



А. П. Рыженков

ФИЗИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Прометей

Александр Рыженков

Физика окружающей среды

«Прометей»

2018

УДК 502/504
ББК 28.081-22.3

Рыженков А. П.

Физика окружающей среды / А. П. Рыженков —
«Прометей», 2018

ISBN 978-5-906879-78-3

В основу этой книги легли лекции автора для студентов физико-математического факультета по разработанному им спецкурсу «Физика и экология». Обсуждается экологическая ситуация в мире и России в связи с развитием научно-технической революции, с позиций физики анализируются физические процессы в атмосфере, гидросфере и литосфере и влияние на них деятельности человека. Рассматривается использование достижений современной физики в решении глобальных экологических проблем, эффективном использовании природных ресурсов, загрязнении окружающей среды.

УДК 502/504
ББК 28.081-22.3

ISBN 978-5-906879-78-3

© Рыженков А. П., 2018
© Прометей, 2018

Содержание

Предисловие редактора	6
Введение	8
Глава 1. Глобальные экологические проблемы	9
Глава 2. Биосфера – «машина» циклов	15
Глава 3. Физика земных процессов	34
Конец ознакомительного фрагмента.	38

Александр Рыженков

Физика окружающей среды

Учебное пособие

Рецензенты:

доктор с.-х. наук *Г. В. Стадницкий*,
канд. физ. – мат. наук *А. И. Крупный*

© А. П. Рыженков, 2018

© Издательство «Прометей», 2018

Предисловие редактора

Диалектика научно-технического прогресса на современном этапе такова, что чем быстрее человечество (или какая-то группа его) хочет получить больше комфорта, используя и преобразуя природу, тем сильнее проявляются побочные или непредусмотренные, или отдаленные негативные последствия. Природе наносится вред, часто непоправимый. И поскольку человек – часть природы, то тем самым научно-технический прогресс из первоначально задуманного добра превращается и для человека в свою противоположность – зло. Прогресс требует жертв.

Так что же, назад к природе? Или, как в движении луддитов – если введение машин ухудшило положение рабочего, то ломай их машины? Не строить атомных электростанций, не производить новых химических веществ, не пользоваться минеральными удобрениями, не проводить мелиорации и т. п.?

Помочь студенту ВУЗа найти пути к ответу позволяет предлагаемая книга. Автор – специалист в области термодинамики органических кристаллов раньше, вероятно, относился к экологическим проблемам «как все». Последние 30 лет он серьезно занимается вопросами образования в области окружающей среды. Специальная подготовка и получение уникальной в наши дни специальности «инженер-эколог» дали автору возможность не только страстно, но и профессионально бороться за правильное отношение к природе. Значение этой деятельности трудно переоценить. Предлагаемая читателю книга является закономерным этапом в этой работе. Насколько нам известно, учебное пособие под таким названием выходит впервые. После внимательного чтения книги можно сделать несколько определенных выводов.

Во-первых, экологические проблемы достигли такой остроты, что, не повлияй на них сейчас, они способны привести человечество к гибели. Наверное, экологическая опасность в 80-х годах нашего века действительно является второй после ядерной опасности, и, во всяком случае, ее проблемы острее в нашей стране, чем проблемы продовольственная, национальная, социально-бытовая и другие, которые последнее время нас очень тревожат.

Во-вторых, экологические проблемы планеты не решить в рамках одной или нескольких стран, даже самых крупных и мощных, и даже в рамках объединения всех стран одной социально-экономической системы из-за их глобальности и дороговизны проектов по их решению. Мы медленно начинаем привыкать к новой формулировке о приоритете общечеловеческих ценностей, в частности ценности человеческой жизни, перед ценностями отдельных групп человечества. Пока непривычно звучит, что общечеловеческие интересы даже выше классовых, хотя мы ни в коей мере не откажемся от классового диалектического подхода к явлениям действительности.

В-третьих, экологические вопросы глубже узкопрофессиональных, и могут вступить с ними в противоречие. Их невозможно решить по наитию, «чутьем». Необходима специальная подготовка всех специалистов по экологии, чтобы не повторять трагедий Арала и Байкала и подобных. А ведь те, кто губил Арал и Байкал, наверняка руководствовались благими намерениями (по крайней мере, внешне), и инженерные решения, направленные на получение сиюминутной выгоды, были в основном скорее всего верными. Но этого оказалось мало. Во время ли мы спохватились?

Книга читается с интересом, будучи написана живым языком, в ряде мест используются неожиданные образы и обороты, а сквозь всю книгу проходит мысль о необходимости физического обоснования экологических проблем. Наверное, можно сделать упрек автору, что в ряде мест строгость изложения сделала уступку наглядности, доступности. Мы против такого упрека. Такая уступка действительно есть и служит значительно большей убедитель-

ности повествования. Что же касается, общего научного уровня пособия, то он примерно соответствует курсу общей физики ВУЗа. Книга заставляет задуматься о тех вещах, о которых мы зачастую думаем отнюдь не в связи с физикой. Один из параграфов гласит: «Физика очистных аппаратов» (!). Как?! Ни в одной голове против воли возникнет легкое недоумение (Что? Физика и... простите, канализация???). Неожиданно к нам в житейский комфорт придвигается вопрос передвижения материков. Далеко не безобидным для жизни на Земле оказываете лак «Прелесть» для укладки волос красавиц и другие «аэрозоли» (кстати, оказывается с точки зрения физики вовсе не аэрозолями). Еще раз оказывается, что физика жить не может без химии, биологии, географии и других наук.

