения вод. Особую тревогу вызывает загрязнение грунтовых и подземных вод.

Технологические и правовые аспекты проблемы очистки воды освещены в книге Ю. П. Беличенко и Л. Я. Полянинова (1976), а также в справочнике «Охрана окружающей среды» (1978). Очевидно, что очистка воды, как и любой другой вид человеческой деятельности, требует разносторонней профессиональной подготовки специалистов.

Самыми надежными союзниками человека в этом деле являются живые организмы: бактерии, водоросли, высшие растения, моллюски и пр. Специалисты подсчитали, например, что популяции моллюсков в Цимлянском водохранилище «процеживают через себя» 6—8 раз за год весь объем воды, очищая ее тем самым от всех взвесей. Чрезвычайно тревожным симптомом представляются груды моллюсков, усеивающих в отдельные сезоны берега некоторых водоемов. В этой ситуации следует внимательно разобраться в популяционной структуре погибших и выживших моллюсков: может оказаться, что выжившие моллюски обладают в данном случае какими-

то значимыми селективными преимуществами. Дальнейшего развития заслуживают поиски индикационных биологических природных тест-объектов, быстро и ощутимо реагирующих на различные формы загрязнения водоемов. Известно, например, что присутствие в водоеме водоросли улотрикс указывает на то, что вода в нем чистая... Подобных примеров множество, но экология должна иметь стройную систему биологических объектов и признаков, совершенно однозначно реагирующих на конкретные виды загрязнений в конкретных физико-географических условиях.

Громадными перспективами обладают методы микробиологической очистки воды и вообще селекция узкоспециализированных типов микроорганизмов.

---

## 11. О перебросках стока рек

Этот вопрос так или иначе затрагивался почти во всех предыдущих разделах данной главы, поскольку переброски стока связаны и со строительством водохранилищ, и с прокладкой каналов, и с изменением режима рек, и с осушением болот, и с орошением земель. Трудно найти другой вид человеческой деятельности, который бы столь же широко соприкасался со всеми прочими интересами общества. К этой проблеме приковано внимание широкого круга научных специалистов, хозяйственных руководителей и политических деятелей, неуклонно растет интерес к ней всей мировой общественности.

Наиболее крупным в мировой практике является проект переброски части стока рек Юкон, Фрейзер, Пис-Ривер, Атабаска и Колумбия в засушливые районы Канады, США и Мексики. По этому проекту предполагалось перебрасывать ежегодно до 196 км<sup>3</sup> воды. По сообщению М. И. Львовича (1978), стоимость только капитальных затрат на переброску 1,0 км<sup>3</sup> воды по этому проекту колеблется от 500 млн. до 1,0 млрд. долл. (в зависимости от технического варианта). Чрезвычайно велики должны быть и эксплуатационные расходы (на перекачку воды, содержание энергетических, транспортных и водных коммуникаций, на устранение побочных негативных явлений и пр.). Осуществление этого

проекта отложено на неопределенное время (Ермаков, Игнатьев, 1978), и, вероятно, не столько из-за громадной стоимости работ, сколько благодаря поиску и внедрению спектра паллиативных мер, важнейшей из которых является перевод множества отдельных водопотребителей и целых отраслей промышленности на режим многократного использования ограниченных объемов воды (замкнутый цикл водоснабжения). Конструктивное значение имеет в данном случае и то, что транспортировать на дальние расстояния электроэнергию значительно дешевле и проще, чем воду. А при наличии энергии в промышленных масштабах воду можно, как справедливо заметил академик А. Л. Яншин, добывать из чего угодно, даже из песка и камня.

Проектные предложения переброски стока рек имеются для Южной Америки (перераспределение стока Амазонки и Ла-Платы), Африки (переброска части стока из р. Конго в оз. Чад) и Австралии.

О целесообразности перестройки водных коммуникаций и соответственно о перебросках стока рек в России начали задумываться очень давно. В посмертно опубликованной в 1916 г. статье А. И. Воейкова «О водных путях России» (Воейков, 1963) показана история этой проблемы начиная с попытки соединения Волги с Доном, предпринятой султаном Селимом в 1568 г. В конце 70-х годов прошлого века М. А. Даниловым были высказаны уже и весьма обоснованные предложения по соединению Черного моря с Каспием через Манычскую долину, решавшему одновременно комплекс региональных экономических и хозяйственных проблем.

В настоящее время ряд проектных и научно-исследовательских институтов всесторонне изучают возможности перебросок стока. В европейской части СССР рассматриваются варианты изъятия части стока рек Сухоны, Онеги, Печоры и Вычегды для переброски в бассейн Волги. Имеется также вариант переброски вод из Дуная в Днепр. В Западной Сибири анализируются возможности переброски стока из бассейна Оби в Среднюю Азию. В более отдаленной перспективе предусматривается привлечение в эту систему вод из бассейна Енисея.

Наиболее общий и полный обзор географических аспектов этой проблемы проделан М. И. Львовичем (1977, 1978), который пишет: «Задача географов заклю-

чается в том, чтобы на основании заблаговременного прогноза повлиять таким образом на содержание проектов перебросок, чтобы при их осуществлении был минимум отрицательных влияний на природу и чтобы положительный эффект был максимальным» (1978, с. 96). Казалось бы, все ясно: есть задача и есть кому ее решать. Однако дальше М. И. Львович уточняет: «Уже сейчас, не откладывая, необходимо начать изучать экологические условия, которые сложатся через 15—30 лет в результате изъятия речного стока» (с. 101—102). Вот и получается, что географы сначала вроде бы берут всю «заботу о природе» на себя, но затем перекладывают ее на эколога, биолога, медика и т. д.

К сожалению, это не просто семантический трюк. «Конструктивная география» претендует непременно на лидерство в решении «одной из главнейших современных задач человечества — рационального использования природных ресурсов, охраны и улучшения окружающей среды» (Герасимов, 1977, с. 78). Там есть и о перебросках стока: «Географии предстоит также взять на себя составление прогнозов тех изменений в природной среде, которые будут вызваны крупными техническими сооружениями. К чему, например, приведет переброска северных вод на юг — в Среднюю Азию? Дать всесторонний и научно обоснованный ответ на такой вопрос могут только географы» (с. 79). Таким образом, экология здесь оказывается вроде бы как и вообще не у дел... А ведь М. И. Львович верно поставил задачу, и весь вопрос в том, как ее проще и быстрее решить совместными усилиями специалистов из самых разнообразных отраслей естествознания, экономики и техники.

Несомненно, на первом месте стоят технико-экономические проблемы: в каком направлении развиваются промышленность и экономика отдельно зоны изъятия и зоны распределения стока? В каком направлении развиваются водоемные производства вообще? Целесообразна ли переброска стока при перспективной оценке двух предыдущих обстоятельств? Какие стимулы она даст для хозяйства рассматриваемых зон? Уже на этом этапе требуется иметь представление о наиболее очевидных достоинствах и дефектах самой идеи перераспределения стока с точки зрения естествознания, т. е. достаточно обоснованных предыдущим опытом интересов рационального использования и охраны природных ре-

сурсов. На этом этапе всесторонне рассматривается альтернатива: перебрасывать или не перебрасывать сток? Чтобы однозначно ответить на этот вопрос, нужны специальные исследования в предполагаемых зонах изъятия, транспортировки и распределения стока, а также на объектах-аналогах, если они имеются. Организации этих исследований должна предшествовать громадная теоретическая работа по обобщению известных фактов и постановке задач для дополнительных наблюдений и экспериментов в этой области.

Основной предпосылкой для выработки физико-географического прогноза является достаточное представление о состоянии и естественной динамике физико-географической обстановки в зонах изъятия, транспортировки и распределения стока, о размещении и параметрах основных и вспомогательных технических сооружений, о режиме функционирования всей гидротехнической системы переброски, а также о ее экономических показателях. Кроме этого на вооружение должны быть взяты и опыт сооружения и эксплуатации аналогичных гидротехнических систем, и фундаментальные теоретические концепции физической географии.

Как правило, очень скоро встает вопрос о пространственно-временных пределах компетенции прогноза. И в пространственном, и во временном отношении целесообразно выделить близкий и отдаленный аспекты. Соответственно возникают четыре группы задач:

А. Близкий пространственно-временной прогноз, т. е. предвидение физико-географических явлений, локализованных в пунктах строительства и на непосредственно прилегающих территориях в процессе сооружения объектов и в первые годы их эксплуатации. Так, в случае сооружения водохранилища речь пойдет о зоне затопления и подтопления, о береговой линии, нижнем бьефе, зоне выклинивания подпора, зоне инфильтрации и о всех изменениях в них, которые произойдут в процессе строительства, заполнения водохранилища и в ближайшие годы после пуска гидроузла.

Б. Прогноз пространственно отдаленных физико-географических явлений, следующих непосредственно за сооружением и пуском объектов. Отдаленные пространственные пределы влияния объектов устанавливаются на основе физико-географического районирования территорий по крупным естественным рубежам, таким, как

границы водосборных бассейнов, ландшафтно-географических фаций, уроцищ, зон и провинций, геологических провинций, рудных тел и т. п. Примером явлений рассматриваемого порядка могут быть изменения климата, нарушения нерестового режима рыб, миграционных путей диких зверей, проседания земной коры, сейсмические явления и пр.

В. Прогноз физико-географических явлений, локализованных в пунктах строительства и на прилегающих территориях, на отдаленную временную перспективу (десятки лет). Здесь речь идет по существу о динамике явлений, отмеченных в пункте «А», в многолетнем или даже вековом цикле.

Г. Отдаленный пространственно-временной прогноз как система представлений о динамике явлений, упомянутых в пункте «Б».

Практику интересуют преимущественно прогнозы первого и третьего типов, поскольку их легче всего учесть при проектировании и строительстве сооружений, они имеют тактическое значение. Прогнозы второго и четвертого типов представляют отнюдь не схоластический, а широкий стратегический интерес, и их следовало бы вырабатывать в первую очередь. Действительно, эти прогнозы особенно полезны на стадии принятия именно главного решения: перебрасывать или не перебрасывать сток. Далее, если перебрасывать, то каким образом? Как с максимальной выгодой разместить водохранилища и коммуникации? Каких ситуаций следует особенно опасаться? Какие мероприятия и какую политику следует предусмотреть в смежных с водохозяйственными технико-экономических отраслях?

Отсутствие хотя бы самых примитивных и поверхностных физико-географических построений стратегического плана по отношению к водному хозяйству отдельных регионов неоправданно сужает проблему в целом, дезориентирует исследования, дробит и разобщает усилия конкретных специалистов.

Возьмем, например, Западно-Сибирскую низменность как зону возможного изъятия стока Оби (проект переброски Обь — Юг). Вполне очевидно, что, прежде чем выяснить вопрос о возможных последствиях сооружения здесь крупных водохранилищ и изъятия какой-то части стока рек, следует свести в единую логическую схему по крайней мере такие данные:

1. По расчетам С. Б. Ершовой (1976), на протяжении голоцена, т. е. последних 12 тыс. лет, западносибирская плита поднимается со средней скоростью 10,4—11,5 мм в год. Этому поднятию должно бы соответствовать понижение местных базисов эрозии, а следовательно, и усиление дренирующей способности гидросети, понижение общей заболоченности и повышение лесистости.

2. По данным М. И. Нейштадта (1976), на протяжении голоцена лесные фитоценозы в Западной Сибири сменились болотными на территории в 786 тыс. км<sup>2</sup>, и даже до 1,0 млн. км<sup>2</sup>.

3. А. А. Никонов (1978) показал, что в районах карского побережья Западно-Сибирская низменность в настоящее время погружается со средней скоростью до 3 мм в год.

4. Имеются данные, что уровень Мирового океана в течение только 70-х годов нашего столетия повышался в среднем на 12,7 мм в год...

5. Откачка нефти в некоторых геологических условиях может вызвать не только проседание земной поверхности, но даже землетрясение (Сухарев, 1972).

6. Подавляющая часть нефтяных и газовых месторождений расположена в зоне распространения многолетней мерзлоты, динамика которой должна каким-то образом быть связана со всеми перечисленными выше процессами.

7. Лесные ресурсы Западной Сибири на протяжении последних десятилетий значительно сократились и в настоящее время в своем качественном выражении, видимо, надолго исчерпаны. На границах с тундрой и степью леса отступают под натиском человека. В пределах собственно лесной зоны лесопокрытая площадь также сокращается за счет перевода земель в другие категории хозяйственного использования и в результате агрессии болот.

При более строгом подходе помимо упомянутых тенденций для северного Приобья следует учитывать еще и множество других, более «деликатных», локальных, но в любом случае чрезвычайно динамичных естественных процессов. Так, по сообщению П. Ф. Швецова (1979), бугры криогенного происхождения в тундре и лесотундре вырастают до высоты 8—12 м всего за 5—8 осенне-зимних сезонов, а скорость разрушения «вечномерзлых» бе-

регов рек достигает 20 м за один теплый сезон. По наблюдениям В. В. Крючкова (1979), термокарстовые озера способны перемещаться со скоростью до 6—10 м за сезон, а термокарстово-эррозионные овраги (как чисто антропогенные образования) растут со скоростью 15—30 м/год.

Этот перечень разрозненных динамических данных можно продолжить, и в оценке всех подобных, даже сугубо естественных, явлений уже сейчас необходимо в той или иной мере учитывать влияние текущей деятельности человека, связанной с эксплуатацией природных ресурсов.

По мнению М. И. Будыко (1980), техногенные изменения климата на Земле могут лишь к концу текущего века достичнуть размеров, сопоставимых с его естественными колебаниями. Надо полагать, что в региональных масштабах это может возникнуть и раньше.

Выше уже говорилось о тепловом стоке рек как о важнейшем экологическом факторе. Вычислено, что тепловой сток Оби в районе г. Салехарда составляет в среднем за год 3 325 млрд. Мкал (Одрова, 1980) при максимуме 4 675 млрд. Мкал (в 1957 г.) и минимуме 1 778 млрд. Мкал (в 1967 г.). Для сравнения заметим, что весь бассейн Нижней Оби суммарной солнечной радиации получает около 200 000 млрд. Мкал в год. Разумеется, изъятие части стока Нижней Оби будет отвечать систематическому отбору из данного региона пропорционального количества транзитного тепла в объеме до 600 млрд. Мкал в год. Важной особенностью теплового стока является то, что максимум его приходится на период с июня по сентябрь, т. е. именно на вегетационный период, что обеспечивает повышенную биологическую продуктивность речных и пойменных экосистем.

В этой связи весьма полезно и достаточно реально иметь хотя бы субституционную оценку стоимости теплового стока Оби. Иными словами, интересно выяснить, сколько могло бы стоить искусственное обогревание поймы Нижней Оби, эквивалентное изъятию части ее естественного теплового стока. Выяснить в сущности теми же методами, которыми исчисляется стоимость парового отопления жилого дома...

Б. Л. Берри, А. А. Либерман и С. Г. Шиятов (1979) на основании анализа годичных колец в древесине лиственницы сибирской построили так называемую абсолют-

ную дендрохронологическую шкалу для низовий р. Таз за период с 1103 по 1968 г., т. е. за 867 лет, отражающую термические условия вегетационного периода. Математическая обработка данных этого хронологического ряда позволяет прогнозировать естественные колебания климата в северном Приобье по крайней мере до 2200 г. Согласно этому прогнозу, похолодания на севере Западной Сибири ожидаются в конце ХХ — начале ХХI в., во второй половине ХХI и в течение почти всего ХХII столетия. Потепление ожидается в первой половине ХХI, на рубеже ХХI и ХХII вв. и в конце ХХII столетия.

В работах С. Г. Шиятова (1975), а также Л. Г. Полозовой и С. Г. Шиятова (1976) показано, что в нижнем Приобье уже сейчас наступил долговременный период похолодания, связанный с частичным совпадением минимумов сверхвекового (двойного векового) и векового циклов климатических колебаний, эпицентром которых как раз и является северное Приобье. Продолжительность сверхвекового цикла составляет в среднем 167 лет, а амплитуда — 42%; продолжительность векового цикла — 80—92 года, амплитуда — 34—36%. Нисходящая фаза векового цикла в низовьях Оби продлится до 1—2-го десятилетий ХХI в., а минимум сверхвекового цикла наступит в конце ХХ — начале ХХI в. Все эти уникальные региональные данные хорошо согласуются с прогнозом снижения солнечной активности (Дружинин, Сазонов, Ягодинский, 1974), а также с расчетами И. В. Максимова (1970), прогнозирующего увеличение ледовитости северных морей на 1982—1992 гг. до уровня, соответствующего концу прошлого столетия. Совпадение этих прогнозов, полученных на разных объектах и различными методами, придает им достаточную убедительность.

Осознание всех перечисленных фактов еще не достигло уровня эмпирических обобщений. Наука в данном случае идет лишь «по следам» событий, вместо того чтобы их хоть сколько-нибудь предварять. А ведь надо априори увидеть, что получится в результате новых мероприятий, связанных с проектируемой переброской стока, увидеть в перспективе, уходящей в следующее тысячелетие, и не только в физико-географическом, но и в социально-экономическом, техническом, медико-биологическом и экологическом аспектах.

Анализ климатических прогнозов позволяет утверждать, что отбор части стока Оби в конце текущего столетия может весьма усугубить негативный эффект естественного похолодания (снижение первичной биологической продуктивности наземных и водных экосистем на 17—21% по сравнению с многолетней средней нормой, массовость заморных явлений в реках и озерах, ужесточение ледовой обстановки в Оби, Обской губе и Карском море, сокращение сроков навигации, повышение вероятности аварийных ситуаций на промыслах и транспорте нефти и газа и т. п.). Абстрагируясь от всех прочих обстоятельств, хотя бы только из-за этого переброску стока следует планировать на более благоприятный в климатическом отношении период.

Объемистый том может быть посвящен анализу поведения различных представителей охотничье-промышленной фауны (водоплавающей птицы, ондатры и т. д.), а также рыбохозяйственных аспектов проблемы переброски стока. Как известно, обские популяции сиговых рыб (пелянь, чир, сиг-пыхъян, тугун, ряпушка) представляют собой «золотой фонд» рыбного хозяйства страны. Их экологические особенности активно изучаются уральскими ихтиологами (Добринская, Яковлева, Ярушина, Богданова, Следь и др., 1981). Поздней осенью сиги нерестятся в уральских притоках Нижней Оби. Здесь же они спасаются от ежегодных сокрушительных зимних заморов на Оби. Озерные и соровые системы Нижней Оби являются для сиговых и прочих видов рыб уникальными нагульными пастбищами. Каждый из видов сигов на протяжении веков облюбовал свои реки для нереста и свои кормовые угодья, а также выработал свои собственные миграционные маршруты. Каждый из видов сигов состоит в сложных взаимоотношениях с другими видами рыб. Все это хрупкое равновесие в «тайном царстве» поддерживается весьма сложными и тонкими биологическими механизмами. Как влияет на эти механизмы изъятие части стока Оби? Какими способами можно предотвратить или ослабить неблагоприятные последствия этого мероприятия?