Наверняка можно отыскать проблемы экологии, которые в книге не затронуты. Наверняка через несколько лет часть материала окажется устаревшей и обязательно возникнут новые вопросы. Это ставит перед автором задачу не бросать разработку проблемы с выходом данной книги. Много лет назад за некоторые мысли автора можно было бы и наказать (не по-сталински, так по-брежневски). А сейчас жизнь меняется так динамично, что эти мысли стали не только «разрешены», но необходимы. С этой точки зрения книга, которая вряд ли бы вышла до 1985 г., является пусть скромным, но вкладом в перестройку. Книгу с пользой для себя прочтут не только студенты педвузов, но и широкий круг читателей.

Б. Д. Корешков

Введение

Экологизация учебных дисциплин, рекомендованная Тбилиским (1977), Московским (1987) и Рио-де-Жанейро (1992) конгрессами по образованию в области окружающей среды, является частью мировой стратегии по развитию образования. Эта книга лишь часть в решении экологических проблем через изучение физики в школе и ВУЗе.

Воздействие человека на природу стало опасным не только из-за деградации окружающей среды, но, может быть, в большей степени из-за деформации ценностей, так как в оценке своих взаимоотношений с природой люди скорее склонны изменять природу, чем свои представления о цивилизации.

В таких условиях возникла необходимость в новом типе естественнонаучного знания, т. е. знания о той среде, в процессы которой включен человек и которая должна изображаться и изучаться вместе с человеком. К такому типу знаний относится формирование комплексов научного знания (академик П. М. Федосеев), включающих общественные, естественные и технические дисциплины, призванные служить теоретической основой для планирования, организации и осуществления практической деятельности.

Примером такого комплекса является социальная экология. Интеграция естественнонаучных и технических дисциплин с общественными науками происходит на основе экологизации тех и других и отражает новое явление – гуманизацию естественных и технических наук.

Идея о гуманизации естественных и технических наук была выдвинута достаточно давно, но стала привлекать к себе внимание и получила поддержку только в последнее время. Идея эта возникла в связи с тем, что развитие цивилизации способствует изоляции человека от природной среды. Жизнь человека проходит все в большей степени в искусственной среде техногенных ландшафтов, искусственных материалов и даже искусственно созданных эмоций. В этих условиях искусственная среда стала преобладать как объект изучения над естественной.

В изучении физики идея о гуманизации означает возвращение физики к изучению ее главного объекта – природы, так как в последние четыре десятилетия произошло заметное смещение физики к изучению объектов искусственной среды. Физика как бы отделилась от явлений в естественной среде и в том числе от человека.

Вследствие отделения наблюдателя от изучаемого объекта и фактов физика добилась успехов, но сама стала плохо контролируемой. Пример этого – трудности контроля над военной ядерной техникой, ядерной энергетикой и информационными технологиями.

Такое удаление физики от естественной среды как объекта исследования и изучения сложилось под влиянием потребительского характера современной технологии.

Экологизация и гуманизация физики, химии, биологии, технических дисциплин важны в двух аспектах: с одной стороны, это возвратит естественнонаучные дисциплины к изучению природы и взаимодействию ее с человеком; с другой – это основа для формирования экологической культуры и принципиально новой технологической политики рационального и разумного природопользования.

Эта книга вводит экологическое содержание в изучение физики как важный целевой и прикладной аспект. Материал предполагается использовать при изучении всех разделов физики от механики до ядерной физики, а также при разработке специальных и факультативных курсов.

Глава I. Глобальные экологические проблемы

Природа доставит нам всяческие блага, если мы воздадим ей должные почести; на нас карает лишь тогда, когда мы отвернувшись от нее, мы начинаем кощунственно курить фимиам идолам, возведенным нашим воображением на принадлежащий ей трон.

К. Гольбах. Система природы

Мировая экологическая ситуация. XX век характеризуется вступлением в действие глобальных факторов, с которыми раньше человечество встречалось лишь в прогнозах философов или романах писателей-фантастов.

Глобальными эти проблемы считаются потому, что они затрагивают жизненные интересы всех народов и требуют для своего решения усилий всего человечества. От этого зависит ответ на главный вопрос: быть или не быть человеческой цивилизации[1]?

Обычно эти проблемы формулируют кратко, располагая по порядку важности: проблема ядерной войны, экологическая, демографическая, продовольственная, энергетическая, ресурсная.

Эти проблемы связаны между собой и взаимозависимы. Так, например, в прогнозах «Римского клуба», в высказываниях некоторых ученых и общественных деятелей, а также в исследованиях математических моделей биосферных процессов, сделанных в СССР под руководством академика Н. Н. Моисеева и группой профессора К. Сагана в США. Показано, что одним из последствий термоядерной войны будет неизбежная глобальная экологическая катастрофа.

Проблема окружающей среды, или, как принято называть ее в нашей печати, экологическая относится к числу наиболее важных. В последнее время, когда появилась надежда на ликвидацию ядерного оружия. Эта проблема выдвигается на первое место и от ее решения зависит судьба человеческой цивилизации.

Экологическую ситуацию обычно представляют в виде списка техногенных аварий и катастроф. Недостаток такого списка заключается в том, что он очень длинный, перемешаны локальные и глобальные события, крупномасштабные и мелкомасштабные. В таком списке трудно ориентироваться, с трудом прослеживаются причинно-следственные связи. Из этого может возникнуть ощущение беспомощности и неспособность действовать.

Глобальную экологическую ситуацию (ГЭС) с позиций методологии научного познания можно представить в виде системы взаимосвязанных блоков.

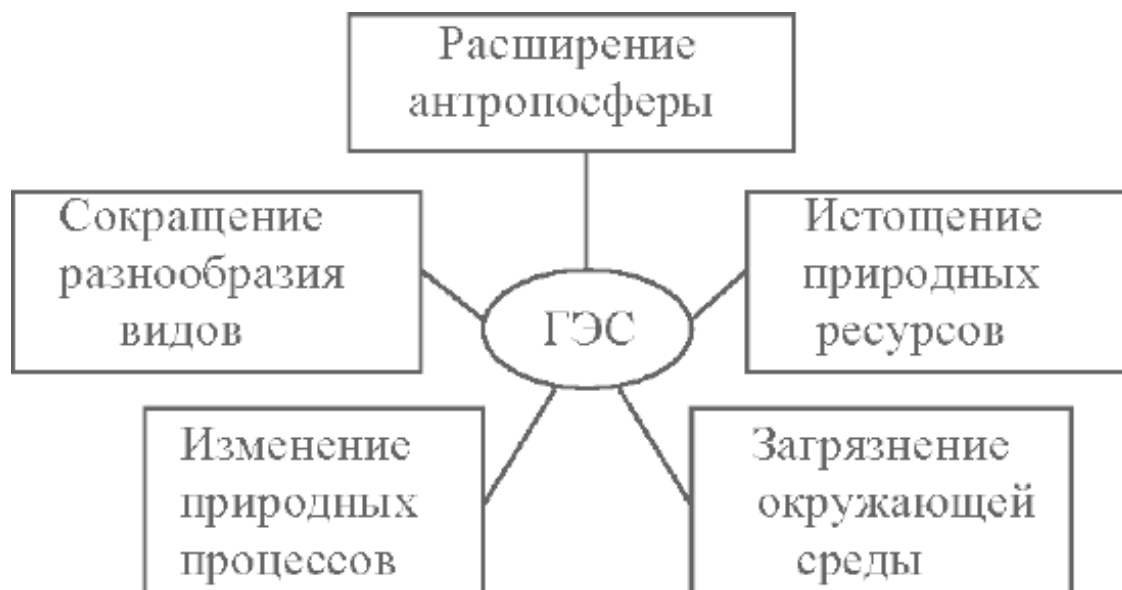


Рис. 1. Компоненты глобальной экологической ситуации

В такой системе факты группируются в блоки явлений, устанавливаются причинно-следственные связи между явлениями и представитель любой профессии может найти свое место и способ действия.

В этом анализе удобно выделить две части:

- 1) общие черты экологической ситуации и
- 2) ее причины.

Расширение антропосферы. Из схемы ГЭС следует, что первопричиной изменений в окружающей среде является расширение области человеческого обитания и деятельности (антропосферы). Этот процесс, в свою очередь, характеризуется динамикой увеличения численности населения.

Таблица 1

Рост населения Земли (млрд. чел.)

Год	1830	1930	1960	1975	1986	1999	2011
	1	2	3	4	5	6	7

Видно, что прирост населения на 1 млрд. с начала XIX века занимал 100 лет, в конце XX, начале XXI века такой же прирост происходит за 11–15 лет. Такая динамика характеризует экспоненциальное развитие. В реальных условиях системы с таким типом развития быстро теряют устойчивость и разрушаются.

Истощение природных ресурсов. Большое население с таким стремительным ростом требует для своего обеспечения огромного количества материальных и энергетических ресурсов. По некоторым оценкам потребление ресурсов за последние 15–20 лет равно количеству ресурсов, израсходованных человечеством за всю предыдущую историю. Поскольку расходуются в основном исчерпаемые ресурсы, возникла перспектива их быстрого истоще-

ния. Для нефти и урана 235 предел экономически эффективной добычи находится в пределах около 30 лет.

Особенность проблемы ресурсов связана с очень низкой эффективностью их использования из-за огромного количества потерь в технологической цепочке от их добычи до пользователя. Этот коэффициент оценивается специалистами около 3 %.

Загрязнение окружающей среды. Огромные масштабы потребления ресурсов с низким коэффициентов использования определяют гигантские масштабы выбросов материалов и энергии в окружающую среду. Так по оценке экспертов Римского клуба эмиссия промышленных газов в 1975 году составлявшая около 20 млрд. тонн к 2000 году увеличилась почти в 3 раза. Такое соотношение по их оценкам характерно почти для всех видов выбросов.

Таблица 2
Производственные и бытовые выбросы [2]

Виды выбросов в мире, млн.т.	1975 г	2000 г.
Газы: CO, CO ₂ , NO ₂ , SO ₂	19 706	50 759
Твердые частицы в атмосфере	241	721
Твердые неорганич. отходы	5 000	15000
Органич. отходы с/х и быта	14 110	37370
Стоки производства, быта	140 000	9470000
Нефтепродукты	69	244

По данным таблицы можно сделать важные выводы.

Изменение природных процессов. Расширение территории антропосферы и выбросы гигантского количества материалов и энергии антропогенного происхождения во все составляющие биосферы не могло не повлиять на происходящие в ней природные процессы. Результат этого: изменение *радиационного баланса земли и нарушение естественного «парникового эффекта»*, повышение средней температуры земли более чем на 1 °С за последние 50 лет (беспрецедентное в геологическом масштабе времени), изменение динамики распределения глобальных ветров; изменение распределения влаги в атмосфере; деградация озоносферы и тому подобное. Особое беспокойство вызывает тенденция к необратимости в некоторых из таких изменений. Долгая дискуссия о причинах быстрого потепления климата планеты привела к тому, что большинство специалистов климатологов пришли к заключению об антропогенном происхождении этого явления [2].

Сокращение биоразнообразия. Из неполного перечня явлений, характеризующих четыре составляющих, с очевидностью следует изменение природной среды обитания живых организмов. Расширение антропосферы ведет к сокращению ареала обитания многих видов животных и растений. Изменение факторов среды, например, температуры, акустического фона, мощности светового потока приводит к тому, что ограниченная приспособляемость животных и растений к изменению внешних условий ведет к их деградации и исчезновению.

Научно-технический прогресс и его роль в экологической ситуации: плюсы и минусы. Успехи науки и физики в особенности всегда обеспечивали продвижение общества на пути прогресса. Однако, использование этих достижений не всегда происходило во благо общества. Двигатели внутреннего сгорания и электромагнитные, динамит, ядерная энергия, лазер, полупроводники, с одной стороны, облегчали наш труд, делали жизнь лучше, а с другой они стали основой для создания небывалой по мощи машины уничтожения и небывалого загрязнения окружающей среды.