А неблагоприятные для рыбного хозяйства последствия переброски стока, конечно, возникнут. Систематический отбор части стока будет способствовать обсыханию соровых систем, особенно в маловодные годы, что привлечет за собой разрастание в ложе соров высшей по-

луводной и наземной кустарниковой растительности и их последующую деградацию как рыбохозяйственных кормовых угодий. Но соры являются не только нагульными пастьбищами, но и регуляторами ледовых явлений на реках: при наличии в речной системе крупных сточных или проточных озер даты наступления ледовой обстановки при прочих равных условиях сдвигаются на более поздние сроки, что благоприятствует и нерестовому ходу рыб. При высоком уровне воды сиги идут нерестовать по рекам значительно выше, чем обычно, так как там гидрохимический режим наиболее благоприятен. В малую воду сиги для нереста довольствуются лишь низовыми водотоками, где условия для нереста и особенно для зиждочки значительно хуже.

Как известно, Обский бассейн принадлежит к зоне зимне-весенних заморов. Замор представляет собой естественное природное явление, но его можно существенно усугубить путем загрязнения вод нефтепродуктами и другими промышленно-бытовыми стоками, а также путем изъятия части стока Оби. В этих обстоятельствах гидроузлы, по-видимому, нельзя проектировать просто как сверхмощные водозаборные сооружения. В их функциональном назначении должны быть предусмотрены интересы не только водозaborа, но и санитарно-гигиенического и экологического надзора за качеством стока, изымаемого и поступающего в нижний бьеф гидроузла, а главное — интересы радикальной очистки и обогащения воды (например, кислородом в заморный период) с последующей переработкой «отходов».

Самостоятельный интерес представляет прогноз состояния пойменных лесов и лугов в связи с изъятием части стока. Известно, что их продуктивность во многом определяется ежегодным поступлением в почву питательных веществ из речного стока в виде так называемого наилка. Но хорошо известно и то, что плотины задерживают до 95% твердых частиц грунта, взвешенных в речном потоке. Как компенсировать эти потери? А может, они компенсируются сокращением длительности паводков?

Можно согласиться, что физико-географический прогноз будет своего рода преамбулой ко всем прочим прогнозам, а следовательно, нужно всячески содействовать его методическому и теоретическому оснащению.

Имея относительно надежную картину преобразования физико-географических условий отдельно в зонах изъятия, транспортировки и распределения стока, а также на прилегающих и каким-либо образом зависимых от характеристики рассматриваемой территории площадях, можно приступить к анализу биологических, т. е. лесоводственных, геоботанических, гидробиологических, генетических, хорологических и демографических, последствий проектируемых мероприятий. Руководствуясь при этом интересами не только «чистой биологии», но и охраны растительного покрова и животного мира, рационального использования ресурсов живой природы (главным образом ресурсов сельского, лесного, рыбного и охотничьего хозяйства), а также рекреационными, санитарно-гигиеническими, эстетическими, историческими и прочими нуждами, эти исследования уже теперь с достаточными основаниями можно определить как экологические. Иными словами, при анализе рассматриваемой проблемы эколог должен иметь перед собой всесторонний физико-географический прогноз. Фундаментальную же сводку современных представлений о физико-географических последствиях перебросок стока в региональном и глобальном планах должны сделать географы.

Задачи экологии в сложившейся ситуации можно определить так:

1. Изучить выводы и рекомендации физико-географического прогноза последствий переброски стока. На этом же этапе особо выделить те обстоятельства, которые либо не принимаются в расчет, либо существенно недооцениваются.

2. По всем имеющимся научным данным, а также путем специальных исследований составить как можно более полное и формализованное представление о современной динамике основных типов растительных формаций, болотных, озерных и речных биогеоценозов, а также популяций наиболее ценных видов рыб, зверей и птиц в зонах предполагаемого изъятия, транспортировки и распределения стока исходя из естественных тенденций в их развитии и достигнутого уровня народнохозяйственного использования.

3. Оценить предполагаемые изменения в состоянии (распределении, структуре и продуктивности) и динамике перечисленных в предыдущем пункте биологических объектов в связи со строительством и функционированием

новых гидротехнических сооружений во всех зонах предполагаемого перераспределения стока.

4. Выработать рекомендации по максимальному предотвращению негативных биологических эффектов на всем тракте переброски.

5. Методом аналогий составить представления о гидробиологическом режиме создаваемых искусственных водоемов и водотоков, а также выработать предложения по устранению или ослаблению биологических помех в их эксплуатации.

6. Рекомендовать систему биотехнических и хозяйственных мероприятий по созданию во всех зонах переброски оптимального экологического режима (защитное лесоразведение, парковое строительство, реконструкция малоценных угодий, организация новых заповедников, резерватов, заказников и пр.).

7. Совместно с экономистами выработать способы и критерии экономической оценки положительных и отрицательных моментов в использовании биологических ресурсов на тракте переброски и в связи с ней для сопоставления с общими капитальными затратами и ожидаемым экономическим эффектом.

8. Рекомендовать принципы оперативного экологического надзора за сооружением и эксплуатацией всей системы переброски стока.

Этот перечень можно конкретизировать применительно к тому или иному варианту переброски и к комбинациям вариантов, к отдельным зонам трактов переброски и к комбинациям зон: в таежных районах актуальными будут одни проблемы, а в степных и тундровых — другие.. Особое внимание должно быть уделено подбору системы экологических тестов для различных ландшафтно-географических зон, т. е. природных биологических объектов надорганизменного уровня, наиболее быстро и чутко реагирующих на предполагаемые изменения физических условий на тракте переброски стока.

Подводя итог разделу и главе в целом, уместно выделить те направления фундаментальных биологических исследований, которые представляются наиболее актуальными при решении текущих водохозяйственных проблем. В первую очередь следует назвать всестороннее развитие концепции водосборного бассейна как элементарной экологической и водохозяйственной категории. Развитие этой концепции представляется невозможным

без прогресса в области палеоэкологии, базирующейся на достижениях палеонтологии и палеогеографии. Именно экологией должны быть реализованы новые возможности, которые представляют материалы космической съемки земной поверхности. Серьезное внимание должно быть уделено теоретическим разработкам в области эволюции структурно-функциональной организации биогеоценозов и взаимодействий между ними. Наконец, интересы эффективного внедрения экологических принципов в практику водохозяйственного планирования и строительства требуют глубокого взаимопроникновения и взаимовлияния идей экологии, экономики, права и этики природопользования. Самые здравые предложения в области экологии не будут иметь успеха без развития сети соответствующих научно-исследовательских учреждений и организации государственной службы экологического надзора.



## ЭКОЛОГИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Земной шар опутан сетью морских, речных, авто- и железнодорожных, воздушных транспортных коммуникаций. Транспортные корабли совершают все более длительные полеты в околосолнечное космическое пространство. Пределов развитию транспорта — этой своего рода нервной системы цивилизации, по-видимому, не существует, поэтому назрела необходимость осознать, продумать и исследовать те аспекты и тенденции в развитии транспорта, которые имеют экологическое значение.

---

### 1. Экологическое значение морского транспорта

Морской транспорт является древнейшим в человеческой практике способом регулярных межконтинентальных коммуникаций.

Можно было бы привести длинный список видов растений и животных, а также болезней растений, животных и человека, которые распространялись по земному шару в течение последних столетий исключительно «благодаря» развитию морского судоходства. Уместно напомнить подчас поистине драматические события истории расселения по континентам гевеи бразильской, превосходно описанные Манфредом Кюнне (1962), или хлебного дерева, освещенные Бенгтом Даниельссоном (1966), повлиявших на судьбы многих народов.

Известная всем элодея канадская («водяная чума») была занесена морскими путями из Америки в Европу в 1836 г. (Голенкин, 1937). В 1889 г. она с помощью аквариумистов «перевалила» уже через Уральский хребет (Дексбах, 1956). На территории Ильменского государственного заповедника элодея появилась в 1957—

1958 гг. при «содействии» рыболовецкой артели. А летом 1980 г. она была обнаружена в районе Селенгинского мелководья оз. Байкал (Неронов, Майстеренко, 1981)...

В 1876 г. из Японии в США через Филадельфию попало вьющееся бобовое растение «кудзу». Теперь оно «захватывает» поля, брошенные постройки, свалки и пр. Фермеры в отчаянии!

Свообразным полигоном для «биологической экспансии» средствами морского транспорта на протяжении почти 200 лет является Австралийский континент. Водный папоротник сальвиния (родом из юго-восточных районов Бразилии) впервые был здесь обнаружен в 1952 г. Теперь он превратился в основную помеху ирригации, мелиорации и судоходству, приводя к ощутимым коммерческим убыткам. Столь же «чреватым» последствиями оказалось проникновение сальвинии в Индию, Шри-Ланку, на острова Папуа-Новой Гвинеи, в Новую Зеландию и отдельные районы Африки. К счастью, именно на родине сальвинии был найден ее естественный вредитель, и тем самым было приостановлено ее «наступление».

В Индии за последние годы чрезвычайно широко распространился сорняк американского происхождения, родственный гваюле или нашему подсолнечнику, пыльца которого обладает мощными аллергическими и аллелопатическими свойствами... Ондатра, завезенная в Голландию несколько десятилетий назад, стала настоящим стихийным бедствием (повреждает и разрушает земляные плотины); отлавливается до 100 тыс. животных в год, но численность их не уменьшается... Несмотря на самые изощренные санитарные предосторожности в морских портах, по миру до сих пор «строят» многочисленные зоантропозы, т. е. болезни, общие для животных и человека (сибирская язва, сап, чума, бруцеллез, сонная болезнь, бешенство, описторхоз и пр.).

Но это только одна экологическая проблема, хотя с эволюционной точки зрения, видимо, главенствующая. Назрела необходимость в мировой сводке по миграционному поведению биологических видов, учитывающей десятки и сотни миграционных путей. И надо полагать, что ведущая роль среди них будет принадлежать наряду с дрейфом флор вместе с континентами именно морскому транспорту.

Другая проблема связана с загрязнением Мирового океана морским транспортом. Дан Берман (1977) приво-

дит следующие, по его собственному выражению, «трагикомические данные»: «Проведенное в 1973 году обследование небольшого (12,5 кв. м) участка в северной части Тихого океана дало такие результаты: здесь были выловлены 6 пластмассовых бутылок, 22 пластиковых обрывка, 12 стеклянных поплавков от рыбакских сетей, 4 стеклянных бутылки, веревка, камера от автомобильной шины, доска, сапожная щетка, резиновая сандалия, банка из-под кофе и 3 картонные коробки» (с. 28). Там же приводятся такие сведения: на 100-километровом участке побережья Аляски найдено 24 тыс. различных пластмассовых предметов и изделий!

Особую угрозу экосистемам океана представляют загрязнения нефтепродуктами. Д. Вудворд (1962) сообщает, что при утечках емкостей или авариях судов в Мировой океан ежегодно сбрасывается в среднем от  $1/1000$  до  $1/100$  всего количества транспортируемых нефтепродуктов. Эти цифры настораживают, поскольку объемы нефтеперевозок неуклонно возрастают. Мировая общественность, международные правовые органы и природоохранные организации предпринимают громадные усилия, чтобы предотвратить прогрессирующее загрязнение Мирового океана нефтепродуктами, но этих усилий явно недостаточно. В. А. Чичварин (1970) приводит такие факты: в 1964—1967 гг. английскими судебными органами за нарушение Закона о нефти в судоходных водах 1955 г. было оштрафовано 90 иностранных судов, 77 судов под британским флагом и 16 английских береговых предприятий. Общая сумма штрафов составила около 29 тыс. ф. ст., но судовой сепаратор нефти стоил тогда 1,0 тыс. ф. ст., а береговая нефтеочистительная установка — 300 тыс. ф. ст. Иными словами, уплатив штраф 29 тыс. ф. ст., предприниматели «сэкономили» на нефтеочистительных сепараторах и установках около 5 млн. ф. ст. Разумеется, в таких условиях очень трудно достичь решительного прогресса в предотвращении загрязнения океана морским транспортом, а также морскими и береговыми нефтепро мыслами.

В этой связи перед морской экологией стоит актуальная задача: построение модели функционирования важнейших экосистем океана в условиях прогрессирующего нефтяного загрязнения. Решение этой задачи послужит, во-первых, мобилизации усилий мировой общественности в защиту океана, а во-вторых, прогнозом тех

научно-технических проблем, которые встанут перед человечеством в ближайшем будущем.

---

## 2. Речной транспорт

В предыдущей главе о проблемах рек практически не рассматривалось значение их как транспортных коммуникаций. Между тем, как древнейший способ внутриконтинентальных сообщений, речной (и озерный) транспорт несомненно оказал и оказывает сильное влияние на состояние и развитие собственно водных и прилегающих наземных экосистем.

По-видимому, самостоятельного исследования заслуживают явления продвижения отдельных элементов региональных флор и фаун из исторических центров их возникновения по воднотранспортным коммуникациям в верховья рек и смежные бассейны. Благодарнейшим объектом, например, может служить «Великий путь из варяг в греки», по которому начиная с IX в. н. э. осуществлялось торговое сообщение народов Руси и Прибалтики с Византией. Начинаясь от Балтийского моря, этот путь пролегал по р. Неве, Ладожскому оз., р. Волхов, оз. Ильмень, р. Ловать, от нее волоком до Западной Двины, затем волоком до Днепра и, наконец, по Днепру в Черное море. Сколько видов только дикой флоры расселилось с помощью человека вдоль этого великого древнего пути? Надо полагать, что немало. А таких путей множество. Исследовать все эти моменты совершенно необходимо, чтобы понять роль человека в формировании как современных, так и будущих региональных флор и фаун.

О загрязнениях рек предприятиями, сельским хозяйством и населенными пунктами известно очень много. Речной же транспорт является довольно специфическим источником загрязнения; уследить за ним непросто, но исключать его из расчетов недопустимо. Знаменательно, что справочник «Охрана окружающей среды» (1978) выпущен издательством «Судостроение». К сожалению, в этом справочнике не содержится документов и рекомендаций, адресованных «малым формам» речного транспорта (моторным лодкам и катерам), которые, возможно, и причиняют как раз наибольший вред.

Для моторной лодки, особенно с водометным двигателем, доступны самые малые речушки. Суммарный эф-

фект всех этих вторжений в ранее недоступные уголки гидросети трудно вообразить, но его надо планомерно и целеустремленно исследовать. В одном и том же бассейне можно выявить «освоенные» и «неосвоенные» мото-ристами-лодочниками участки гидросети и на системе таких парных объектов организовать наблюдения, своего рода «малый мониторинг». Кардинальным средством против загрязнений и шума, производимых моторными лодками, могут стать лодочные аккумуляторные электродвигатели, но в некоторые малые реки доступ моторных лодок, по-видимому, вообще должен быть закрыт.

Специфическим средством транспорта и вместе с тем крупного преобразования речной системы являются драги и земснаряды. Ихтиологические и гидробиологические наблюдения в пунктах их эксплуатации могут иметь ключевое значение для понимания более сложных и масштабных явлений, таких, например, как эффекты «дробления» популяций гидробионтов. К эффектам дробления популяций мы относим микроэволюционные явления, связанные с разделением искусственными препятствиями исторически единой и целостной популяции на ряд субпопуляций, развивающихся в дальнейшем самостоятельно. Выяснение таких чрезвычайно интересных с общебиологической точки зрения моментов на примере ценных пород рыб несомненно будет иметь и громадное народнохозяйственное значение. Так, фактором изоляции для рыб помимо зарегулирования и загрязнения главного (магистрального) водотока, возможно, могут служить шумы и вибрации различных частот при пересечении рек нитями нефте- и газопроводов, а также электромагнитные поля, например, при переходах ЛЭП через реки.

Большое будущее имеет опыт «подведения» реки под мост, выстроенный сначала на сухом месте в стороне от нее, как это было сделано в 1980 г. при переходе железнодорожной магистрали Сургут—Уренгой через реку Тыдыютта. Еще более широкое внедрение, по-видимому, получит практика сооружения на северных реках (для нужд орошения) временных ледяных плотин, как на р. Амге в Якутии. Разумеется, экологические аспекты здесь придется учитывать.

На реках таежной зоны большое самостоятельное значение имеет транспорт древесины. Жители таежных районов справедливо сетуют: «Дно многих наших рек

деревянное». Известно, что при практиковавшемся ранее молевом (rossыпью) сплаве древесины до 50% ее объема «оседает» на дне и берегах реки. Поэтому необходимо организовать сравнительные гидробиологические исследования на сходных по режиму реках, испытавших и не испытавших воздействие молевого сплава. В этой же связи желательно иметь ясное представление о химических проявлениях погруженной в воду древесины различных сортов, и особенно «в коре». Надо полагать, что из коры вымываются определенные количества всевозможных токсинов.

Несудоходные таежные реки (особенно в зоне интенсивной лесоэксплуатации) сильно страдают от древесных завалов. Каждый из последних оказывается своего рода «микроплотиной», нарушающей нормальную жизнедеятельность речной экосистемы. Проследить за динамикой конкретного завала и сопутствующих ему гидрологических и гидробиологических явлений несложно, а практический выход может быть весьма значителен.

---

### 3. Железнодорожный транспорт

Отец и сын Черепановы в 1834 г. построили в Нижнем Тагиле первую в России железную дорогу с паровой тягой. В 1837 г. была открыта железная дорога общего пользования Петербург — Царское Село длиной 27 км. В 1851 г. была построена двухколейная железная дорога Петербург — Москва, по тем временам крупнейшая и совершеннейшая в мире. В настоящее время протяженность железных дорог только широкой колеи на территории СССР составляет около 143 тыс. км (по состоянию на конец 1982 г.), и она неуклонно увеличивается.