Из опыта развития цивилизации мы знаем, что наука была и пока остается одновременно и инструментом и оружием в руках человека.

Исключительно важной становится задача формирования новой культуры в использовании достижений научно-технической революции.

По отношению к природе основой этой культуры является принцип рационального природопользования.

Реализация этого принципа требует формирования принципиально новой технологической политики в переводе промышленного и сельскохозяйственного производства на мало – и безотходные технологии и полное использование вторичного сырья.

Возможность такой технологии была предсказана Д. И. Менделеевым, который указывал, что в производстве не может быть отходов, т. к. отходы одного производства должны быть сырьем для другого.

Успехи современной физики, химии, биологии уже сейчас позволяют осуществить эту идею. Стимулы по применению ресурсосберегающих технологий определяются их истощением и увеличением стоимости. В качестве примера таких технологий можно привести обработку металлов выдавливанием, использование золы и шлака ТЭЦ для производства цемента, лазерную резку металлов, метод 3D печати изделий, производство биогаза из отходов животноводства, использование экологически чистых источников энергии.

Это частные примеры нового явления – экологизации производственной деятельности и быта человека, получившего название «новой НТР». В связи с этим появилась точка зрения, что «социальная экология» это новая наука, возникшая как теоретическая основа «новой НТР».

Возникновение «социальной и глобальной экологии» это проявление процесса осознания человеческим обществом ответственности за последствия агрессии в природу. В оценке этого явления, пожалуй, более прав Ф. И. Гиренок, который считает, что «социальная экология не научная дисциплина, а обозначение нового мыслительного пространства, в котором результаты разнородных дисциплинарных исследований интерпретируются и понимаются под одним, но не дисциплинарным углом зрения [3]. Появление глобальной или социальной экологии отражает необходимость понимания природы не с точки зрения физика, биолога или химика, когда фундаментальность и целостность природы ускользает от исследователя, а восприятие ее как единого целого. Начавшуюся в конце XX века экологизацию естествознания можно рассматривать, как одну из форм развития единой науки о человеке и природе. Не следует думать, что этот процесс приведет к ликвидации дифференциации наук и возникновению интегральной науки о природе. Это не произойдет. Физика останется физикой, изменится только предмет исследования физики. Кроме привычных для физика параметров окружающей среды: давление, температура, напряженность электрического и магнитного полей и других величин, описывающих процессы в окружающей среде. Необходимо учитывать влияние антропогенного фактора на эти величины.

Современная физика, имеется в виду учебная дисциплина, в значительной степени ушла от изучения своего первоначального объекта аристотелевских и даже более поздних времен – явлений природы. Физика школьных и вузовских учебников рассматривает, в

основном, локальные явления в искусственной среде: поведение газа в замкнутых объемах, движение зарядов в электрических цепях, магнитные поля проводников с током, реакции в ядерных реакторах и т. п. Особенно это заметно на иллюстративном материале, весь он базируется на применении физических явлений и законов в технике.

Можно сказать, рискуя встретить резкую критику, что физика во все большей степени становится служанкой НТР. Из ее внимания практически выпали явления в естественной среде и, совершенно полностью, в биосистемах.

У школьников и студентов в связи с этим стало складываться впечатление о природе как о среде, существующей отдельно от человека, а следовательно, и не стоящей большого внимания.

Отсюда появилось заниженное представление о ценности природы. Таким образом, начиная со школьной скамьи, мы сознательно, хотя и невольно, формируем потребительское отношение к природе. Аналогичные упреки можно отнести и к современной химии. Возникает вопрос, а правильно ли мы называем сейчас эти науки естественными?

Достижения физики конца XIX – начала XX века явились основой современной НТР, началом которой принято считать 40–60-е годы двадцатого столетия. С этими годами связано бурное развитие энергетики, средств транспорта и связи, ядерной военной техники и т. п. Нет необходимости разяснять, что в основе этих отраслей человеческой деятельности заложены великие физические открытия, связанные с именами Фарадея, Максвелла, Резерфорда, Капицы, Бора, Бардина, Ландау, Басова, Прохорова, Таунса и других физиков.

Таким образом, физика, которая явилась основой современной технологии, оказалась в начале антропогенного воздействия на окружающую среду. Экологизация физики становится необходимым этапом развития, науки и образования для того, чтобы гармонизировать взаимоотношения человека с природой. Стоит заметить, что обычно в литературе обходится стороной вклад физики в развитие военной техники и влияние этого на НТР. Влияние это огромно, поскольку эта техника забирает у человечества лучшие материальные и интеллектуальные ресурсы. Именно эта техника ответственна в значительной степени за проявление неимоверного расточительства природных ресурсов, так как гонка вооружений заставляет противостоящие стороны постоянно спешить, чтобы оказаться уже если не впереди, то по крайней мере не сзади партнера. В такой гонке не до сохранения природных ресурсов.

В этой связи особенно значительно выглядит инициатива СССР, приведшая в 60-х годах к запрету ядерных испытаний в атмосфере и на земной поверхности, и продолжающиеся сейчас усилия по полному запрету всех ядерных испытаний и ликвидации ядерного оружия.

Экологизация учебной физики означает: 1. введение в предмет ее изучения явления природы в атмосфере, гидросфере, литосфере и космосе; 2. изучение физических методов наблюдения за состоянием окружающей среды; 3. изучение физических процессов, происходящие при вторжении искусственной среды в естественную; 4. изучение физических методов защиты окружающей среды; 5. изучение физических методов рационального природопользования, мало – и безотходных технологий; 6. изучение физических основ в создании экологически чистой энергетики и транспорта.