Строительство БАМа впервые в мировой практике выдвинуло на одно из первых мест проблему понимания именно экологических аспектов этого грандиозного мероприятия. БАМ является в настоящее время и одним из крупнейших «экологических экспериментов». Хороший обзор именно экологической ситуации в зоне БАМа проделан Л. Н. Ильиной (1982). В предвидении тех проблем, которые могут возникнуть в будущем, особенно полезно продумать опыт воздействия на окружающую

среду традиционных трактов железнодорожного транспорта.

Прежде всего следует заметить, что железнодорожный транспорт почти с момента его зарождения развивался в тесном союзе с лесоводством, а точнее, с защитным лесоразведением. Сначала для защиты путей от снежных заносов создавались живые изгороди, затем стали создавать защитные лесные полосы. Первые лесные полосы были заложены в 1877 г. вдоль Курско-Харьковско-Севастопольской железной дороги, к 1887 г. такие полосы появились уже на 33 дорогах России, составлявших более 60% общей протяженности дорог того времени; к 1959 г. на железных дорогах действовало уже 57 тыс. км защитных полос общей площадью 279 тыс. га (Бодров, 1961). Технология создания таких полос в различных зонах страны кроме лесоводственного имеет серьезное инженерное и экономическое обоснование.

Кроме своего прямого назначения железнодорожные лесные полосы несут и множество косвенных функций: это и удержание в почве и на прилегающих полях влаги, и снижение скорости ветра; это и обогащение местных флор и фаун новыми элементами, причем в специфическом «ландшафтном» оформлении, т. е. в виде новых типов биогеоценозов; это и производство дополнительного органического вещества, в том числе ценного семенного материала. Наконец, нельзя пренебрегать даже чисто эстетической функцией защитных полос. Продукт человеческого труда — лесные полосы являются по существу садами, создаваемыми на громадных площадях. В этих культурах используются десятки видов деревьев и сотни видов кустарников в самых причудливых сочетаниях, но в целом вырабатывается своеобразный тип искусственного «космополитического» ценоза.

Параллельно с созданием защитных полос, требующим немалых усилий, на железнодорожных насыпях и карьерах «сами собой» образуются ценозы еще одного, чрезвычайно специфического типа. Прежде всего специфичен сам субстрат железнодорожной насыпи, особенно на линиях с паровозной тягой. Еще более специфичен состав видов растений, поселяющихся на железнодорожных насыпях, ведь семена отдельных видов растений могут быть разнесены тем же транспортом на очень большие расстояния. Именно растения, процветающие на железнодорожных насыпях, надежнейшим образом «ис-

пытаны» регулярным воздействием таких факторов, как вихри, шумы и вибрации. Имеют ли значение для растений особенно два последних фактора (первый несомненно имеет)? Чтобы ответить на этот вопрос, можно сравнить спектры видов на заброшенной и действующей насыпях, затем можно изучить онтогенез и морфогенез растений одного и того же вида в различных условиях по отношению к упомянутым факторам.

Мы уже неоднократно в различных разделах обращали внимание на эффекты «дробления» популяций, ценозов, систем ценозов, региональных флор и фаун всевозможными искусственными преградами. Значение железнодорожного транспорта в этом смысле является, несомненно, главенствующим. «Межевание» в первую очередь растительного покрова, особенно в умеренном поясе северного полушария, следует осмыслить с широких эволюционных позиций, поскольку развитие отдельных регионов в дальнейшем может происходить весьма своеобразными путями; изоляция отдельных элементов неизвестных целостных систем может породить множество непредвиденных ситуаций, из которых, например, вспышка внутривидового разнообразия организмов представляется лишь одной из наиболее очевидных. По-видимому, в этой проблеме полезно выделять глобальный, зональный, региональный и локальный аспекты, а также несколько уровней биологической организации. Среди растений особый интерес представляет поведение самоопыляющихся и вегетативно размножающихся линий, среди животных — состояние популяций почвенных беспозвоночных.

В таежной зоне в связи с интересами лесоэксплуатации большое развитие имеет сеть узкоколейных железных дорог (УЖД). Эти дороги создаются не по столь жестким правилам, как дороги широкой колеи, поэтому для них довольно обычно, например, отсутствие водопропускных сооружений на мелких и пересыхающих водотоках, несоблюдение допустимых уклонов и т. д. Таким образом, их экологическое значение в большинстве случаев можно свести к гидрологическому влиянию на прилегающие биогеоценозы: перехватывая сток, УЖД способствуют, с одной стороны, образованию «вымочек» (пунктов массовой гибели древостоев в результате катастрофического подъема уровня грунтовых вод), а с другой — разрушению древостоев из-за систематического

дефицита почвенной влаги. Иными словами, сооружение УЖД во многих случаях аналогично сооружению плотины со всеми вытекающими отсюда последствиями. Совершенно очевидно, что этим обстоятельством полезно воспользоваться, например, для оценки предполагаемых экологических последствий гидротехнического строительства при подтоплении территорий и определении скоростей происходящих при этом сукцессий растительности. УЖД предоставляют разнообразные «действующие модели» сукцессий, надо лишь, используя полученные результаты, построить достаточно формализованные и универсальные схемы процессов для различных физико-географических и технологических условий.

Особый общебиологический интерес представляет исследование расселения (миграции) видов растений и животных вдоль железных дорог в условиях СССР, особенно в широтном направлении. Можно полагать, что именно вдоль Транссибирской магистрали европейские флористические элементы наиболее продвинулись к востоку, а азиатские — к западу... Выяснение всех этих вопросов важно для развития и эволюционной теории, и учения о биосфере, преобразуемой деятельностью человека.

Освоение колоссальных ресурсов Севера вообще в перспективе немыслимо без дальнейшего продвижения туда железнодорожных магистралей, а экологические аспекты приобретут при этом особую значимость.

---

#### 4. Автотранспорт

Прежде всего следует отметить, что все сказанное в предыдущем разделе можно целиком отнести и к проблеме автомобильного транспорта, только в последнем случае лишь неизмеримо большее значение приобретают всевозможные виды загрязнений атмосферы и почвенного слоя.

В мире по состоянию на 1983 г. насчитывалось 400—500 млн. автомобилей. За год они сжигают более 1 млрд. т кислорода, выбрасывают около 115 млн. т окиси углерода, более 1 млн. т окиси серы и десятки миллионов тонн несгоревших углеводородов и окислов азота. В. Н. Глухов (1971) приводит следующие данные: «Американские специалисты подсчитали, что из 129 млн. т

газов, выброшенных в атмосферу США в 1966 г., 78 млн. т приходилось на автомобили. Один легковой автомобиль за сутки образует от 0,5 до 1 кг выхлопных газов, в составе которых содержится до 3% угарного газа, 0,06% окиси азота, 0,5% углеводородов, 0,006% окиси серы, 0,004% альдегидов и пр. Среди углеводородов некоторые соединения (бензипрен, бензантрацен и др.) обладают канцерогенными свойствами. Алкилы свинца, добавляемые в бензин в качестве антидетонаторов, в конце концов также выделяются в атмосферу» (с. 31). Несколько позже было установлено, что загрязнение атмосферы автотранспортом является причиной примерно 25% заболеваний, регистрируемых ежегодно в крупных городах США.

О том, что происходит с природными экосистемами, прилегающими к автомагистралям, известно пока очень мало, но исследования этих вопросов повсеместно расширяются. Так, службой охраны естественной природы США получены данные о том, что по обочинам двух крупнейших шоссейных дорог на расстоянии до 50 м от полотна в почве содержатся огромные количества свинца, цинка, никеля и кадмия. Птицы, которые склевывали живущих здесь дождевых червей, погибали в результате отравления свинцом и цинком. Цинк образуется при сгорании машинного масла, кадмий — из шин, никель — из бензина и масла (Science News, 1974, v. 106, N 11, p. 166).

Интересные сведения об экологической обстановке в придорожных полосах приводят латвийские биологи Дз. Ж. Бериня и В. П. Мелецис (1982). В частности, ими установлено, что наивысшей способностью к накоплению тяжелых металлов отличаются лишайники, мхи и хвоя ели, которые могут быть использованы в качестве индикаторов.

А. П. Ильницкий, Г. А. Белицкий и Л. М. Шабад (1975) доказали, что в загрязнении среды канцерогенными полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) решающая роль в современных условиях вообще принадлежит не вулканической деятельности, как предполагалось раньше, а именно промышленности и автотранспорту...

Большое количество животных погибает на дорогах просто от столкновений с автотранспортом. Так, А. Н. Хохловым (1981) вычислено, что на автодорогах Став-

ронольского края каждое лето погибает около 1 млн. птиц, принадлежащих более чем к 20 видам. Из Финляндии сообщают, что жертвами автомобилей там ежегодно становится около 2 млн. птиц. В масштабах планеты эти жертвы исчисляются ежегодно уже сотнями миллионов. А сколько при этом гибнет мелких зверьков, лягушек, змей?! Справиться с подобными явлениями, по-видимому, почти невозможно, но учитывать их во всевозможных экологических «балансах» необходимо.

Чрезвычайно серьезное положение с использованием автотранспорта складывается в экстремальных условиях пустыни и тундры. Американский журнал «National Geographic» (1976, v. 150, N 1, p. 19, 57) привел впечатляющие данные о разрушении растительного покрова и экосистемы в целом пустыни Мохаве (штат Калифорния) в результате проводившегося там на протяжении восьми лет ежегодного массового мотокросса. Считается, что для восстановления естественных угодий в этом районе (на площади 3600 га) теперь потребуется несколько столетий. Известно, что след от вездехода в тундре сохраняется не менее 20 лет (только при однократном прохождении машины), а восстановление растительного покрова на сильно изъезженном участке требует также столетий, если этому не помешают эрозионные и термокарстовые явления. Вполне очевидно, что во всех этих случаях помимо планомерного и целесустримленного дорожного строительства необходимо законодательное регулирование движения автотранспорта «без дороги», от которого больше всего страдает почвенный покров. Зоологам следовало бы уделить более серьезное внимание исследованию этологических и физиологических реакций зверей и птиц на фактор «вспугивания» их транспортными средствами. Надо полагать, что особенно в гнездовой период они реагируют на этот фактор особенно темпераментно.

Растениеводы должны позаботиться о подборе таких видов растений, которые бы не только украшали дорожные обочины, но и поглощали побочную «продукцию» автотранспорта.

## 5. Транспорт нефти и газа

Нефтяные и газовые коммуникации становятся все более обычным элементом современного ландшафта, поэтому пришло время задуматься о том новом, что они вносят в экологическую обстановку. Нефте- и газопроводы имеются практически во всех зонах земного шара, но в каждой из них «ведут себя» по-разному. Особенно сложная ситуация складывается в тундровой зоне, где климатические условия наиболее суровы, а экосистемы особенно легко уязвимы.

Группа американских экспертов по охране природы провела тщательные исследования на тректе аляскинского нефтепровода, по которому нефть перекачивается с северного побережья к южным незамерзающим портам Аляски (Western Construction, 1975, v. 50, N 1, p. 7). На протяжении более 1000 км этот нефтепровод проходит по тундре.

Чисто инженерных проблем на таком нефтепроводе множество. Прежде всего в морозы нефть густеет и не течет, следовательно, для обеспечения ее текучести приходится применять подогрев. Установки для подогрева располагаются на вечномерзлом грунте, протаивание которого из-за возможной аварийной ситуации совершенно недопустимо. Трубопровод в плане имеет зигзагообразные очертания, компенсирующие его деформации при перепадах температур. Там, где трубы проложены в земле, для сохранения мерзлоты они подстилаются мощным теплоизолирующим балластом, но и при этом почву местами приходится специально охлаждать, пропуская через нее опять же по трубам соответствующий раствор. Там, где трубы укладываются на опоры, предусмотрена возможность свободного скольжения труб по опорам в продольном и поперечном направлениях, чтобы предотвратить их разрыв. Наконец, внутри каждой опоры предусмотрена система охлаждения, иначе сама опора превалится в мерзлоту. Все эти проблемы в той или иной форме актуальны и для газопроводов.

На всем этом сложном инженерном фоне требования экологии, может быть, и выглядят на первый взгляд наивными и необязательными, но тем не менее их нужно учитывать. Уже известно, например, что нефтегазопровод, пересекающий древний миграционный путь север-

ных оленей, останавливает их. Отпугивают животных и само сооружение, как механическое препятствие, и соответствующие шумы (в том числе и ультразвукового диапазона), и всевозможные запахи и вибрации. Кроме этого громадные скопления животных перед препятствием автоматически приводят не только к полному исчерпанию кормовых ресурсов на прилегающей территории, но и к разрушению почвенного слоя, за которым последует вспышка эрозионных и термокарстовых явлений, способных отразиться и на состоянии водоемов, и на самом нефтегазопроводе.

Пожары в тундре сопровождаются не менее тяжелыми последствиями, чем в тайге, поэтому всевозможные утечки нефти также приводят к бедствиям. Самостоятельная проблема, как уже говорилось, возникает при пересечении нефте- и газопроводами водных трактов. Поведение рыб при этом требует специального исследования. Аварийные утечки нефти в данных обстоятельствах совершенно недопустимы, поэтому никакие инженерные предосторожности здесь не могут быть чрезмерными.

---

## 6. Воздушный транспорт

Воздушный бассейн как материальный субстрат и природный ресурс представляет собой поистине общечеловеческое достояние, а его сохранность и чистота являются одновременно и важнейшим условием для процветания современной цивилизации. Предметом особого внимания и озабоченности человечества становится состояние стрatosферы, т. е. слоя в пределах от 15 до 60 км от поверхности Земли (слоя, который А. Х. Хргиан (1973) назвал «озонным щитом Земли»). В более низких слоях атмосферы основополагающее значение имеет содержание кислорода,  $\text{CO}_2$  и взвешенных твердых и жидких минеральных и органических частиц.

Озон — трехатомный кислород — содержится в атмосфере Земли в количестве около одной миллионной доли (Вольнов, 1977). В абсолютном выражении это составляет всего около 40 т. В те времена, когда количество кислорода в атмосфере Земли достигало 0,03% от современного, слой озона практически «лежал» на

поверхности земли (Хргиан, 1973). Сейчас слой озона достигает наибольшей плотности на высотах от 10 до 20 км, т. е. в зоне, давно освоенной воздушным транспортом. По сообщению английского эколога Ф. Ф. Дарлинга (1969), за один трансконтинентальный перелет реактивного самолета в атмосфере сгорает около 35 т кислорода, и в том числе немалая доля драгоценного озона. Смертоносная ультрафиолетовая солнечная радиация в слое между 40 и 15 км над земной поверхностью ослабляется озоновым экраном примерно в 6500 раз. Отсюда ясно, каким неоценимым благом для жизни является наличие в атмосфере озона.

Однако в настоящее время замечено, что весьма впечатительные количества озона образуются в приземном слое атмосферы (особенно крупных городов) в результате сложных химических превращений выхлопных газов автомобилей.

Озон, содержащийся в воздухе в количестве одной миллионной, раздражает слизистую органов дыхания, а в концентрации пяти миллионных становится уже безусловно ядовитым и опасным для жизни (Хргиан, 1973).

М. Т. Дмитриев (1972) поясняет, что высокая токсичность озона при повышенных концентрациях и его резко выраженные окислительные свойства приводят к биологическому действию, весьма сходному с действием ионизирующего излучения.

Таким образом, в целом воздушный транспорт способствует истощению запасов озона там, где он совершенно необходим, а наземный транспорт создает его повышенные концентрации там, где он не нужен и даже вреден. Факторов, способствующих истощению защитного слоя озона, множество. Озон, образующийся в приземном слое атмосферы, совершенно не компенсирует его общих потерь, поскольку немедленно вступает во всевозможные реакции.

Суточное потребление воздуха для взрослого человека в среднем составляет около 25 кг (Дмитриев, 1972). Потребление воздуха промышленностью и транспортом достигает астрономических величин. В этой связи совершенно особая ситуация складывается в атмосфере умеренного пояса северного полушария. Только теперь становится все более очевидным, что воздушный естественный обмен между северным и южным полушариями чрезвычайно замедлен (Science News, v. 98, 170, N 23,

р. 436). Отсюда ясно, что из-за огромной концентрации не столько населения, сколько промышленности и транспорта именно в умеренном поясе северного полушария вырабатывается совершенно новая экологическая обстановка, все более отличающаяся от условий смежных географических поясов.

Мерой чистоты атмосферы может служить такой физический показатель, как электрическая проводимость воздуха: чем выше проводимость, тем ниже загрязненность атмосферы, особенно сульфатами и аэрозолями. Установлено, что электрическая проводимость атмосферы над Северной Атлантикой за несколько предшествующих лет снизилась на 20%, а в районе 35° с. ш. проводимость оказалась на 40% ниже, чем на той же широте в южном полушарии, и это различие можно целиком отнести к влиянию техногенных факторов. По отношению к этому фактору условия северного умеренного и тропического поясов начинают сближаться, тем более что в широкой тропической области Земли, примерно между 35° с. ш. и 35° ю. ш., у слоя озона сравнительно малая мощность (Хриган, 1973; Куликов, Сидоренков, 1977).

Громадное медико-биологическое значение имеет шум реактивных двигателей самолетов, поскольку, достигая уровня 130 дБ, он наиболее близок к порогу болевого ощущения для человека (140 дБ). Все более ощутимыми становятся и чисто земельные потери, связанные со строительством аэродромов. И в этом случае не обойтись без экологических знаний, поскольку расположение аэродрома, например, вблизи от миграционного тракта птиц сулит определенные осложнения и для птиц, и для безопасности полетов.

В сельском хозяйстве авиация в настоящее время выполняет более 100 различных технологических операций. Применение авиации для борьбы с сорняками и вредителями полей, для внесения удобрений в почву, для посева лесных культур, для распыления гербицидов при уходе за территориями спецназначения (ЛЭП и пр.) является чисто экологическим мероприятием и основывается на экологических принципах, а следовательно, требует теоретического обеспечения. Возможности малой авиации применительно к запросам природопользования и охраны природы действительно безграничны. Здесь выявляются все новые и новые заманчивые перспективы — от направленного регулирования отдельных

метеорологических факторов и до инвентаризации все большего спектра видов растений и животных непосредственно путем аэровизуальных наблюдений.

Развитие ракетного космического транспорта ставит перед экологией ряд принципиально новых проблем. Тысячи спутников, отделяемые ступени ракет, контейнеры с отходами, входя в атмосферу, сгорают, нарушая целостность ионосфера «снаружи». Пока еще все это «булавочные уколы», но их суммарный геофизический эффект неуклонно возрастает. Перед экологией и смежными дисциплинами стоит задача разработать глобальную систему естественных биологических тест-объектов, способных реагировать на изменения в состоянии ионосферы Земли, особенно в северном полушарии. Нет сомнения, что при целеустремленном поиске такие тест-объекты могут быть найдены.

Решительный прогресс в наших представлениях об экологическом значении современных видов транспорта может быть достигнут путем «снятия» результатов экспериментов, поставленных самой жизнью и зафиксированных в истории развития транспорта. Другой путь лежит в обобщении необъятного количества разрозненных фактов из палеоэкологии, биогеографии, демографии, медицины, истории земледелия, животноводства, промышленности и культуры, показывающих роль транспортных коммуникаций в формировании современной экологической обстановки в отдельных странах, на отдельных континентах и в биосфере в целом. Надо полагать, что не города и промышленность (как это принято думать), а именно транспорт в первую очередь придает всей человеческой деятельности действительно глобальный характер. В. И. Вернадский придавал немалое значение «всюдности» органической жизни. Развитие транспорта сообщает «всюдность» проявлениям человеческого влияния на органическую жизнь и на косную среду.

«Ошибкой века» называет проф. О. А. Чембровский отказ человечества от развития дирижаблестроения (Советская Россия, 1983, № 44). Такими же ошибками можно считать пренебрежение парусным флотом и сельским гужевым транспортом. К счастью, ошибки подобного рода вполне исправимы в рамках научно-технической революции, на уровне новых материальных и духовных возможностей.



## Глава VI

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГОРОДА

Первые города появились в эпоху перехода от первобытнообщинного к рабовладельческому строю, т. е. в III—I тыс. до н. э., в Месопотамии, Египте, Сирии, Малой Азии, Индии, Китае. По археологическим данным, города с населением 20—30 тыс. человек по тем временам следуют считать очень большими (Маттие, 1977), и, разумеется, условия жизни в них не имели почти ничего общего с современными. Преимущества и недостатки городской жизни известны каждому, но их восприятие, как правило, предельно субъективно. Между тем начиная примерно с 1960 г. уже более 50% всего населения Земли проживает именно в городах, тогда как еще в 1800 г. доля городского населения в мире составляла всего 4,7% (Пивоваров, 1972). В табл. 6 приведены темпы роста городского населения на территории СССР (СССР в цифрах в 1982 году, 1983).

Таблица 6

Рост городского населения СССР

Годы	Численность населения, млн. человек	В том числе городского	
		млн. человек	в % ко всему населению
1940	194,1	63,1	32,5
1959	208,8	100,0	47,9
1966	232,2	123,7	53,3
1970	241,7	136,0	56,3
1971	243,9	138,8	56,9
1975	253,3	151,9	60,0
1976	255,6	155,1	60,7
1977	257,9	157,9	61,2

*Продолжение*

Годы	Численность населения, млн. человек	В том числе городского	
		млн. человек	в % ко всему населению
1978	260,1	160,6	61,7
1979	262,4	163,6	62,3
1980	264,5	166,2	62,8
1981	266,6	168,9	63,4
1982	268,8	171,7	63,9
1983	271,2	174,6	64,4

В современных условиях города с населением более 100 тыс. человек считаются большими. По данным К. Виттхайзера (*Wissenschaft und Fortschrift*, 1974, B. 24, N 8, S. 359—362), число больших городов и их плотность в 1970 г. на земном шаре распределялись следующим образом (табл. 7).

**Таблица 7**  
**Число и плотность больших городов на земном шаре**

Часть света	Территория, тыс. кв. км	Общее число больших городов	Плотность больших городов на 100 тыс. кв. км
Европа (кроме СССР)	4936	396	8,0
Азия (кроме СССР)	27 532	626	2,3
Северная Америка	21 515	265	1,2
Средняя и Южная Америка	20 566	227	1,1
Советский Союз	22 402	224	1,0
Африка	30 319	119	0,4
Австралия и Океания	8 511	15	0,2
Итого...	135 781	1 872	1,4

*Примечание.* По состоянию на 1979 г. число больших городов в СССР достигло 272, в 1980 г. их стало 276.

Более 10% всех больших городов являются городами-миллионерами. На начало 1979 г. первое место в мире по численности населения занимал Нью-Йорк — 16,2 млн. человек. Далее шли Мехико — 11,9 млн. человек, Токио — 11,6 млн., Шанхай — 10,8 млн., Париж — 9,8 млн. человек. По прогнозу специалистов из Международной организации труда к 2000 г. в Мехико будет проживать 32 млн. человек, в Токио — 30 млн., в Сан-Паулу (Бразилия) — 26 млн., в Каире — 15 млн. и в Джакарте — 12 млн. человек.

Неудержимый рост числа городов и численности населения в них является объективной тенденцией современности. На всем этом фоне весьма полезно резюмировать крайне немногочисленные эмпирические данные о метеорологических, физических, физико-химических и биологических факторах городской среды, что и является предметом настоящей главы. Каждый город по множеству параметров совершенно уникален, особенно в динамике, но ряд проблем актуален для всех городов. Экологические проблемы городов в капиталистическом мире подробно рассматриваются в книге А. К. Быстровой (1980). Экологическим проблемам социалистического города посвящен специальный сборник статей «Город, природа, человек» (1982), среди статей хотелось бы отметить содержательную статью С. Стариковича (1982).

---

## 1. Физические факторы городской среды

Наблюдения, организованные Центральной высотной гидрометеорологической обсерваторией в 20 различных точках Москвы, показали, что температура воздуха в центре города в среднем на 2—4° выше, чем на окраинах. Скорость ветра в центре оказалась на 30—40% ниже, чем на окраинах. В крупнейших городах Западной Европы и Америки разница в температуре воздуха между центром и окраинами может достигать 4—6 и даже 8°. Съемка земной поверхности со спутников Земли в инфракрасных лучах (термокартографирование) показывает, что влияние повышенной температуры городских территорий распространяется на прилегающие районы, т. е. вырисовываются своего рода шлейфы. В. И. Дианов-Клоков (1981) приводит

данные, что при радиусе Москвы, равном примерно 17 км, средний радиус зоны влияния городских выбросов тепла и окиси углерода достигает 50—60 км.

Теплый воздух над городом образует купол — «тепловую шапку», в которой содержание атмосферных загрязнителей особенно велико. Имеются данные, что «тепловая шапка» Москвы образуется на высоте от 100 до 300 м и рассеивается лишь при скоростях ветра более 7—9 м/сек. Восходящие потоки воздуха над крупными городами в целом способствуют его самоочищению от промышленных и транспортных загрязнений. В небольших городах выбросы, напротив, стелются над землей. Ю. Одум (1975) приводит следующие усредненные данные: «В средних широтах температура воздуха в городах на 1—2°С выше, а влажность на 6% ниже, чем в окружающей сельской местности. Так как в городе содержание пыли в воздухе на 10% выше, то частота туманов также выше на 30—100% (наибольшая разница зимой), осадков больше на 10%, солнечная инсоляция ниже на 15%, а ультрафиолетовая радиация — на 5—30%» (с. 536). Надо полагать, что во взаимодействии микроклиматических факторов города с окружающими метеоусловиями соблюдаются принципы и географической зональности, и высотной поясности.

М. Т. Дмитриев (1971, 1972) описал механизмы образования смога, т. е. тяжелого и темного тумана, появляющегося над городами при определенных метеоусловиях в результате загрязнения воздуха промышленными и транспортными отходами. Смог «лондонского типа» наблюдается в осенне-зимнее время и содержит в себе преимущественно сернистый газ (в концентрации 5—10 мг/м<sup>3</sup> и более), образующийся главным образом при сгорании угля и нефти. Смог «лос-анджелесского типа» наблюдается, как правило, в теплое время года, имеет повышенную концентрацию озона (до 2—3 мг/м<sup>3</sup> при норме 0,01—0,06 мг/м<sup>3</sup>), образуется в результате фотохимических реакций (т. е. реакций, протекающих под действием солнечного излучения), основной «материал» для которых (окись азота) получается из выхлопных газов автомобилей. В составе смога Лос-Анджелеса обнаружено около 600 специфических соединений (Глухов, 1971). По сообщениям газет, муниципальные власти Лос-Анджелеса вынуждены в среднем 150 раз в году объявлять из-за смога состояние «повышенной опасности».

В небольших промышленных городах чаще всего образуется смог смешанного типа либо смоги разных типов чередуются во времени. Нижнего порога для образования смогов, вероятнее всего, не существует, т. е. и в самой идиллической деревне при определенных условиях может образоваться нечто подобное смогу и отрицательно влиять на здоровье людей, на растения и животных.

Проблемы «акустического неблагополучия» в современном городе обсуждаются в статье И. Л. Карагодиной и С. А. Солдаткиной (1975).

К слышимым звукам относятся звуковые волны с частотами от 16 до 20 тыс. Гц. Звуковые волны с частотами менее 16 Гц принадлежат к инфразвуковому диапазону, а волны с частотами более 20 тыс. Гц — к ультразвуковому. Характерной особенностью шумов является то, что «частоты содержащихся в них простых синусоидальных волн образуют непрерывный ряд значений, целиком заполняющих некоторый интервал» (Яворский, Детлаф, 1979). На практике обычно оценивается уровень шума, выражаемый в децибелах (дБ). Отсчеты берутся по шкалам шумомера. Шкала «А» соответствует особенностям восприятия шума ухом человека, а ее показания выражаются в «децибелях по шкале А» (дБА). По действующим санитарным нормам допустимыми считаются следующие уровни шума: для жилых комнат днем — 40 дБА, ночью — 30 дБА; для территории жилой застройки днем — 55 дБА и ночью — 45 дБА. В некоторых условиях к этим величинам принимаются поправки размером от —5 до +15 дБА в зависимости от характера и продолжительности шума. Характеристики некоторых источников шума показаны в табл. 8 (по Карагодиной и Солдаткиной, 1975).

Пользуясь этой таблицей, нетрудно установить приблизительные характеристики множества других источников шума. За порогом болевого ощущения нормальное восприятие звука уже невозможно. Транспортный шум составляет не менее 60—80% от общего шумового фона города, в течение дня на магистральных улицах достигая уровня 80—90 дБА, а за счет грузового транспорта — даже 105 дБА. Шкалы шумомеров логарифмические, а порог слышимости при строгом подходе — величина больше нуля, поэтому шумы с уровнем 10, 20 и 100 дБ превышают порог слышимости соответственно в 10, 100

Таблица 8

## Характеристики источников шума на расстоянии 7,5 м

Источник шума	Уровень шума, дБ
Порог слышимости	0
Шелест листвы	10
Тиканье часов	20
Шепот	30
Тихая квартира днем	40
Шум струи из крана	50
Шум шагов прохожих, обыкновенная речь	60
Громкая речь	70
Шум на оживленной магистрали	80
Трамвай, разгрузка товаров и погрузка тары у магазинов	85
Спортивные игры, шум мотоцикла	90
Шум в ткацком цехе, дизельные автомобили, железнодорожный транспорт	100
Котельный цех	110
Клепальный цех	120
Шум двигателя самолета, звук сирены воздушной тревоги	130
Порог болевого ощущения	140

и  $10^{10}$  раз (Одум, 1975). При этом звуки высокой частоты субъективно воспринимаются как более сильные по сравнению с такими же мощными, но низкочастотными звуками. Вообще система оценки и контроля шумовых загрязнений городской среды требует дальнейшего усовершенствования. Например, резкий внезапный и объективно даже совсем несильный звук способен нанести психике человека более серьезный вред, чем привычный шум проходящего поезда. Насущной задачей становится создание своего рода «накопителей» шумовых характеристик среды, способных отражать одновременно все разнообразие физиологических и профессиональных особенностей людей, реагирующих на раздражающее действие шума.

Для построения шумовой карты Монреаля были произведены замеры уровня шума в разное время суток в 9 тыс. точек города. Аналогичные сведения необходимы и для всех других городов, известных своим «акустическим дискомфортом». В этой связи немалый интерес представляют поиски биологических тест-объектов, достаточно однозначно реагирующих именно на шумовую обстановку, но первенство должно принадлежать простейшему массовому прибору типа градусника, имеющегося в каждой семье.

И все-таки слух человека гораздо чувствительнее любого физического прибора, следовательно, именно человек в условиях города и может быть наиболее массовым и чувствительным «датчиком» акустической обстановки. Шумовая карта города, таким образом, может быть построена не по 9 тыс., а по сотням тысяч точек, причем в динамике и непосредственно в психологическом (нейрофизиологическом) преломлении.

---

## 2. Химические факторы городской среды

Для воздушной среды города разработано в настоящее время более 160 ПДК (пределно допустимых концентраций) различных веществ, для воды — более 400 ПДК, и каждый год появляются новые.

Состав природного воздуха и пороги биологического действия его отдельных компонентов показаны в табл. 9.

Как уже упоминалось, в смоге Лос-Анджелеса обнаружено около 600 соединений. В США, в штате Калифорния, еще в 1955 г. введена в действие система воздушных тревог при фотохимическом смоге. Тревога 1-й степени (предостерегающая) объявляется при концентрации окиси углерода в атмосфере до  $100 \text{ мг}/\text{м}^3$ , окиси азота —  $6 \text{ мг}/\text{м}^3$ , фотооксидантов (окислителей — озонидов, органических перекисей, альдегидов, кетонов, кислот, спиртов, фенолов, эпоксидов и пр.) —  $1 \text{ мг}/\text{м}^3$ . Воздушная тревога 2-й степени (настораживающая) объявляется при концентрации окиси углерода до  $200 \text{ мг}/\text{м}^3$ , окиси азота —  $10 \text{ мг}/\text{м}^3$  и фотооксидантов —  $2,0 \text{ мг}/\text{м}^3$ . Наконец, тревога 3-й степени (аварийная) соответствует концентрации окиси углерода  $300 \text{ мг}/\text{м}^3$ , окиси азота —  $20 \text{ мг}/\text{м}^3$  и фо-

Таблица 9

**Состав природного воздуха и пороги биологического действия его компонентов (по М. Т. Дмитриеву, 1972)**

Компонент	Концентрация	Порог действия
Азот	78,09 %	9 атм.
Кислород	20,95 %	80%
Аргон	0,93 %	75%
Неон	16,2 мг/м <sup>3</sup>	4 атм.
Криптон	1,1 мг/м <sup>3</sup>	70%
Гелий	0,92 мг/м <sup>3</sup>	6 атм.
Ксенон	0,51 мг/м <sup>3</sup>	50%
Углекислый газ	0,02—0,04 %	2%
Окись углерода	0,2 мг/м <sup>3</sup>	200 мг/м <sup>3</sup>
Водород	30—100 мкг/м <sup>3</sup>	5 атм.
Водяной пар	0,02—50 мг/м <sup>3</sup>	—
Метан	0,8—1,5 мг/м <sup>3</sup>	300 г/м <sup>3</sup>
Закись азота	2,0 мг/м <sup>3</sup>	10 г/м <sup>3</sup>
Сернистый газ (вместе с серной кислотой)	60 мкг/м <sup>3</sup>	3 мг/м <sup>3</sup>
Сероводород	20 мкг/м <sup>3</sup>	0,8 мг/м <sup>3</sup>
Аммиак	30—40 мкг/м <sup>3</sup>	15 мг/м <sup>3</sup>
Формальдегид	20 мкг/м <sup>3</sup>	0,2 мг/м <sup>3</sup>
Хлор	8 мкг/м <sup>3</sup>	2 мг/м <sup>3</sup>
Иод	1 мкг/м <sup>3</sup>	0,6 мг/м <sup>3</sup>
Окислы азота (кроме закиси)	30 мкг/м <sup>3</sup>	0,2 мг/м <sup>3</sup>

тооксидантов — 3,0 мг/м<sup>3</sup>. Резюмируя эти данные, М. Т. Дмитриев (1971) замечает: «Дышать таким воздухом примерно так же вредно, как и воздухом, в котором содержится 11% выхлопного газа автомобиля» (с. 35).

Выше уже отмечалось, что в городах выпадает в среднем на 10% больше осадков, чем в сельской местности. Дождевая вода в городах, попадая сначала на бетонированные и асфальтированные водонепроницаемые по-

верхности, стекает в канализационную сеть и затем сбрасывается в ближайшие реки. В США к 1978 г. общая протяженность канализационных систем для отвода дождевых и сточных вод достигала уже свыше 300 тыс. км, полностью перестраивая «водную» географию страны. Стоки с городских территорий благодаря асфальтовому покрытию, увеличению выпуска и усложнению состава химических веществ, используемых в быту, загрязнены сложными продуктами взаимодействия этих веществ. Особенно сложные проблемы связаны с загрязнением стоков детергентами (синтетическими моющими средствами): содержащийся в них фосфор вызывает бурную эвтрофикацию водоемов, а при замене его нитрилтриуксусной кислотой (НТА) она образует с ионами тяжелых металлов растворимые комплексные соединения, затрудняющие очистку стоков. Объем промышленных и коммунальных стоков в современном мире достигает 700 км<sup>3</sup>, а к 2015 г. ожидается его увеличение до 2000 км<sup>3</sup>. Для разбавления этого объема будет требоваться ежегодно более 20 тыс. км<sup>3</sup> свежей воды, что вдвое превышает возобновляемые ресурсы пресных вод «обжитой» части планеты.

Особую проблему представляет огромная концентрация в городах твердых бытовых отходов (мусора), не имеющих естественных разрушающих биологических и химических агентов, какие есть, например, у древесины и многих металлов. По сообщению В. В. Дежкина и Т. И. Фетисова (1977), городу с миллионным населением для захоронения мусора ежегодно требуется около 40 га дополнительной территории. В местах старой застройки древних городов антропогенные наносы лежат сплошным покровом весьма значительной мощности. Скопления стекла, резины, пластмасс, капрона, полиэтилена, хлорвинила, фенопласта, битого кирпича, бетона и асфальта представляют собой по существу принципиально новую горную породу антропогенного или, точнее, техногенного происхождения. Имеются сообщения (Патрунов, 1978) о том, что на некоторых участках морских побережий, например вблизи городов Окленда и Веллингтона (США), на 1 м<sup>2</sup> пляжа скапливается до 10—40 тыс. пластмассовых песчинок, т. е. шариков и дисков, состоящих из полиэтилена, полипропилена, полистирена и поливиниловых хлоридов, достигающих в диаметре 5—6 мм и более. Благодаря своим упругим свойствам все эти частицы

очень устойчивы к процессам механического разрушения.