Такой подход вернет на свое место истинную ценность природы и жизни как главные ценности. С полным правом к такому подходу можно применить и термин гуманизация науки. Экологизация дисциплин естественнонаучного цикла будет способствовать сближению естественных и общественных наук.

Необходимость решения глобальных проблем заставляет рассматривать экологизацию естествознания, и физики в частности, не как внутреннее дело науки, а как определенную закономерность в развитии цивилизации.

Положительного эффекта в этом процессе можно достичь только при знании, как минимум, основ фундаментальной экологии. Следующая глава знакомит читателя с базовыми законами и понятиями этой новой для не биологов науки.

Глава 2. Биосфера – «машина» циклов

*Родная земля – самое великолепное, что нам дано для жизни.
Ее мы должны возделывать, беречь и охранять всеми силами своего
существа.*

К. Паустовский

Элементы экологии. Наука, изучающая взаимодействие живых организмов с окружающей средой – экология получила свое название от др. греческих *οἶκος* – обиталище, дом и *λόγος* – наука.

Составляющие окружающей среды, специфические для данного вида живого организма, обеспечивающие его развитие и воспроизводство характеризуют экологическую нишу этого вида. Такой нишей могут быть океан, опушка леса, капля воды. Совокупность неорганической основы, климатических условий (*экотоп*) и живых организмов (*биоценоз*) представляет *экосистему* (рис. 2). В экотоп входят климат, вода, почва, элементы ландшафта, воздух. Биоценоз составляют живые организмы, (зооценоз), растения (фитоценоз) и микроорганизмы (микробиоценоз). Для полноты компонентов составляющих экотоп, необходимо включить солнечное излучение, электромагнитный и акустический фон, а также, космическое излучение. Биоценоз и экотоп эволюционируют, воздействуя друг на друга через систему связей. Эти связи показаны стрелками, и механизм этого взаимодействия и представляет предмет экологии.

Стрелки-связи показывают направление потоков перетекания энергии и вещества поддерживающих устойчивое биологической и физическое состояние экосистемы.

Большой вклад в развитие экологии внес академик В. И. Вернадский. Он расширил ее границы, введя в систему связей экосистемы человеческий (антропогенный) фактор и понятие о ноосфере. Он определил ноосферу как совершенно новый объект научного познания, так как «это не просто общество, существующее в определенной среде, служащей пассивным поставщиком вещества и энергии и сохраняющейся в самой себе равном состоянии. Это нечто иное, целое, в котором сливаются развивающееся общество и изменяющаяся природа, взаимодействующие самым тесным образом. Можно сказать, что здесь действуют особые закономерности, в которых сложнейшим образом переплетаются законы неживой и живой природы, законы общества и законы человеческого мышления» [4].

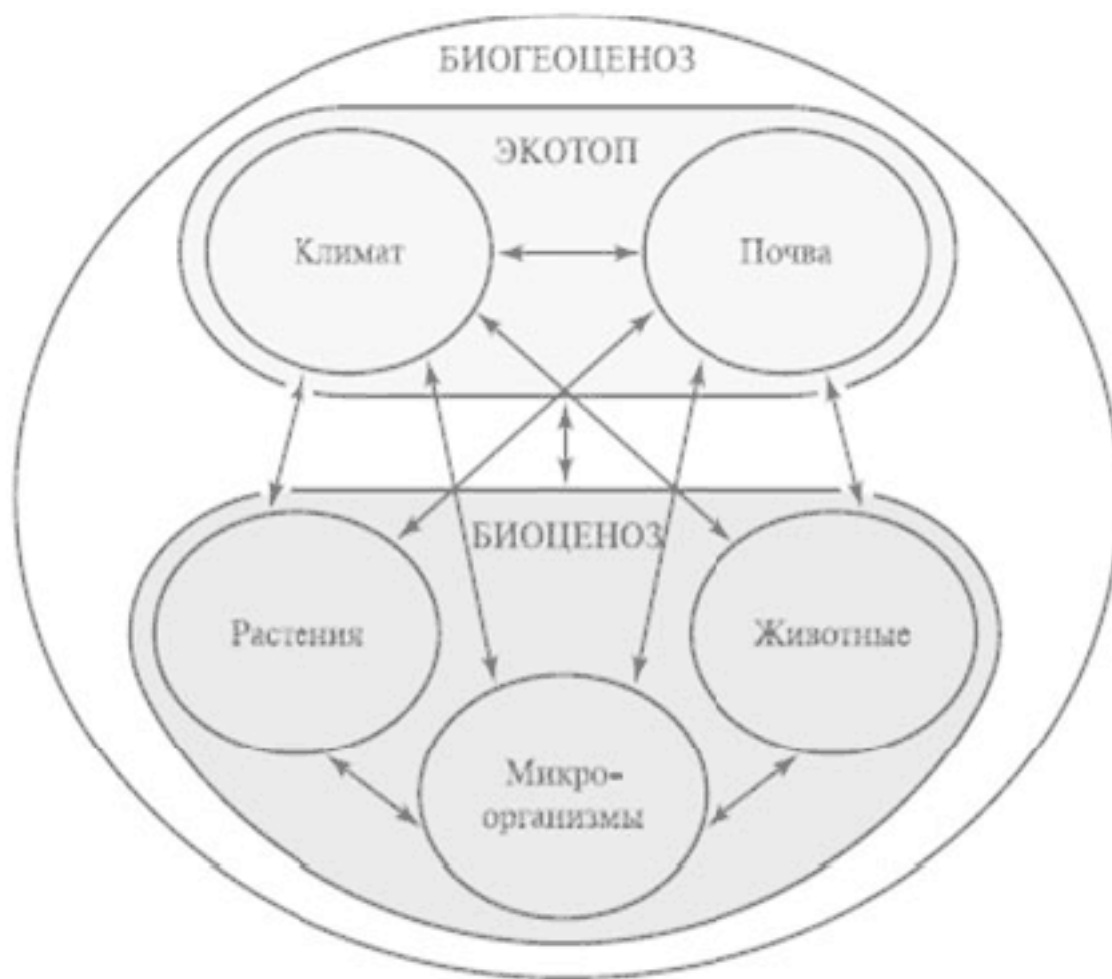


Рис. 2. Схема экосистемы

Явления, происходящие в биосфере, взаимоотношения между частями биосферы и экосистем и внутри каждой из них подчиняются определенным закономерностям и могут быть описаны в виде законов. Законы эти в отличие от физических трудно формализуются, может быть, в силу большой сложности описываемых явлений, а может быть, потому, что физика и биология пользуются разными представлениями о структуре окружающего пространства.