Использовать бытовые отходы как вторичное сырье чрезвычайно выгодно. В Кишеневе, Ташкенте, Кемерове действуют предприятия по вторичной переработке полиэтилена: из отслуживших свой срок изделий из полимеров производятся трубы, химическая тара, защитные пленки... Инженерам стоило бы подумать и о «бытовой» — можно не бояться этого слова — «кустарной» технологии переработки синтетических отходов. Ведь ни один рачительный «домашний мастер» не выбросит без долгих колебаний и сожалений обрезка доски или куска фанеры. Но полиэтиленовый мешок, на изготовление которого пошел, может быть, не один кубометр древесины и внушительный объем чистой воды, попадает в мусор. Мы нередко увлекаемся централизацией и специализацией, но в силу множественности бытовых источников загрязнения городской среды иногда, вероятно, имеет смысл поискать решения на противоположных направлениях...

Возвращаясь к основному предмету раздела, приходится признать, что химические факторы жизнедеятельности человека, растений и животных в городских поселениях изучены пока еще недостаточно (Детри, 1973). Очень многое зависит от направления и уровня развития местной промышленности, т. е. аспекта, в условиях частного предпринимательства почти неуправляемого со стороны органов, заинтересованных в благополучии химической обстановки в городе и его окрестностях. Время от времени мир потрясают сообщения о случаях массового отравления людей в городах химическими отходами того или иного производства, как это особенно часто в последние десятилетия происходит в Японии. В СССР с 1 января 1979 г. введен в действие государственный стандарт № 17. 2. 3. 01-77 — «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля показателей качества воздуха населенных пунктов». При постоянном внимании общественности этот стандарт, как и многие другие, окажет эффективное влияние на оздоровление городской санитарной обстановки.

### 3. Растительный покров городов

Озеленение городов является одним из обязательных элементов искусства градостроительства. Однако из остатков «аборигенной» растительности и элементов окружающей «дикой» флоры в сочетании с привнесенными сорными и культурными видами в каждом городе формируется совершенно своеобразный растительный покров, как бы без участия человека. Специфические условия города предъявляют подчас весьма суровые требования не только к людям, но и к растениям. Городская флора в определенном смысле характеризует собой совсем недалекое будущее значительной части земной поверхности, поэтому исследование закономерностей ее формирования, структуры и жизнедеятельности представляет большой теоретический и прикладной интерес.

Растения, связанные с деятельностью человека, но не разводимые специально, называют сорняками. Иногда, отдавая должное их верности человеку, их называют спутниками человека. О спутниках человека из мира животных написано и соответственно известно поразительно много, если сравнить с данными о растениях. Разумеется, о сельскохозяйственных сорняках (посевных или сегетальных сорняках) известно также немало. Что касается растений, произрастающих действительно рядом с человеком и не на газонах, то на них просто никто не обращает внимания. А напрасно!

Что же это за растения? Лопухи (виды рода *Arctium*), полыни (*Artemisia vulgaris*, *A. absinthium*), крапива (*Urtica dioica*), чертополох (*Carduus crispus*, *C. acanthoides*), бодяк (*Cirsium vulgare*, *C. arvense*), дурнишник (виды рода *Xanthium*), белена (*Hyoscyamus niger*), болиголов (*Conium maculatum*). Все это мусорные (рудеральные), или пустырные, растения.

Вдоль дорог поселяются спорыш, или горец птичий (*Polygonum aviculare*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina*), подорожники (*Plantago major*, *P. media*), одуванчики (*Taraxacum officinale*). Их так и называют — «придорожные растения». Они же процветают и на пустырях.

Растения сорных видов отличаются многими замечательными особенностями. Прежде всего они исключительно плодовиты: белая марь (*Chenopodium album*), называемая чаще лебедой, дает до 100 тыс. семян с одного растения, пастушья сумка (*Capsella bursa-pastoris*) — до 73 тыс., подорожник — до 60 тыс., бодяк полевой — более 35 тыс., одуванчик — более 3 тыс. семян. Семена имеют разнообразные приспособления для переноса, жизнеспособны и долговечны. У подорожника, например, семена липкие, благодаря чему подорожник большой (*R. major*) распространился из Европы по всему земному шару. Крапива двудомная в Америку и Австралию попала также из Европы. Растения многих сорных городских видов превосходно размножаются и вегетативно. Стeliющиеся (спорыш и лапчатка гусиная) и розеточные (подорожник, одуванчик) растения хорошо противостоят вытаптыванию, крапива отлично защищена именно от человека... Растения всех этих видов агрессивны при заселении свежих субстратов, всем им свойственна тенденция к образованию чистых (одновидовых) группировок. Надо полагать, что, несмотря на известную избирательность по отношению к свойствам субстрата, все эти виды хорошо адаптированы к неблагоприятным физико-химическим факторам городской среды, упомянутым в предыдущих разделах.

Среди городских сорных видов почти нет растений, опасных и вредных для человека, зато абсолютно все они полезны.

Некоторые виды сорных городских растений успешно возделываются как лекарственные или технические культуры (белена черная, подорожник большой, пустырник пятилопастной, ромашка аптечная и др.).

Трудно даже представить, каким бы выглядел мир в глазах горожанина и каким было бы его самочувствие, если бы зеленый наряд рядового промышленного города ограничивался несколькими скверами, газонами и клумбами. Никто не считал, сколько выделяют кислорода и фитонцидов непрятательные обитатели городских пустырей, сколько углекислоты они поглощают из городской атмосферы, какой объем пыли они обезвреживают (обездвиживают) и какой объем загаженного стока они перехватывают и фильтруют. Выяснение всех этих вопросов является благодарной задачей городского эколога. Надо полагать, что не «бедными родственниками», а

могущественными союзниками человека окажутся рассматриваемые растения. Уместно заметить, что многие из 500 тыс. видов «дикой флоры» Земли не только обладают замечательными санитарно-гигиеническими свойствами, но и способны при культурном возделывании весьма украсть городской быт будущего.

Газоны засеваются смесью трав (многолетних злаков). Наилучшими для средней полосы газонными травами являются мятылик луговой (*Poa pratensis*), полевица белая (*Agrostis stolonifera*), гребеник обыкновенный (*Cynosurus cristatus*), райграс пастбищный (плевел многолетний) — *Lobium regennse*, райграс многоукосный (плевел многоцветковый) — *L. multiflorum*, овсяница красная (*Festuca rubra*). Из бобовых в состав смесей рекомендуется клевер белый (*Trifolium alba*).

Польские инженеры предложили удачную с экологической точки зрения идею: покрывать площадки стоянок автомобилей вырезными (ажурными) бетонными плитами, в отверстиях которых можно высевать травы... Вполне ясно, какие огромные выгоды сулит внедрение этого предложения, и не только в строительстве автомобильных стоянок, какие живописные композиции при этом можно создавать и т. д. Вот здесь-то как раз и можно вспомнить о некоторых замечательных особенностях сорных трав, например спорыша или лапчатки гусиной.

Значение древесно-кустарниковой растительности в городе известно и общепризнано. Древесно-кустарниковая флора СССР насчитывает 2883 вида дикорастущих растений и около 2000 видов, интродуцированных из других стран (Соколов, Связева, 1965); большинство из них в той или иной форме либо сохраняется в наследие, либо культивируется при строительстве городов. К сожалению, очень многие виды дендрофлоры, превосходные по своим защитным и эстетическим (декоративным) свойствам, совершенно не переносят соседства человека. «Приручение» некоторых из них, как правило, свидетельствует об успехе в деле оздоровления городской среды.

По своим биологическим, морфолого-анатомическим и физиологическим свойствам наиболее устойчивыми к воздействию пыли, дыма и газа считаются деревья и кустарники следующих видов: барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris*), вяз перистоветвистый (*Ulmus pinnato-ramosa*), дерен белый (*Cornus alba*), ель колючая (*Picea pungens*), ель Энгельманна (*P. Engelmanni*), жи-

молодость обыкновенная (*Lonicera xylosteum*), ирга канадская (*Amelanchier canadensis*), калина гордовина обыкновенная (*Viburnum lantana*), кизильник блестящий (*Cotoneaster lucida*), клен полевой (*Acer campestre*), лиственница даурская (*Larix dahurica*), лох серебристый (*Elaeagnus argentea*), облепиха крушиновая или обыкновенная (*Hippophae rhamnoides*), пузыреплодник калинолистный (*Physocarpus opulifolia*), роза иглистая (*Rosa acicularis*), смородина золотистая (*Ribes aureum*), смородина альпийская (*Ribes alpinum*), спирея средняя (*Spiraea media*), снежноягодник белый или кистистый (*Symporicarpus racemosus*), тополь бальзамический (*Populus balsamifera*), тополь канадский или дельтовидный (*P. deltoides*), черемуха пенсильванская (*Padus pensylvanica*), яблоня сибирская или Палласова (*Malus Pallasiana*), яблоня сливолистная (*M. prunifolia*). Как показали исследования армянских биологов (Агаджанян, Камалян, 1981), некоторые из перечисленных видов обладают существенным бактерицидным действием.

В этом списке много видов растений, интродуцированных из Северной Америки. Советскими селекционерами А. С. Яблоковым, А. В. Альбенским, П. Л. Богдановым выведены превосходные сорта пирамидальных черных и белых (серебристых) тополей, в свою очередь весьма популярные и за рубежом.

Города растут ввысь, и все более дефицитным становится внутригородское пространство. В связи с этим особое значение приобретает техника «вертикального» озеленения территорий.

По предложению Ю. П. Бялловича (1936) раздел геоботаники (фитоценологии), посвященный искусственным фитоценозам, именуется культурфитоценологией. Зародилась новая актуальнейшая отрасль культурфитоценологии -- промышленная ботаника (Тарчевский, 1969; Штина, Шилова, Неганова, 1971), которая в настоящее время рассматривается как составная часть «индустриальной биогеоценологии» (Лавренко, 1971; Колесников, Моторина, 1975; Колесников, 1976) или «индустриальной экологии» (Кулагин, 1974). Это должно обеспечить комплексный подход к проблемам создания оптимальных условий жизни в урбанизированных ландшафтах одновременно с инженерных (технологических), биологических и экономических позиций.

## 4. Животный мир города

Сколько домашних животных в городе? В Филадельфии (США), например, с населением 2,0 млн. человек, раскинувшейся на территории 330 км<sup>2</sup>, насчитывается около 0,25 млн. домашних животных, преимущественно собак и кошек. Таким образом, в среднем на 8 человек приходится одно животное. А сколько в городах диких животных: крыс, мышей, голубей и др.? Этого никто не знает.

В английском журнале появилось краткое научное сообщение: «Чайки захватывают город» (New Scieintist, 1978, V 79, N 1116, p. 456—458). С 1945 г. популяция серебристой чайки (*Larus argentatus*) на Британских островах ежегодно увеличивалась на 13%, что вчетверо превышает темпы роста численности особей любого другого вида птиц, гнездящихся в Англии. В 1976 г. здесь насчитывалось уже около 750 тыс. пар серебристой чайки. Они еще с 1940 г. начали все чаще селиться на крышах домов. Общая численность чаек на Британских островах удваивается каждые 6 лет, а в городах для этого требуется лишь 5 лет. В помете чаек обнаружены бактерии *Salmonella*, вызывающие острое отравление у человека (сальмонеллез) при случайном попадании их в пищу. Аналогичное обвинение предъявляется голубям. А вот что пишет известный немецкий зоолог К. Фриш о клопах: «... вкус клопов отнюдь не ограничен людьми: они нападают на кошек и собак, мышей и крыс, летучих мышей и кроликов. Они питаются кровью скворцов, воробьев и ласточек; для кур и голубей клопы — часто настоящее бедствие. И немногие знают, что курятники, крольчатники и покинутые гнезда ласточек — места, откуда клопы могут попадать в дом. Однажды было даже замечено, как клопы, словно канатоходцы, ползли к дому по телефонным проводам» (1968, с. 145).

Прокомментировать эти и множество других аналогичных сообщений эколог может только следующим образом: в городах создаются новые и разнообразные экологические ниши, которые по законам природы не могут пустовать («природа не терпит пустоты»); соответственно в городах под воздействием специфических факторов отбора формируются новые, все более устойчивые пищевые цепи; эволюция особенно паразитических

видов протекает в ускоренном темпе, по-видимому не имеющем аналогов в дикой природе; технико-экономический и демографический прогресс «пробудил» в природе новые силы, обуздать которые не менее трудно, чем силы молний, вулканов и землетрясений.

Содержательный анализ структуры, поведения и динамики птичьего населения большого города (на примере Москвы) проделан К. Н. Благосклоновым (1975, 1981).

К. Н. Благосклонов отмечает, что появляются городские расы птиц, у которых по сравнению с их исходными формами меняются и питание, и гнездостроительные инстинкты, и все поведение: перелетные птицы становятся оседлыми, устраивают свои гнезда в самых неожиданных местах, из самых разнообразных материалов (исходя из возможностей местной промышленности); хищники становятся санитарами (мусорщиками), санитары — хищниками и т. д. Сейчас в орнитофауне Москвы насчитывается 177 видов птиц, в том числе встречаются и такие редкие для города, как дубонос, чечевица, иволга, соловей, жаворонок, сова, сорока, майна, кольчатая горлица... «Фауна городов, и Москвы в том числе, развивается и изменяется стихийно, мы не в состоянии даже фиксировать все происходящие изменения» — так заканчивает К. Н. Благосклонов свой обзор (1975, с. 46).

Аналогичные выводы могут быть сделаны в отношении мышевидных грызунов и беспозвоночных, но их расселение в городах практически еще вообще не изучено, если иметь в виду поведение именно популяций животных, а не отдельных индивидуумов. Действительно, в общизвестных увлекательных книгах И. И. Акимушкина, М. А. Козлова, Конрада З. Лоренца, Жана-Анри Фабра, Карла Фриша, И. А. Халифмана и Реми Шовена речь идет о биологических особенностях животных на организменном уровне. Поведение этих же «зверей» в жилых помещениях никто не изучал современными средствами. Популяционная биология сопутствующих человеку животных еще только ждет своих Бремов и Фабров...

Ни один таракан и ни одна крыса не живут сами по себе. Тысячами нитей они связаны в первую очередь с особями собственного вида, кроме того, со своими собственными паразитами, хищниками, симбионтами и жертвами. Плотность и пространственная структура популяций, сезонная и многолетняя динамика численности популяций, их половая и возрастная структура, мигра-

ционное поведение, облигатные отношения с популяциями других видов, положение в пищевых цепях и, шире, биогеоценологические функции популяций вида на пестром городском экологическом фоне — все эти особенности «спутников человека» требуют самостоятельного и целеустремленного исследования. Экологи-популяционисты, например, хорошо знают, что при некотором определенном соотношении полов популяция того или иного вида становится совершенно нежизнеспособной. Следовательно, в поисках средств борьбы, например, с вредными насекомыми нужно искать их болезни, «сцепленные» с полом, и факторы, действующие избирательно на отдельные половые или возрастные генерации животных.

Животный мир города представляет собой весьма существенный компонент санитарной и эмоциональной среды человека, поэтому элементы стихийности в его формировании должны быть сведены до минимума.

Достижение гармонии в отношениях городского человека с его «зоологическим окружением» — процесс сложный. Нужна повседневная конкретная работа экологической службы конкретного города, нужна определенная, научно обоснованная система биотехнических мероприятий.

---

## 5. Городской человек

Известный буржуазный публицист Олвин Тоффлер в книге «Столкновение с будущим» преподносит человечеству еще один из множества аналогичных зловещих прогнозов: «Шок от столкновения с будущим — это состояние ошеломленности, утраты ориентации, вызванное преждевременным наступлением будущего. Вполне может быть, что этот шок превратится в самое грозное заболевание завтрашнего дня» (с. 229). Трудно согласиться со столь пессимистической оценкой перспектив, но всматриваться в контуры будущего необходимо.

Мы знаем города-заводы, города-курорты, города-университеты, города-крепости, города-музеи... Есть города-гиганты, объединяющие в себе несколько из перечисленных функций, но в любом случае существует вполне определенная функциональная специализация города, которая накладывает специфический отпечаток на качества жизни в нем и на структуру его населения. Своего рода производными от двух последних признаков являются

и здоровье, и культура, и вся «эмоционально-психологическая атмосфера» города.

Резюмируя проблемы современных городов, составители «Среднесрочного плана ЮНЕСКО на 1977—1982 гг.» (Курьер ЮНЕСКО, апрель, 1977) приходят к выводу, что «город, будучи ранее центром влияний цивилизации, рассматривается теперь как источник любой формы загрязнения, трудностей, связанных с неоправданной потерей времени, а в некоторых странах и сегрегации, психологических стрессов, одиночества и порой даже опасности» (с. 32). Советские специалисты по проблемам городов Л. Б. Коган и Ф. М. Листенгурт (1975) вполне убедительно показывают, что урбанизация во многих случаях, напротив, способствует интересам сохранения природы и благополучия общества. ««Чрезмерной» урбанизации, — пишут они, — по самому существу этого процесса, быть не может, как не может быть «чрезмерной» культуры или «чрезмерного» прогресса. Речь... должна идти не о «чрезмерности», а о недостаточной эффективности управления процессом урбанизации» (с. 22). Однако, несмотря на причину, будь то «чрезмерная урбанизация» или «недостаточная эффективность управления процессом урбанизации», возникает синдром, который Тоффлер определил как «шок от столкновения с будущим», а Ганс Селье — как дистресс, т. е. чрезвычайно болезненную и изнурительную форму стресса.

Пропагандируя стресс-концепцию Селье, советский медик И. С. Хорол (1975) поясняет, что она «позволяет по-новому взглянуть на такие тревожные явления нашей цивилизации в последние два десятилетия, как резкий рост сердечно-сосудистых и раковых заболеваний, «тайную» вспышку «эпидемий» наркомании и самоубийств, анархического насилия и террора» (с. 9). Сам Селье определяет стресс как «состояние неспецифического напряжения в живом организме, проявляющееся в реальных морфологических изменениях в различных органах, и особенно в эндокринных железах, контролируемых гипофизом» (1972, с. 23). Положительные и отрицательные эмоции, умственное и физическое напряжение, наконец, любые нарушения оптимальной внутренней и внешней среды вызывают в организме человека физиологическую реакцию — адаптационный синдром или стресс-синдром, — проявления которой более

или менее скоро приводят организм в норму. Процесс непрерывного приспособления (адаптации) организма к изменяющимся условиям путем стресса, по Селье, и есть жизнь. Иными словами, стрессовое состояние столь же естественно, как естественны дыхание и кровообращение. В сущности альтернативой стрессу является эйфория. Коллизии возникают лишь тогда, когда стресс становится слишком интенсивным (дистресс) или чрезмерно длительным. К сожалению, в состояние именно хронического дистресса все более и более погружается современный городской человек.