Биосфера, по определению В. И. Вернадского, это живая оболочка Земли, область распространения жизни. Нижняя граница биосферы – донные отложения океана, верхняя граница – озоновый экран, выше которого ультрафиолетовое излучение исключает существование живых организмов. Реально верхняя граница проходит на высоте 5–6 тыс. м., там, где в скалах могут обитать лишь мхи и микроорганизмы. Таким образом, толщина биосферы составляет около 15 км. В сравнении с радиусом Земли это очень малая величина, а на модели Земли, например, с радиусом в 1 м она будет выглядеть, как тончайшая пленка толщиной $0,2 \times 10^{-3}$ м. Так же она и представляется космонавтам, их всегда удивляет наблюдаемая тонкость атмосферы.

Рассмотрим основные элементы биосферы – воду, воздух, почву теперь с позиций экологии как среду и ресурсы, обеспечивающие жизнь на Земле.

Круговорот воды в биосфере. Вода это составная часть всех элементов биосферы – не только водоемов, но и воздуха, почвы, живых существ, в которых под влиянием энергии Солнца и жизнедеятельности поддерживается определенный баланс воды. Механизм, под-

держивающий этот баланс – *круговорот воды*. Мировой баланс воды – величина довольно стабильная, на что еще обратил внимание Аристотель в «Метеорологии». Балансы отдельных элементов биосферы, например континентальных и океанских вод, непостоянны из-за изменения режима осадков, связанных с глобальными изменениями климата (ледниковые периоды). Для существования жизни и развития человеческой цивилизации наиболее важно частью в этом балансе являются пресные воды, которые составляют речной сток, содержатся в озерах и подземных горизонтах, 85 % пресной воды планеты сосредоточено в ледниках.

Ежегодный объем воды, который может использовать человечество, составляет 37,3 тыс. км³ (речной сток) и часть подземных вод, запасы которых – 13 тыс. км³. Сами по себе эти цифры ничего не говорят, кроме того, что это большие величины. Для их оценки необходимо сравнить их с потребностью человечества в воде. Из имеющихся данных по расходу воды (в км³) на 1975 год [5] видно, что потребности уже сравнимы с природными запасами.

Таблица 3
Потребление воды, 1975

Мировое потребление воды	км ³ /год
Сельское хозяйство	7000
Промышленность	1700
Бытовые нужды	600
Разбавление сточных вод	9000
Разбавление сточных вод	400
Итого	18700

С учетом быстрого роста населения и уровня загрязнения вод прогноз об исчерпании запасов пресных вод в мире в начале XXI века представляется вполне реальной. Потребность в воде в настоящее время не удовлетворяется у 20 % городского и 15 % сельского населения мира.

Вода на суше распределена неравномерно, огромные площади занимают вододефицитные земли: аридные, пустыни, полупустыни. Не всегда вода имеется там, где располагается потребитель. Например, в СССР из 1000 км воды, пригодной для потребления, только 20 % располагалось там, где потребность в ней самая высокая. Усложняют водоснабжение и сезонные изменения стока вод в периоды паводков и половодий. Речной сток измеряется в м³/с и характеризуется гидрографом. Сток характерный для рек европейского типа, например, как Луара во Франции, изменяется от 50 м³/с в зимнее время до 4000 м³/с во время паводков.

Знание гидрографа рек важно для планирования хозяйственного водопотребления, особенно в энергетических целях. Для человека паводки представляют значительное неудобство, а порой и опасность. Однако, нужно знать, что паводки играют большую роль для здоровья самой реки и всех ее обитателей. Зарегулирование рек дамбами и плотинами изменяет речной сток и наносит большой ущерб экосистемам рек. К сожалению, не подсчитыва-

ется соотношение между ущербом, нанесенным реке строительством ГЭС и энергетической выгодой. Не исключено, что в ряде случаев расчет окажется не в пользу ГЭС.

До появления биосферы круговорот воды в природе осуществлялся только за счет испарения поверхностных вод водоемов и суши. В этом процессе существуют два круговорота: *малый*, в котором испарившаяся вода проливается прямо над океаном, и *большой*, когда облака уносятся ветром в сторону суши и пролившиеся дожди возвращаются в океан в виде поверхностного и речного стока (рис. 3).

В среднем, в год с поверхности всех водоемов испаряется около $0,5 \text{ млн. км}^3$ или $0,5^{15}$ т. Более 90 % этого количества возвращается в океан с атмосферными осадками и лишь 10 % выпадает в виде осадков на поверхности материков. В некоторых конкретных случаях количество испаренной воды и скорость испарения столь велики, что не восполняются поверхностными стоками. Например, сток воды в Средиземное море не восполняет количества воды испаренной с его поверхности, поэтому в Гибралтаре течение направлено всегда из Атлантики. Речная вода обновляется за счет испарения с циклом в 10–12 суток.

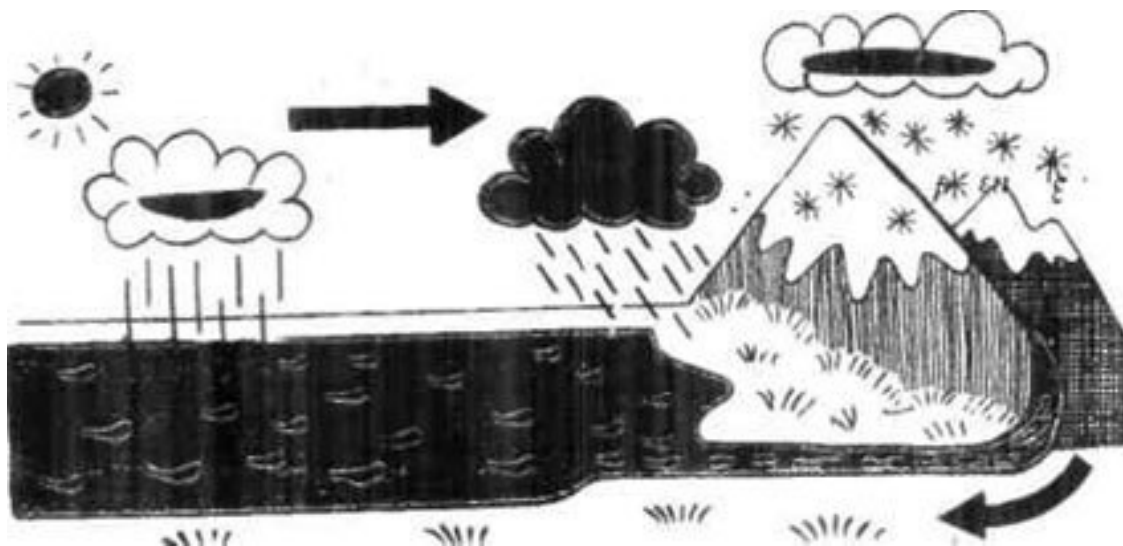


Рис. 3. Большой круговорот воды

Современный круговорот воды происходит с участием биосферы и человека. Цикл его таков: вода, испаренная с поверхности водоемов, почвой, растениями, животными, конденсируется, образуя облака, и выпадает в виде осадков. Часть ее попадает в водоемы непосредственно, часть питает подземные воды, часть потребляется животными и растениями и возвращается опять в мировой океан уже как продукт жизнедеятельности.

Сравнение двух круговоротов воды показывает, как усложнилась структура круговорота включением в него биоценозов и человека. Транспирация или дыхание растений и животных, внесло очень заметный вклад в водный цикл. Так, с единицы поверхности леса испаряется значительно больше воды, чем с такой же поверхности моря. Количество испаренной воды зависит от вида растений и типа почвы – сухая она или влажная. Подсчитано, что с гектара березового леса ежедневно испаряется 47 000 л воды, с гектара елового леса около 43 000 л. В среднем с гектара леса в год испаряется от 2000 до 6000 м^3 . Из этих данных можно с уверенностью сделать вывод о зависимости количества осадков в какой-либо местности от растительности.

В исследованиях ученого А. П. Бочкова показано, что сток небольших лесных районов на 50–95 % выше стока открытых безлесных районов. Из этого правила почти с очевидностью следует, что нынешняя трагедия в Сахеле (Южная Сахара), почти полное исчезновение

воды не что иное, как продукт человеческой деятельности. Увеличение скотоводства привело к исчезновению растительности, а это в свою очередь, уменьшило испарение и соответствующие ему осадки. Локальные водные циклы на Севере Африки оказались разорванными руками человека. Похожие явления стали наблюдаться и в нашей стране в Калмыкии и на юге Украины в связи с постоянным уменьшением растительного покрова.

Антропогенное нарушение водных циклов. Единственным нарушителем круговорота природных вод является водопотребление обществом. Главные потребители пресной воды: сельское хозяйство, промышленность, сфера быта. Потребление воды зависит от соответствия расселения характеру потребности, уровня экономического развития и общей культуры людей. Однако, растущее использование воды с низкой эффективностью и продолжающееся во все больших масштабах загрязнение указывают на то, что человечество очень далеко от понимания важности *водной проблемы, растут гигантские уровни потребления и загрязнения.*

Наиболее водоемкие производства: металлургическое, целлюлозобумажное, сельскохозяйственное, пищевое.

Потребность в воде для производства 1 тонны продукции колеблется в очень широких пределах (таблица 4).

Таблица 4
Потребность в воде для производства 1 т

Продукция	м ³
Прокат черных металлов	300
Прокат цветных металлов	500
Каучук	2 100
Лавсан	4-200
Капрон	5 600
Бумага	1 000
Пшеница	1 500
Хлопок	10 000

Любое производство и потребление связаны с отходами т. е. загрязнителями. Резко выросло в XX веке производство и потребление продуктов с органической основой: горюче-смазочные материалы, изделия из пластмасс, моющие средства, косметика и продукты питания.

Количество органических отходов в мире (таблица 2) велико и велика динамика их роста. Значительная часть их попадает в воду, где их разложение происходит в процессе окисления и под действием микроорганизмов. Для этого расходуется кислород, растворенный в воде. При незначительном количестве сбросов срабатывает механизм самоочищения, если отходов много, содержание кислорода в воде резко падает, вода загнивает и зарастает сине-зелеными водорослями, которые еще более снижают содержание кислорода. Процесс увеличения биогенных и органических веществ в воде – *эвтрофикация.*

Возможность самоочищения вод оценивается показателем ВПК (биологическая потребность в кислороде), который указывает количество кислорода в миллиграммах, необходимое для окисления 1 г вещества за 1 час.

Наиболее ощутимо нарушение круговорота воды сельским хозяйством. Орошаемое земледелие занимает около 17 % всех обрабатываемых площадей. Все рисоводство и 70 % хлопководства требуют интенсивного орошения.