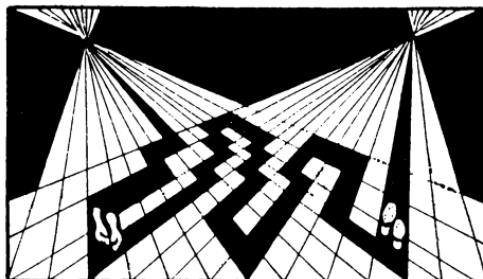
Что можно в этих обстоятельствах ожидать от экологии? Очень и очень многое. Стресс-концепция Селье относится к системам организменного уровня. Экология оперирует надорганизменными системами. Образно говоря, в центре концепции Селье стоит отдельный человек, а в центре экологических концепций — группа индивидуумов. Экологу зачастую нет надобности вникать в тонкий физиологический механизм жизнедеятельности индивида, но он владеет или по крайней мере стремится овладеть искусством понимания интегральных эффектов совместной жизнедеятельности структурно и функционально организованных совокупностей индивидов; экологу доступно исследование популяционных проявлений индивидуальных физиологических реакций исходя из представлений о структурно-функциональной организации ценозов.

Стресс-концепция лишь одна из многих медико-биологических доктрин, актуальных в связи с урбанизацией, но она особенно импонирует экологу своей универсальностью, своей интегральной сущностью. «Полевые» экологи издавна знакомы с явлениями дистресса в группировках животных. Надо полагать, что эфемерные сообщества людей в закрытом для полетов аэропорте, в переполненном вагоне поезда дальнего следования и т. д. — все это примеры типичных дистрессовых ситуаций, в которых психофизиологические состояния индивидов складываются, интегрируются и создают определенную психологическую атмосферу. Последствия при прочих равных условиях будут зависеть от возрастной, половой и национальной структуры группировок, от интеллектуального уровня и профессиональной ориентации людей. Исходя из этих предпосылок, последствия можно прогнозировать.

Фактически именно экологический подход выдвигает ряд специфических и актуальных задач перед физиологией городского человека, например: 1) какими особенностями отличаются слух, зрение и обоняние у городского и сельского жителя, причем не только по чувствительности к раздражителю, но и к его местоположению (спереди, сбоку, сзади и т. д.), по спектру различаемых источников, а также по суточной, сезонной и возрастной динамике; 2) как вообще различается норма и скорость физиологических и прочих реакций на те или иные внешние раздражители; 3) как эволюционируют перечисленные выше физиологические особенности; 4) какова изменчивость перечисленных признаков в популяции, в различных профессиональных группах и т. д.

Достаточно ясно, что в любом случае экология должна выработать надежные представления о том естественноисторическом фоне, на котором протекает социальная адаптация человека к условиям городской среды.

Нам кажется, что город, в котором мы живем, будет вечным. Но данные археологии наглядно показывают, что потенциально «вечных» городов на Земле очень и очень мало. Гибель древних городов происходила не только из-за разрушений, связанных с нашествиями и войнами, но и из-за экологических просчетов, допущенных при закладке городов. Абсолютное большинство современных небольших городов также отнюдь неечно, а довольно эфемерно, поскольку их закладка определяется нередко текущими и преходящими технико-экономическими интересами. В этой связи полезно без лишних эмоций рассчитать, на какой срок проектируется город: если этому городу определен срок 30—50 лет, может быть принята одна градостроительная и демографическая стратегия; если город предполагается сделать «вечным», стратегия будет принципиально иной, но в любом случае важно своевременно посоветоваться с экологами.



## К ЭКОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА (вместо заключения)

По новейшим данным, человек выделился из животного царства свыше 2,6 млн. лет назад, 200—300 тыс. лет назад он научился пользоваться «готовым» огнем, а около 100 тыс. лет назад — искусственно его добывать (Борисковский, 1979). Внушительная панорама развития палеолитического человека на фоне палеогеографической обстановки конкретно для территории СССР создана коллективом авторов книги «Природа и древний человек» (1981, сост. Г. И. Лазуков). В ней показано, как вся эволюция человека протекала в активном противостоянии неблагоприятным факторам физико-географической и биосоциальной среды и в сознательном использовании доступных благ этих сфер. На начальных этапах этого процесса, по замечанию В. П. Алексеева (1974), «влияние среды осуществлялось через отбор и выразилось... в приспособительном значении многих расовых признаков, в подчинении изменчивости человеческого организма экологическим правилам...» (с. 37). По-видимому, крупным достижением экологического подхода к биологической природе человека можно считать следующее утверждение: «Не человек вообще, а представитель конкретной популяции с определенной амплитудой акклиматационных возможностей и наследственно закрепленным стереотипом должен занять основное место в медико-географическом прогнозировании» (Алексеев, с. 50).

Выступая против распространения компетенции экологии на человека, А. Д. Адо (1978) апеллирует прежде всего к авторитету основателя экологии Э. Геккеля. Действительно, Геккель не употреблял термина «экология человека», но он первым построил родословное древо от простейших до человека, в котором рассматривал неизвестного тогда питекантропа как переходную

форму между человекообразной обезьяной и человеком; более того, исходя из чисто экологических представлений, Геккель указал, где следует искать костные остатки питекантропа, и Е. Дюбуа на острове Ява в 1891 и 1892 гг. действительно нашел их, что и можно считать первым и подлинным триумфом именно экологии человека.

По меткому замечанию Ч. Элтона (1970), экология вообще «является новым названием очень старого предмета» (с. 24). Анализируя эволюцию предмета экологии в рамках проблемы «организм — среда», Н. Н. Киселев (1979) убедительно показал, что начиная с античности и во все последующие эпохи человеческой культуры человек никогда не выпадал из поля зрения позитивной науки ни как объект воздействия среды, ни как субъект, активно действующий на среду. Весьма замечательно, что К. Маркс вполне предвидел современную экологическую ситуацию, утверждая, что «естествознание включит в себя науку о человеке в такой же мере, в какой наука о человеке включит в себя естествознание: это будет одна наука» (*Маркс К., Энгельс Ф.* Из ранних произведений. М., 1956, с. 596). Как видим, здесь нет «установки на биологизацию в изложении вопросов экологии человека», призрак которой так тревожит А. Д. Адо, особенно в приложении к проблемам медицины.

Что же такое экология человека? Надо полагать, что для ясного понимания вопросов, существующих в постановке и анализе соответствующих проблем происхождения и жизнедеятельности человека, полезно выделить несколько уровней, как это делается по отношению к явлениям жизни вообще, а именно: организменный, популяционный, биогеоценологический и биосферный.

Время от времени общественность потрясают сообщения о пределах выносливости человеческого организма в тех или иных экстремальных ситуациях или по отношению к отдельным факторам физической среды. Известно, например, что температуру 71°С человек выдерживает в среднем в течение одного часа, температуру 82° — 49 минут, 93° — 33 минуты, 104° — 26 минут. Известны и «рекорды»: человек переносил температуру 170° в течение 14 минут, а при температуре тела 24° сохранял сознание и способность к осмыслиенной речи; человек продержался под водой без акваланга 13 минут

42,5 секунды, надышавшись предварительно чистым кислородом... Вполне очевидно, что предметом популяционной экологии человека в этой связи можно считать представления об адаптационных возможностях человеческих популяций на фоне экстремальных значений отдельных геофизических и геохимических факторов.

Институтом антропологии им. Д. Н. Анутина за последние 20 лет обследовано более 40 человеческих популяций. В результате подтвердилась мысль, что естественный отбор для человека на внутривидовом уровне существует и проявляется в форме биохимических, физиологических и психических адаптаций к среде обитания независимо от расовой и этнической принадлежности популяций. Это ли не популяционная экология человека?! А инициатива антропологов в данном случае обеспечивает лишь историчность подхода к предмету. Краткий, но содержательный обзор некоторых проблем эволюции человека проделан Ю. И. Новоженовым (1983).

К серьезным раздумьям побуждает не только генетиков, медиков, психологов и социологов, но и экологов концепция В. А. Геодакяна (1965) об эволюционном смысле дифференциации полов у растений, животных и человека. Суть концепции состоит в том, что функция передачи генетической информации (от поколения к поколению) осуществляется в популяции главным образом особями женского пола, тогда как мужское начало ответственно за передачу экологической информации (от среды к потомству). Иными словами, женская часть популяции гарантирует сохранность основной генетической информации при смене поколений, а мужская часть обеспечивает достаточную гибкость фенотипов под воздействием изменяющихся условий внешней среды. Такое разделение функций весьма повышает эволюционную устойчивость популяции в целом, но имеет ряд неизбежных следствий, в число которых входит, в частности, и повышенная смертность представителей мужского пола.

В этой концепции подкупает ее экологичность вообще, а все, что касается в ней человеческого рода, вполне может быть зачислено в «актив» популяционной экологии человека. Между организменным и популяционным уровнями имеется множество промежуточных демографических категорий, таких, как семья, род, поколение

ление, племя, община... И каждая из этих структурно-функциональных субпопуляционных общностей заслуживает особого рассмотрения, но в рамках именно популяционной экологии, популяционной экологии именно человека как существа общественного. И здесь, вероятно, применимы очень многие теории популяционной биологии.

Если на первых двух уровнях экологии человека абсолютно преобладает биологический или медико-биологический подход, то следующий уровень представлений, условно названный выше биогеоценологическим, соответствует экологии человека прежде всего как социального существа, и в этом смысле ее можно именовать социальной экологией человека. Мы уже привыкли к понятиям «социальная структура», «социальная среда», «социальная психология», «социальная гигиена», «социальная патология»... Предмет социальной экологии человека полностью исчерпывается представлениями о взаимодействии природы и общества, причем общества, организованного в определенную социально-экономическую систему.

Конкретным объектом социальной экологии человека могут быть отдельное предприятие и целая отрасль хозяйства, территориально-производственный комплекс и экономический район, отдельное государство и, наконец, группа государств с определенной социально-экономической системой. Можно согласиться, что взаимодействия в системе «человек — машина — окружающая среда» относятся к предмету сложившейся на протяжении двух последних десятилетий эргономики (Кедров, Смирнов, Юдин, 1981). Но как быть с более сложными системами типа «человек — техника — биогеоценозы — окружающая среда — население» или «человек — природный ресурс (недра, вода, растительность, животный мир и пр.) — технология его эксплуатации — окружающая среда — население»? С каких позиций подходить к столь актуальным в настоящее время прикладным проблемам экологического прогноза и экологической экспертизы научно-технических проектов? Дожидаться, когда эргономика (или эргономия) расширит пределы своей компетенции, или мобилизовать теоретический и методический аппарат экологии, как более сложившейся отрасли знаний? Ответ зависит не от абстрактных концепций, а от реального соотношения исто-

рического опыта, навыков и методов решения комплексных задач в отдельных научных дисциплинах. Когда речь идет о системе жизнеобеспечения экипажа космического корабля, то можно, по-видимому, обойтись и средствами эргономики, но если речь заходит о надежном промышленном освоении обширного края с привлечением огромных людских ресурсов, то здесь как раз необходима комплексная эколого-социально-экономическая оценка перспектив.

Широкий круг проблем экологии человека именно в фундаментально-теоретических и прикладных аспектах освещен в монографии В. П. Казначеева (1983). В ней дано очень емкое определение экологии человека как новой синтезирующей науки: «Эта наука изучает закономерности взаимодействия людей с окружающей средой, вопросы развития народонаселения, сохранения и развития здоровья, совершенствования физических и психических возможностей человека. В фундаментальных направлениях экологии человека должен преобладать социально-целевой принцип, поскольку объективное содержание предмета этой науки составляет изучение взаимодействия человека со средой, направленное на благо человека. Важной задачей экологии человека является раскрытие закономерностей производственно-экономического, целевого освоения регионов Земли в процессе их преобразования социальной деятельностью человека, изучение естественных законов сохранения и развития здоровья людей (населения) в ходе такого освоения» (с. 11).

Природа не признает административных границ. Осознание этого факта лежит в основе биосферного или глобального подхода к экологии человека, которую можно и определить как экологию человечества. Философские аспекты экологических проблем человечества в целом освещены в книге В. А. Лося (1978).

Как ни заманчиво рассматривать в качестве объекта и субъекта именно все человечество, на практике экологу чаще всего приходится следовать известным физико-географическим подразделениям. Так, можно говорить об экологии населения группы стран, принадлежащих к одному водосборному бассейну, об экологии населения отдельного материка или отдельной ландшафтно-географической зоны. Хорошо известно, например, что продукты ядерных взрывов через атмосферу

распространяются в основном в широтном направлении, такова же судьба кислорода и углекислоты, выделяемых растениями... Можно и должно говорить об экологических интересах стран, омываемых Гольфстримом, особенно в связи с вполне реальными проектами эксплуатации его энергетических ресурсов. Именно на глобальном уровне заслуживает самого всестороннего развития палеоэкология человека. Этому предмету посвящена книга П. М. Долуханова (1979). Ключом к пониманию вопросов экологии человека в ней является географическое распространение ископаемых орудий труда.

Закончить книгу хотелось бы словами академика С. С. Шварца (1976), поскольку в них кратко, но исчерпывающим образом дана программа ближайших исследований: «Зная, как человек изменяет среду (в данном месте, на данном уровне развития экономики и техники, в данной физико-географической среде), зная требования, которые предъявляют к среде отдельные виды, зная потенциальные возможности их эволюционной изменчивости, зная законы их сложения в сообщества и, наконец, зная законы, которыми определяется продуктивность сообществ и эффективность их самоочистки, эколог может разработать генеральную схему развития процветающих биогеоценозов в урбанизированной среде. Эта схема может быть реализована лишь в комплексе с мероприятиями по промышленному освоению края, она должна рассматриваться как непременная составная часть общего плана развития страны. Поэтому работа эколога в этом направлении вполне заслуживает названия экологии человека. Основная задача этого раздела науки, по нашему мнению, должна заключаться в разработке общей схемы развития биогеоценотического покрова единого экономико-географического региона» (с. 94).

## ЛИТЕРАТУРА

---

- Маркс К., Энгельс Ф. Из ранних произведений. М., 1956.
- Энгельс Ф. Диалектика природы.— Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20.
- Агаджанян Г. В., Камалян Н. С. Бактерицидная активность растений в городе.— Биол. журн. Армении, 1981, т. 34, № 5.
- Агес П. Ключи к экологии. Л., 1982.
- Адо А. Д. Экология человека как арена идеологической борьбы.— В кн.: Идейно-теоретические проблемы научно-технического прогресса. Материалы Всесоюзной научной конференции, вып. 1. Свердловск, 1978.
- Бабаев А. Г., Орловский Н. С. Человек обживает пустыню.— Курьер ЮНЕСКО, август, 1977.
- Барков Н. И., Гордиенко Ф. Г., Короткевич Е. С., Котляков В. М. Палеоклимат Антарктиды.— ДАН СССР, 1974, т. 214, № 6.
- Батисс М. Удивительный напиток природы.— Курьер ЮНЕСКО, март, 1978.
- Беклемишев К. В. Биотопы морских биоценозов.— В кн.: Проблемы биогеоценологии. М., 1973.
- Беличенко Ю. П., Полянинов Л. Я. Охрана водных ресурсов. М., 1976.
- Берг Л. С. Избранные труды. Т. I. История науки. М., 1956.
- Бериня Дз. Ж., Мелецис В. П. Экологические изменения в зоне автодорог.— Природа, 1982, № 12.
- Беркович К. М., Виноградова Н. Н. Влияние крупных водохранилищ на гидрологический и русловой режим зоны переменного подпора.— Водные ресурсы, 1975, № 6.
- Берковский Б. М. Проблемы энергетики мира.— Курьер ЮНЕСКО, июль 1978.
- Берман Д. Новые направления в океанографии.— Курьер ЮНЕСКО, февраль 1977.
- Берман Д. Что можно сделать, чтобы предотвратить загрязнение океана.— Курьер ЮНЕСКО, февраль 1977.
- Берри Б. Л., Либерман А. А., Шиятов С. Г. Периодические колебания индексов прироста лиственницы сибирской в тазовской лесотундре и их прогноз.— Экология, 1979, № 6.
- Бирюков И. Н., Тарунина Е. Ф. Влияние гидрометеорологических факторов на процесс всплыивания торфяной залежи в водохранилищах. Л., 1967б.
- Благосклонов К. Н. Птицы большого города.— Природа, 1975, № 3.
- Благосклонов К. Н. Птицы в городе.— Природа, 1981, № 5.
- Богдановская-Гиенэф И. Д. Прогнозирование всплыивания торфа на затопленных болотах.— Труды III Всесоюзн. гидрологич. съезда, вып. IV. Л., 1959.
- Бодров В. А. Лесная мелиорация. М., 1961.

- Болиг А.* Очерки по геоморфологии. М., 1956.
- Борисковский П. И.* Древнейшее прошлое человечества. Л., 1979.
- Брагинский Л. П.* Принципиальные препятствия к применению химического метода в борьбе с «цветением» воды в водохранилищах.— Водные ресурсы, 1977, № 2.
- Будыко М. И.* Климат в прошлом и будущем. М., 1980.
- Быков Б. А.* Введение в фитоценологию. Алма-Ата, 1970.
- Быков Б. А.* Геоботанический словарь. Алма-Ата, 1973.
- Быстрова А. К.* Экология и капиталистический город. М., 1980.
- Бяллович Ю. П.* Введение в культурфитоценологию.— Сов. ботаника, 1936, № 2.
- Бяллович Ю. П.* Системы биогеоценозов.— В кн.: Проблемы биогеоценологии. М., 1973.
- Бяллович Ю. П.* Биогеоценологические основания теории системы лесов.— Там же.
- Вейль Г.* Симметрия. М., 1968.
- Вейль П.* Популярная океанография. Л., 1977.
- Вендроев С. Л., Дьяконов К. Н.* Водохранилища и окружающая среда. М., 1976.
- Вендроев С. Л., Комлев А. М.* Состояние и перспективы изучения водных ресурсов Западной Сибири в связи с их народнохозяйственным использованием.— Труды Зап.-Сиб. регионального н.-и. гидрометеорологического ин-та, вып. 26, 1976.
- Вендроев С. Л., Широков В. М., Подлипский Ю. И.* Итоги изучения гидрологического режима водохранилищ Западной Сибири.— Там же, 1976.
- Вернадский В. И.* Размышления натуралиста. Пространство и время в неживой и живой природе. М., 1975.
- Вернадский В. И.* Размышления натуралиста. Научная мысль как планетное явление. М., 1977.
- Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М., 1957.
- Винтер А.* Новые физиологические и биологические стороны взаимоотношений между высшими растениями.— В кн.: Механизмы биологической конкуренции. М., 1964.
- Воейков А. И.* Воздействие человека на природу. М., 1963.
- Вознесенский А. Н., Гангарт Г. Г., Герарди И. А.* Основные направления и перспективы использования водных ресурсов СССР.— Водные ресурсы, 1974, № 3.
- Вольнов И. И.* Антропогенное загрязнение атмосферы фреонами и его возможные последствия.— Природа, 1977, № 4.
- Воронов А. Г.* Геоботаника. М., 1963.
- Воропаев Г. В.* Чтобы дать воду югу. Размышление о проблеме переброски части стока северных и сибирских рек.— Известия, 1978, 13 августа.
- Воропаев Г. В., Косарев А. Н.* О современных проблемах Каспийского моря.— Природа, 1981, № 1.
- Вудворд Д.* Нефть загрязняет моря.— Курьер ЮНЕСКО, 1962, № 9.
- Гавеман А. В.* Аэросъемка и исследование природных ресурсов. М.—Л., 1937.
- Галкина Е. А.* Болотные ландшафты и принципы их классификации.— В кн.: Сборник научных работ БИН АН СССР, выполненных в период Великой Отечественной войны (1941—1943 гг.). Л., 1946.

*Галкина Е. А.* Генетические особенности болотных массивов и их выражение в стратиграфических единицах.— В кн.: Генезис и динамика болот. Вып. I. М., 1978.

*Галл Я. М.* Борьба за существование как фактор эволюции. Л., 1976.

*Гегамян Г. В.* О биосферологии В. И. Вернадского.— Журн. общей биологии, 1980, т. 41, № 4.

*Гегамян Г. В.* Ламарк, Вернадский и биосферология.— Природа, 1981, № 9.

*Генезис и динамика болот.* Вып. I, II. М., 1978.

*Генсирук С. А.* Леса Украины. М., 1975.

*Геодакян В. А.* Эволюционная логика дифференциации полов и долголетие.— Природа, 1983, № 1.

*Герасимов И. П.* Конструктивная география на смену описательной.— Наука и жизнь, 1977, № 2.

*Герасимов И. П., Звонкова Т. В.* Стихийные бедствия на территории СССР: изучение, контроль и оповещение.— В кн.: Стихийные бедствия, изучение и методы борьбы. М., 1978.

*Гилляров А. М.* Методологические проблемы современной экологии. Смена ведущих концепций.— Природа, 1981, № 9.

*Глазовская М. А.* Почвы мира. Т. 1—2. М., 1972—1973.

*Глухов В. Н.* Индустрия и природа.— Природа, 1971, № 9.

*Говард А. Д., Ремсон И.* Геология и охрана окружающей среды. Л., 1982.

*Голенкин М. И.* Курс высших растений. М.—Л., 1937.

*Городков Б. Н.* Движение растительности на севере лесной зоны Западно-Сибирской низменности.— В кн.: Проблемы физической географии, вып. 12. М., 1946.

Город, природа, человек (Проблемы экологического воспитания). М., 1982.

*Граве Л. М., Граве М. К.* Канал в пустыне.— Природа, 1975, № 2.

*Гродзинский А. М.* Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. Киев, 1965.

*Грюммер Г.* Взаимное влияние высших растений — аллелопатия. М., 1957.

*Грюммер Г.* Роль токсичных веществ во взаимоотношениях между высшими растениями.— В кн.: Механизмы биологической конкуренции. М., 1964.

*Гуреева И. И., Карташев А. Г.* Случай массовых тератологических изменений цветков *Geum rivale* L и соцветий *Inula salicifolia*.— Экология, 1982, № 6, с. 64—66.

*Дажо Р.* Основы экологии. М., 1975.

*Дарлинг Ф.* Человек против природы.— Курьер ЮНЕСКО, 1969, № 145.

*Дексбах Н. К.* Шестидесятилетие акклиматизации элодеи канадской на Среднем Урале и в Зауралье.— Труды Томского ун-та, 1956, т. 142.

*Детри Ж.* Атмосфера должна быть чистой. М., 1973.

*Дёжкин В. В., Фетисов Т. И.* Профиль равновесия. М., 1977.

*Джакомини В.* Кризис городов.— Курьер ЮНЕСКО, май, 1981.

*Дианов-Клоков В. И.* Спектроскопические измерения газовых примесей в атмосфере.— Природа, 1981, № 9.

*Ди Кастро Фр.* Экология: рождение науки о человеке и природе.— Курьер ЮНЕСКО, май, 1981.

- Дмитриев М. Т.* Фотохимический смог.—Природа, 1971, № 2.
- Дмитриев М. Т.* Запах свежего воздуха.—Природа, 1972, № 3.
- Добринская Л. А., Яковleva A. C., Ярушина M. I. и др.* К вопросу об экологических основах рационального использования рыбных запасов уральских притоков Нижней Оби.—В кн.: Структура и функционирование биогеоценозов Приобского Севера. Свердловск, 1981.
- Добровольский В. В.* Атомы в ландшафте. Очерки по геохимии рассеянных химических элементов. М., 1964.
- Добровольский В. В.* Гипергенез четвертичного периода. М., 1966.
- Докучаев В. В.* Доклад об исследовании Тамбовской губернии в почвенно-геологическом отношении.—Соч., т. VII, 1953.
- Долгушин И. Ю.* Ожидаемое подтопление земель в районе Вычегодского водохранилища.—В кн.: Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. М., 1970.
- Полуханов П. М.* География каменного века. М., 1979.
- Драчев С. М., Карельская Т. К., Брук Е. С.* Влияние затопленных почв на гидрохимический режим водохранилищ.—Бюлл. МОИП, отд. биол., т. 88, 1939, вып. 4.
- Дреин Г. Э.* Наступление песков в США. Ретроспективный анализ.—Курьер ЮНЕСКО, август, 1977.
- Дрё Ф.* Экология. М., 1976.
- Дружинин И. П., Сазонов Б. И., Ягодинский В. Н.* Космос—Земля. Прогнозы. М., 1974.
- Дулов А. В.* Человек и природа на Руси в XIV—XVII вв.—Природа, 1976, № 12.
- Дулов А. В.* Человек и природа в России XVIII—первой половины XIX в.—Природа, 1979, № 11.
- Дылис Н. В.* О структуре консорций.—Журн. общей биологии, 1973, № 4.
- Дылис Н. В.* Межбиогеоценозные связи, их механизмы и изучение.—В кн.: Проблемы биогеоценологии. М., 1973.
- Дьяконов К. Н.* Опыт прогноза воздействия Печорского водохранилища на леса прибрежной зоны.—В кн.: Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. М., 1970.
- Дьяконов К. Н.* Некоторые итоги изучения влияния водохранилищ Волжско-Камского каскада на природные условия прилегающих территорий.—Водные ресурсы, 1977, № 1.
- Дювиль П., Танг М.* Биосфера и место в ней человека (экологические системы и биосфера). М., 1973.
- Ермаков Ю. Г., Игнатьев Г. М.* Проблема воспроизводства водных ресурсов.—США—экономика, политика, идеология, 1978, № 11.
- Еришова С. Б.* Анализ новейших движений при инженерно-геологическом районировании. М., 1976.
- Еськов Е. К.* Этологические аномалии у пчел и ос, порождаемые действием электрических полей.—Экология, 1982, № 6.
- Жданов Ю. А., Горстко А. Б.* Экономико-биологические системы.—Наука и человечество, 1980.
- Завадский К. М.* Основные формы организации живого и их подразделения.—В кн.: Философские проблемы современной биологии. М.—Л., 1966.
- Задачи развития экологических исследований в СССР.*—Экология, 1977, № 5.
- Зайцев Ю. П.* Морская нейстоноология. Киев, 1970.

- Закономерности и прогнозирование природных явлений. М., 1980.
- Иванов В. В., Сулиди-Кондратьев Е. Д. Союз-22: новый вклад в космическое землеведение.— Природа, 1977, № 3.
- Записки по общей географии Императорского Русского географического общества, т. 48. СПб., 1911; т. 49, СПб., 1912.
- Игошина К. Н. Растительные сообщества на аллювиях Камы и Чусовой, ч. I.— Труды биол. н.-и. ин-та при Пермском ун-те, т. I, 1927, вып. 1.
- Идзон П. Ф. Влияние лесохозяйственных и лесомелиоративных мероприятий на сток рек.— Водные ресурсы, 1974, № 1.
- Ильинко А. И., Криволуцкий Д. А. Радиэкология. М., 1971.
- Ильина Л. Н. Географические проблемы биоресурсоведения (теоретические основы и опыт разработки региональных систем биоресурсопользования). М., Наука, 1982.
- Ильин А. Я. О диалектико-материалистических основах развития современной биологии. М., 1967.
- Ильницкая А. П., Белицкий Г. А., Шабад Л. М. Вулканы и канцерогены.— ДАН СССР, 1975, т. 225, № 1.
- Имшенецкий А. А. Биологические эффекты экстремальных условий окружающей среды.— В кн. Основы космической биологии и медицины, т. I. Космическое пространство как среда обитания. М., 1975.
- Кабо В. Р. Природа и первобытное общество: проблемы социальной адаптации.— Природа, 1979, № 4.
- Кадомцев Б. Б., Елисеев Г. А. На пути к термоядерной энергетике.— США — экономика, политика, идеология, 1978, № 12.
- Камишлов М. М. Эволюция биосфера. М., 1974.
- Каппучинелли П. Подвижность живых клеток. М., 1982.
- Карагодина И. Л., Солдаткина С. А. Транспортный шум в современном городе.— Природа, 1975, № 3.
- Карпенко Ю. А., Сиренко Л. А., Орловский В. М. и др. Влияние синезеленых водорослей на санитарное состояние водоемов.— Водные ресурсы, 1975, № 6.
- Казначеев В. П. Очерки теории и практики экологии человека. М., 1983.
- Кедров Б. М., Смирнов П. В., Юдин Б. Г. Взаимосвязь общественных, естественных и технических наук.— Природа, 1981, № 1.
- Киселев Н. Н. Объект экологии и его эволюция. Философско-методологический аспект. Киев, 1979.
- Кириллин В. А. Энергетика, современное состояние и перспективы.— Природа, 1975, № 3.
- Кирясов В., Мезенцев В. Иртыш в упряжке.— Правда, 1978, 26 октября.
- Ковда В. А. Почвенный покров и биосфера.— Природа, 1972, № 1.
- Ковда В. А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком. М., 1975.
- Коган Л. Б., Листенгурт Ф. М. Урбанизация и природа.— Природа, 1975, № 3.
- Колесников Б. П., Моторина Л. В. Проблемы рекультивации земель.— Природа, 1975, № 4.
- Колесников Б. П. Проблемы охраны растительного мира.— Журн. общей биологии, 1976, т. 37, № 5.
- Комлев А. М., Вострякова Н. В. Некоторые аспекты гидрологии

гических проблем в связи с переброской части стока сибирских рек на юг.— В кн.: Влияние перераспределения стока рек бассейна Оби на природу тайги Срединного региона. Иркутск, 1975.

*Корзун В. И., Соколов А. А.* Глобальная обеспеченность водой и ее отдаленная перспектива — год 2015.— Курьер ЮНЕСКО, март, 1978.

*Корнилов Б. А.* Физико-географические исследования в районе Печорского водохранилища.— В кн.: Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. М., 1970.

*Корчагин А. А.* Внутривидовой (популяционный) состав растительных сообществ и методы его изучения.— Полевая геоботаника. Т. III. М.—Л., 1964.

*Корчагин А. А.* Значение выявления внутривидового (популяционного) состава растительных сообществ при стационарных геоботанических исследованиях.— Бот. журн., т. 51, № 6.

*Красилов В. А.* Палеоэкология наземных растений. Владивосток, 1972.

*Круть И. В.* Введение в общую теорию Земли. М., 1978.

*Крючков В. В.* Можно ли остановить заболачивание тайги? — Природа, 1975, № 2.

*Крючков В. В.* Север: природа и человек. М., 1979.

*Кузьмин И. А., Викулова Л. И.* Проблема русловых процессов при переброске стока.— Водные ресурсы, 1974, № 2.

*Кулагин Ю. З.* Древесные растения и промышленная среда. М., 1974.

*Куликов К. А., Сидоренков Н. С.* Планета Земля. М., 1977.

*Куликов Н. В., Молчанова И. В.* Континентальная радиоэкология. Почвенные и пресноводные экосистемы. М., 1975.

*Кусто Жак-Ив, Даген Дж.* Живое море. М., 1966.

*Лавленко Е. М.* Основные проблемы биогеоценологии и задачи биогеоценологических исследований в СССР.— Журн. общей биологии, 1971, т. 2, № 4.

*Лавров С. Б.* Предисловие.— В кн.: Стихийные бедствия: изучение и методы борьбы. М., 1978, с. 5—21.

Ландшафтный метод лесного дешифрирования аэроснимков. Новосибирск, 1976.

*Лапо А. В.* Следы былых биосфер. М., 1979.

*Лебедев В. Л., Айзатуллин Т. А., Хайлар К. М.* Океан как динамическая система. Л., 1974.

*Ле Руа.* Приключения четырех российских матросов, к острову Шпицбергену бурею принесенных. М., 1975.

*Лось В. А.* Человек и природа. М., 1978.

*Лурия С., Дарнелл Дж.* Общая вирусология. М., 1970.

*Львович М. И.* Географические аспекты территориального перераспределения водных ресурсов.— Известия АН СССР, сер. геогр., 1977, № 2.

*Львович М. И.* Размышления о перебросках речного стока.— Природа, 1978, № 3.

*Любищев А. А.* Редукционизм и развитие морфологии и систематики.— Журн. общей биологии, 1977, т. 38, № 2.

*Любищев А. А.* Проблемы формы, систематики и эволюции организмов. М., 1982.

*Мазинг В. В.* Консорции как элементы функциональной структуры биоценозов.— Труды МОИП, т. 27, 1966.

- Майр Э.* Популяции, виды и эволюция. М., 1974.
- Маковский В. И.* Генезис болотных уроцищ озерного происхождения в Ильменском заповеднике.— В кн.: Генезис и динамика болот, вып. II. М., 1978а.
- Маковский В. И.* Растительность и стратиграфия торфяной залижи болот в окрестностях озер Большое Миассово, Большой и Малый Таткуль (Ильменский заповедник).— Труды ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, вып. 108. Свердловск, 1978б.
- Максимов И. В.* Геофизические силы и воды океана. Л., 1970.
- Малик Л. К.* Прогноз последствий пропикиновения подпора в притоки.— В кн.: Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ. М., 1972.
- Малик Л. К.* Нужно ли перебрасывать воды западносибирских рек на юг? — Природа, 1973, № 6.
- Малик Л. К.* Пути мелиорации Западно-Сибирской равнины.— Природа, 1976, № 7.
- Малик Л. К.* Гидрологические проблемы преобразования природы Западной Сибири. М., 1978.
- Математическое моделирование в экологии. М., 1978.
- Маттие П. Эбла.* Открытие города в Сирии, процветавшего 4000 лет назад.— Курьер ЮНЕСКО, март, 1977.
- Мейен С. В.* Современная палеоботаника и эволюционная теория.— Природа, 1971, № 2.
- Мейен С. В.* Следы трав индейских. М., 1981.
- Мерден П.* Город. Количественные методы изучения. М., 1977.
- Макулинский С. Р.* Карл Францевич Рулье. Ученый, человек и учитель. 1814—1858 гг. М., 1979.
- Мильков Ф. Н.* Рукотворные ландшафты. М., 1978.
- Моделирование биогеоценотических процессов. М., 1981.
- Молкин Г. С.* Основные вопросы теории всплыивания торфа.— В кн.: Природа болот и методы их исследований. Л., 1967.
- Мордухай-Болтовской Ф. Д.* Тепловые электростанции и жизнь водоемов.— Природа, 1975, № 1.
- Морозов Г. Ф.* Учение о лесе. СПб., 1912.
- Назаров А. Г.* Земля человечества.— Человек и биосфера. 1977, № 4, с. 7—72.
- Нейс Р. Л.* 5000 лет гидрологии.— Курьер ЮНЕСКО, март, 1978.
- Нейштадт М. И.* Региональные закономерности истории фитоценозов СССР в голоцене по палинологическим данным.— В кн.: История биогеоценозов СССР в голоцене. М., 1976.
- Неронов Ю. В., Майстеренко С. Г.* Элодея канадская проникла в Байкал.— Природа, 1981, № 4.
- Нестерова Д. А., Полищук Л. Н.* Соотношение фито- и зоопланктона в приповерхностном слое Черного моря.— Гидробиол. журн., 1975, т. XI, № 3.
- Николаев Л. А.* Основы физической химии биологических процессов. М., 1971.
- Николаевский В. С., Казекина Л. П., Видякина О. А.* Транслокация серы при поглощении сернистого газа листьями.— В кн.: Растения и промышленная среда. Киев, 1976.
- Никонов А. А.* Вертикальные движения побережий полярных морей.— Природа, 1978, № 6.

*Новиков С. М.* Гидрометеорологические исследования заболоченных территорий в районах нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири.— Труды Зап.-Сиб. регионального н.-и. гидрометеорологического ин-та, вып. 26. М., 1976.

*Одррова Т. В.* Изменения теплового стока сибирских рек.— Природа, 1980, № 6.

*Одум Ю.* Основы экологии. М., 1975.

*Оксюк О. П., Кафтаникова О. Г., Олейник и др.* Гидробиологический режим каналов, биологические помехи в эксплуатации и рекомендации по их ограничению.— Водные ресурсы, 1977, № 1.

Охрана окружающей среды. Л., 1978.

*Патрунов Д. К.* Пластмассовый песок.— Природа, 1978, № 1.

*Перельман А. И.* Геохимия ландшафта. М., 1961.

*Перельман А. И.* Геохимия биосферы. М., 1973.

*Перельман А. И.* Биокосные системы Земли. М., 1977.

*Пианка Э.* Эволюционная экология. М., 1981.

*Пивоваров Ю. Л.* Современная урбанизация: сущность, факторы и особенности изучения.— В кн.: Проблемы современной урбанизации. М., 1972.

*Плотников В. В.* Об использовании количественных соотношений при интерпретации картографических материалов с целью изучения динамики географических явлений. Материалы к симпозиуму на III Всесоюзной конференции по картографии. Иркутск, 1968.

*Плотников В. В.* К характеристике смен растительности на аллювии верхнего течения р. Вишеры.— Записки Свердл. отд. ВБО, вып. 5. Свердловск, 1970.

*Плотников В. В.* Морфология сообществ древесных растений — новый раздел лесоведения.— Вестник АН СССР, 1974, № 8.

*Плотников В. В., Семериков Л. Ф.* Популяционно-экологические аспекты тератологии древесных растений.— ДАН СССР, 1976, т. 227, № 2.

*Плотников В. В.* Динамика растительности в связи с генезисом озер на Южном Урале.— В кн.: Генезис и динамика болот. М., 1978а.

*Плотников В. В.* Генезис малых озер Ильменского заповедника (предлесостепное Зауралье).— Труды Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, вып. 18, 1978б.

*Плотников В. В.* Эволюция растительных сообществ. М., 1979.

*Плотников В. В.* Динамика лесных экосистем Сибири (на примере бассейна р. Хадытайхи). Свердловск, 1984.

*Поликарпов Г. Г.* Радиоэкология морских организмов. М., 1964.

*Полозова Л. Г., Шиятов С. Г.* Вековые колебания климата на основе анализа годичного прироста деревьев вдоль полярной границы леса.— В кн.: История биогеоценозов СССР в голоцене. М., 1976.

*Полынов Б. Б.* Геохимические ландшафты.— В кн.: Географические работы. М., 1952.

*Полынов Б. Б.* Избранные труды. М., 1956.

*Попов И. В.* Загадки речного русла. Л., 1977.

*Пресман А. С.* Электромагнитные поля в биосфере. М., 1971.

*Природа и древний человек* (Основные этапы развития природы, палеолитического человека и его культуры на территории СССР в плейстоцене). М., 1981.

Программа и методика биогеоценологических исследований М., 1966.

- Протасов В. Р., Бондарчук А. И., Ольшанский В. М.* Введение в электроэкологию. М., 1982.
- Пурнель Д.* Реки текут вспять.— Курьер ЮНЕСКО, март, 1978.
- Пьявченко Н. И.* Болота в биогеоценологическом аспекте.— Природа, 1971, № 4.
- Пьявченко Н. И.* О принципах биогеоценологической классификации болот.— В кн.: Проблемы биогеоценологии. М., 1973.
- Работнов Т. А.* Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии.— В кн.: Проблемы ботаники. М.— Л., 1950.
- Работнов Т. А.* Консорция как структурная единица биогеоценоза.— Природа, 1974, № 2.
- Райков Б. Е.* Русские биологи — эволюционисты до Дарвина. Т. I. М.— Л., 1952.
- Раменский Л. Г.* О некоторых принципиальных положениях современной геоботаники.— Бот. журн., 1952, № 2.
- Рейвин А.* Эволюция генетики. М., 1967.
- Реймерс Н. Ф., Яблоков А. В.* Словарь терминов и понятий, связанных с охраной природы. М., 1982.
- Риклефс Р.* Основы общей экологии. М., 1979.
- Романов В. В.* Гидрофизика болот. Л., 1961.
- Саблина Т. Б.* Как быть с собакой?— Химия и жизнь, 1982, № 9.
- Сабо Е. Д.* Новое в лесоосушении. М., 1966.
- Сафаров И. С.* Охрана горных экосистем и вопросы рационального природопользования в Азербайджанской ССР.— Экология, 1982, № 6.
- Селье Г.* На уровне целого организма. М., 1972.
- Сергеев Е. М.* Рациональное использование геологической среды.— Природа, 1977, № 1.
- Силкин Б. И.* Карта магнитных аномалий Земли.— Природа, 1976, № 6, с. 50—51.
- Сметанич В. С.* Водохранилища СССР (обзор и анализ научно-технической литературы). М., 1974.
- Смирнов Н. Н.* Военное разрушение биосферы.— Природа, 1981, № 9.
- Смит Дж. М.* Модели в экологии. М., 1976.
- Соколов Б. С.* Жизнь и геология.— Человек и природа, 1982, № 11.
- Соколов Б. С., Мейен С. В.* Послесловие.— В кн.: И. В. Крутъ. Введение в общую теорию Земли. М., 1978.
- Соколов С. Я., Связева О. А.* Хорология древесных растений. М.— Л., 1965.
- Солбриг О., Солбриг Д.* Популяционная биология и эволюция. М., 1982.
- Солберри Ф.* Разум на Марсе.— В кн.: Населенный космос. М., 1972.
- Социализм и природа (Научные основы социалистического природопользования).* М., 1982.
- Старикович С.* Программа Экополис.— Химия и жизнь, 1982, № 12.
- Степанов И. Н.* Явления единства симметрии-диссимметрии в формах рельефа подгорных равнин Средней Азии.— ДАН СССР. 1982, т. 262, № 4.
- Струмилин С. Г., Писаренко Э. Е.* Экономика и статистика «даровых» благ природы.— Природа, 1977, № 1.

- Стырикович М. А.* Взаимодействие топливно-энергетического комплекса с окружающей средой.— Природа, 1975, № 4.
- Стырикович М. А.* Перспективы развития энергетики развивающихся стран.— Курьер ЮНЕСКО, июль, 1978.
- Сукачев В. Н.* Основные понятия лесной биогеоценологии.— В кн.: Основы лесной биогеоценологии. М., 1964.
- Султанбаев А. С., Соколов Ю. Л.* Ультрафиолетовое излучение и жизнедеятельность растений.— Природа, 1982, № 12.
- Сухарев Г. М.* Откачка нефти вызвала землетрясение.— Природа, 1974, № 4.
- Тахтаджян А. Л.* Тектология: история и проблемы.— В кн.: Системные исследования. М., 1972.
- Тимофеев-Ресовский Н. В.* Применение излучений и излучателей в экспериментальной биогеоценологии.— Бот. журн., 1957, т. 42, № 2.
- Тимофеев-Ресовский Н. В.* О радиоактивных загрязнениях биосферы и о мерах борьбы с этими загрязнениями.— Труды Ин-та биологии УФАН СССР, вып. 22. Сборник работ лаборатории биофизики, ч. IV. Свердловск, 1962а.
- Тимофеев-Ресовский Н. В.* Некоторые проблемы радиационной биогеоценологии. Докт. дисс. Свердловск, 1962б.
- Тимофеев-Ресовский Н. В.* К публикации «Воспоминания о Н. А. Северцове».— Природа, 1980, № 1.
- Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В.* Краткий очерк теории эволюции. М., 1977.
- Титов Ю. В.* Эффект группы у растений. Л., 1978.
- Третьяков П. Н.* По следам древних славянских племен. Л., 1982.
- Трофимов С. С., Таранов С. А., Рагим-Заде Ф. К. и др.* Рекультивация и почвообразование.— В сб.: Проблемы сибирского почвоведения. Новосибирск, 1977.
- Тюрюканов А. Н.* Биосфера и человечество. М., 1973.
- Тюрюканов А. Н., Кузьменко И. Т., Павлова М. П.* Судьбы поймы.— Природа, 1971, № 9.
- Тюрюканова Э. Б.* Стронций-90 в биосфере.— Природа, 1981, № 1.
- Уайт Г. Ф.* Изучение стихийных бедствий: концепции, методы и социально-экономические решения.— В кн.: Стихийные бедствия: изучение и методы борьбы. М., 1978.
- Фесенкова Л. В.* Методологические аспекты исследования жизни в космосе. М., 1976.
- Фолитарек С. С., Вострякова Н. В., Понько В. А.* Гидрологическая изученность озер Западной Сибири и пути повышения их хозяйственного использования.— Труды Зап.-Сиб. регионального н.-и. гидрометеорологического ин-та, вып. 26; Состояние и перспективы изучения водных ресурсов Западной Сибири. М., 1976.
- Фридланд В. М.* Структура почвенного покрова. М., 1972.
- Фриш К.* Десять маленьких непрошенных гостей. М., 1970.
- Фролов И. Т.* Природа современного биологического познания.— Вопросы философии, 1972, № 11.
- Фэрги К.* Экология опыления.— Наука и человечество, 1979.
- Харин Н. Г.* Дистанционные методы изучения растительности. М., 1975.
- Хатчинсон Д.* Лимнология. М., 1969.
- Хильми Г. Ф.* Основы физики биосферы. Л., 1966.

- Хорол И. С.* Стресс. Адаптационная энергия: миф или реальность? — Курьер ЮНЕСКО, ноябрь, 1975.
- Хохлов А. Н.* Гибель птиц на автодорогах. — Природа, 1981, № 9.
- Хохряков А. П.* Закономерности эволюции растений. Новосибирск, 1975.
- Хриган А. Х.* Озонный щит Земли. — Природа, 1973, № 11.
- Худяков П. А.* Паводково-пойменный экологический цикл. — Водные ресурсы, 1976, № 1.
- Цееб Я. Я.* Биологические ресурсы днепровских водохранилищ. — Природа, 1973, № 4.
- Циммер К. Г.* Проблемы количественной радиобиологии. М., 1962.
- Чехонин Б. И.* Многоликая Япония. М., 1970.
- Чичварин В. А.* Охрана природы и международные отношения. М., 1970.
- Шапиро Л. Н.* Изменения хозяйственных условий в нижних бьефах гидроузлов. — Водные ресурсы, 1974, № 6.
- Шапошников М. А.* Проблемы охраны природной среды в связи со строительством на болотах. — В кн.: Генезис и динамика болот. Вып. 2. М., 1978.
- Шварц С. С.* Эволюционная экология животных. — Труды Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, вып. 65. Свердловск, 1969.
- Шварц С. С.* Эволюция и биосфера. — В кн.: Проблемы биогеоценологии. М., 1973.
- Шварц С. С.* Экология человека: новые подходы к проблеме «Человек и природа». — Наука и жизнь, 1976, № 11.
- Шварц С. С.* Экологические закономерности эволюции. М., 1980.
- Шварц С. С., Пястолова О. А., Добринская Л. А., Рункова Г. Г.* Эффект группы в популяциях водных животных и химическая экология. М., 1976.
- Швецов П. Ф.* Вечна ли «вечная» мерзлота? — Природа, 1979, № 12.
- Шиятов С. Г.* Климатогенные смены лесной растительности на верхнем и полярном пределах ее произрастания. Автореф. докт. дисс. Свердловск, 1981.
- Шовен Р.* Поведение животных. М., 1972.
- Штильмарк Ф. Р.* Новые заповедники Советского Союза. — Природа, 1981, № 9.
- Шутов И. В., Козлова Л. М., Бельков В. П. и др.* Применение гербицидов при лесовыращивании. М., 1967.
- Эйнштейн А.* Общий язык науки. Эйнштейновский сборник. М., 1966.
- Элтон Ч.* Очерки по истории экологии. М., 1970.
- Энергетические ресурсы СССР. Гидроэнергетические ресурсы.* М., 1967.
- Эссамэль-Хиннави.* Ядерная энергетика и окружающая среда. Насколько надежны меры защиты? — Курьер ЮНЕСКО, июль, 1978.
- Яблоков А. В.* Фенетика, популяция, признак. М., 1980.
- Яворский Б. М., Детлаф А. А.* Справочник по физике. М., 1979.
- Ястребов Е. В.* Некоторые морфологические особенности речной сети бассейна Лозьвы как показатель новейших тектонических

движений на Северном Урале. Записки Уральского филиала Геогр. об-ва СССР, вып. 4. Свердловск, 1961.

*Ambühl H.* Possibilità di risanamento dei laghi. "Ing. ambient. Inquin. e depur", 1978, 7, N 6, 729—736.

*Bliss L. S., Canlion I. E.* Amer. Midl. Naturalist., 58, 2, 1957.

*Chassin F.* La lotta contro l'eutrofizzazione del lago di Palandru. "Ing. ambient. Inquin. e depur", 1978, N 6, 675—677.

*Delfino I. I.* Toxic substances in the Great Lakes. "Environ. Sci. and Technol.", 1979, 13, N 12, 1462—1468.

*Drury W. H.* Bogflats and physiographic process in the upper Kuskok-wim-river region. Alaska. Contr. Gray Herbarium Harvard. Univ., 1956.

*Frangipane Fraja.* Il risanamento del lago di Varese — Criteri e stato degli interventi. "Ing. ambient. Inquin. e depur", 1978, 7, N 6, 678—704.

*Gelin C.* The restoration of freshwater ecosystems in sweden. "Breakdown and Restoration Ecosyst. Proc. Conf. Rehabil. Severely Damaged Land and Freshwater Ecosyst. Temper. Zones, Reykjavik, 1976". New York—London, 1978, 323—338.

*Maugh T. H.* Restoring damaged lakes. "Science", 1979, 203, N 4379, 425—487.

*Nyholm Niels, Sorensen Pone Erik, Olrik Kursten, Pedersen Svend Dige.* Restoration of Lake Nakskov Indrefjord Denmark, using algal ponds to remove nutrients from inflowing river water. "Progr. Water Technol.", 1978, 10, N 6, 881—892.

*Remple R. C., Parker A. K.* An information note on an airborne laser terrain profiles and microrelief studies. In: Proc. 3-rd Sym. Remote Sensing Environment, University of Michigan, 1965, p. 321—337.

*Rey J. P.* L'assainissement du lac du Bourget. "Ing.—constr.", 1980, N 255, 10—12.

*Roralett B.* Some ecological implications of freshwater systems restoration. "Breakdown and Restoration Ecosyst. Proc. Conf. Rehabil. Severely Damaged. Land and Foreshwater Ecosyst. Temper. Zones, Reykjavik, 1976". New York—London, 1978, 339—347.

*Schneider S.* Die Luftbildinterpretation auf dem XI Internationalen Kongress für Photogrammetrie in Lausanne vom 8—20 Juli, 1968. Ber. dtsch. Landeskunde, 41.

*Schönbach H.* Aufgabenstellung des Instituts für Forstwissenschaften Tharandt auf dem Gebiet der waldökologischen Forschung. "Probleme der Waldökologie...", 1962. Berlin.

*Shelford V. E.* Some Lower Mississippi valley flood plain biotic communities, their age and elevation. Ecology, 1954, 35.

*Sigray B.* Üdülötvak védelmében (Utibeszámoló). "Területrendzés", 1979, 3, 119—126.

*Tansley A. G.* The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology, 1935, 16.

*Tendron M. G.* La mer face à pollution des hommes. "Nature, Ressources naturelles et société", 1965, Bruxelles.

*Vernet J.-P., Scolari G.* Etude de la pollution des sédiments du Léman et bassin du Rhône. "Bull. ARPEA", 1980, 17, N 98, 15—18.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . .	3
ВВЕДЕНИЕ . . . . .	5
Глава I. НАБРОСОК СИСТЕМЫ ЭМПИРИЧЕСКИХ ОБОБЩЕНИЙ ЭКОЛОГИИ . . . . .	19
1. Уровни организации экосистем . . . . .	20
2. Общие принципы субординации эмпирических обобщений экологии . . . . .	29
3. Эмпирические обобщения биосферного уровня . . . . .	31
4. Методологические проблемы прикладной эко- логии . . . . .	35
Глава II. ЭКОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА . . . . .	42
1. Экосистемы и электромагнитные поля . . . . .	43
2. Радиационная биогеоценология (радиоэко- логия) . . . . .	54
3. Экзобиология . . . . .	59
4. Геофизические методы в экологических ис- следованиях . . . . .	62
Глава III. ЭКОЛОГИЯ И ХИМИЯ . . . . .	68
1. Химические взаимодействия внутри биоценопо- зов . . . . .	70
2. Химические воздействия на биоценозы . . . . .	76
3. Химические проявления биоценозов по отно- шению к смежным биоценозам и окружающей среде . . . . .	80
Глава IV. ЭКОЛОГИЯ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО . . . . .	85
1. Некоторые общие сведения о гидросфере Земли . . . . .	—
2. Морская экология . . . . .	87
3. Речные экосистемы и поймы . . . . .	90
4. Озерные экосистемы . . . . .	103
5. Экосистемы болот . . . . .	114
6. Стихийные бедствия . . . . .	119
7. Проблемы водохранилищ . . . . .	121
8. Экологические особенности каналов . . . . .	130
9. Проблемы орошения . . . . .	133
10. Загрязнения и очистка воды . . . . .	138
11. О перебросках стока рек . . . . .	140
Глава V. ЭКОЛОГИЯ НА ТРАНСПОРТЕ . . . . .	153
1. Экологическое значение морского транс- порта . . . . .	—
2. Речной транспорт . . . . .	156
3. Железнодорожный транспорт . . . . .	158

4. Автотранспорт . . . . .	161
5. Транспорт нефти и газа . . . . .	164
6. Воздушный транспорт . . . . .	165
<b>Г л а в а VI. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГОРОДА . . . . .</b>	<b>169</b>
1. Физические факторы городской среды . . . . .	171
2. Химические факторы городской среды . . . . .	175
3. Растительный покров городов . . . . .	179
4. Животный мир города . . . . .	183
5. Городской человек . . . . .	185
<b>Г л а в а VII. К ЭКОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА (ВМЕСТО ЗА- КЛЮЧЕНИЯ) . . . . .</b>	<b>189</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА . . . . .</b>	<b>195</b>

**Владимир Васильевич Плотников**

**НА ПЕРЕКРЕСТКАХ ЭКОЛОГИИ**

Заведующий редакцией Ю. О. ГНАТОВСКИЙ

Редактор Л. И. ВАСИЛЬЕВА

Младший редактор Т. Н. ФИЛАТОВА

Художественный редактор

А. И. ОЛЬДЕНБУРГЕР

Технический редактор Л. В. БАРЫШЕВА

Корректор Г. С. МИХЕЕВА

**ИБ № 2331**

Сдано в набор 21.01.85. Подписано в печать 04.06.85. А 03383. Формат 84×108<sup>1/32</sup>. Бумага для глубокой печати. Литературная гарнитура. Высокая печать. Усл. печатных листов 10,92. Усл. кр.-отт. 11,14. Учетно-издательских листов 11,67. Тираж 15 000 экз. Заказ № 1187. Цена 90 к.

Издательство «Мысль». 117071. Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Типография издательства «Калининградская правда», 236000, г. Калининград,  
ул. Карла Маркса, 18.