Расширение сельскохозяйственного производства, особенно при орошении и привело к увеличению забора воды из рек. Более 1/3 стока таких рек, как Дон, Днепр, Днестр разбирается по пути к морю, воды Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи практически не доходят до Аральского моря. Из-за уменьшения притока пресной воды и увеличения сброса сточных вод резко уменьшились рыбные запасы Аральского моря.

Забор воды из Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи привел к экологической катастрофе в бассейне Аральского моря и поставил под угрозу благосостояние и даже жизнь людей, населяющих приморскую зону. Уровень моря упал почти на 13 метров, вода отступила от берегов на десятки километров, а в южной части до 100 км. Все это привело к возрастанию солености моря, уменьшению осадков, опустыниванию и засолению земель в районе Арала. Изменилась климатическая ситуация. Раньше Арал, представлявший огромный аккумулятор тепла, формировал стабильные тепловые конвекционные потоки, поднимавшие вверх холодные воздушные массы, приходящие с Севера (рис 4). Холодный и влажный воздух достигал Памира и выпадал в виде дождя и снега, питая ледники и реки. Теперь эти потоки не в полной мере достигают Памира, так как над Аралом нет прежних мощных восходящих потоков. Некоторые специалисты считают, что Аральское море спасти не удастся и оно обречено на быстрое вымирание. В 1988 году вышло постановление правительства СССР о мерах по коренному изменению экологической обстановки в районе Аральского моря, была создана специальная комиссия по контролю за реализацией этого постановления.

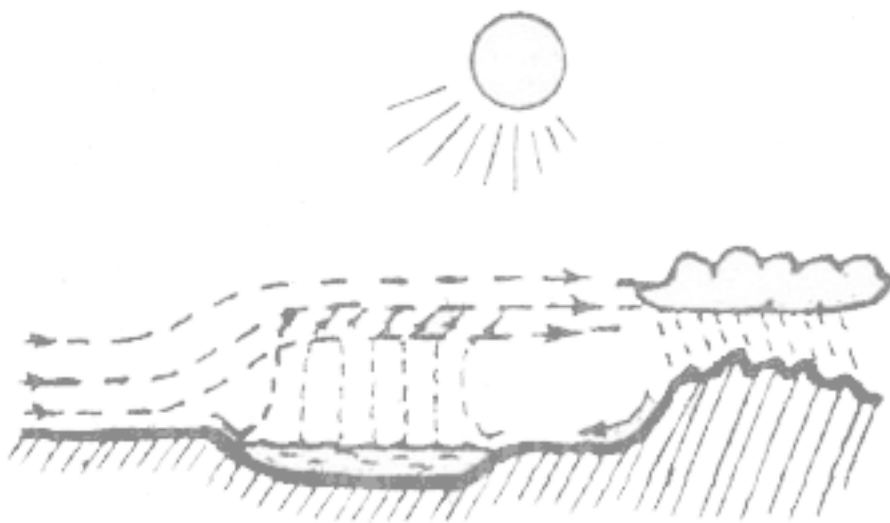


Рис. 4. Водный цикл Арала

Бытовое водопотребление тоже довольно значительно, особенно в Токио, Мехико, Сан-Пауло, Москве, Нью-Йорке и других многомиллионных городах. Нагрузка на водные ресурсы зависит в основном от технологии и культуры потребления. Дефицит воды, например, в Москве, связан с неоправданной расточительностью и загрязнением. Во всех городах значительно превышены рациональные нормы расхода воды на одного жителя в сутки – 125–350 л. В 1980 г расход на одного жителя в сутки составлял: Минск – 283 л, Таллинн – 428, Ленинград – 456, Москва – 593, Душанбе – 564, Ташкент – 811. В европейских городах жители укладываются примерно в 270 л, Потери воды вместе с другими причинами связаны и с отсутствием надежных и простых расходомеров. Кстати, это серьезная и интересная работа для физиков и инженеров, разработать такой расходомер.

В перечень водопотребления обычно не включают энергетику. Это неверно. Во-первых, происходит тепловое загрязнение сбросами ТЭЦ, во-вторых, нарушается режим рек плотинами гидроэлектростанций и увеличивается испарение с поверхности водохранилища. Площадь всех искусственных водохранилищ России примерно равна территории Франции! При таких масштабах «покорения природы» не стоит удивляться чудесам погоды последних лет.

Круговорот вещества в атмосфере. Воздух одна из основных составляющих окружающей среды. Важную роль для жизни играет состав воздуха и физические процессы переноса вещества и энергии в форме круговоротов. Воздух состоит из газов: азот 78.084 %, кислород 20.948 %, аргон 0.934 %, другие и паров воды.

Кислород появился на Земле примерно 2 миллиарда лет тому назад, когда проходило активное формирование поверхности при активной вулканической деятельности до того еще, как произошло разделение материков из праматерика Пангеи, согласно гипотезе Вегенера. Возрастание доли кислорода до современной в 21 % происходило в течение последних двадцати миллионов лет. Главную роль в этом играло развитие растительного мира суши и океана. Содержание кислорода в воздухе определяет границу жизни для растений и животных, по вертикали это приблизительно 4000 метров.

Кислород образуется в результате фотосинтеза органических продуктов в растениях.



При дыхании происходит реакция, обратная фотосинтезу.

В настоящее время пока наблюдается сохранение равновесия между производством кислорода и его потреблением.

Интенсивное потребление кислорода промышленностью, авто транспортом и авиацией вызвало опасения о нарушении баланса кислорода в окружающей среде. Опасения эти имеют под собой основания. Так, потребность в кислороде для пробега легкового автомобиля на расстояние 1500 км равна годовой потребности в кислороде одного взрослого человека! В целом кислородный баланс сохраняется, хотя возник ли его локальные нарушения вблизи больших промышленных центров и мегаполисов.

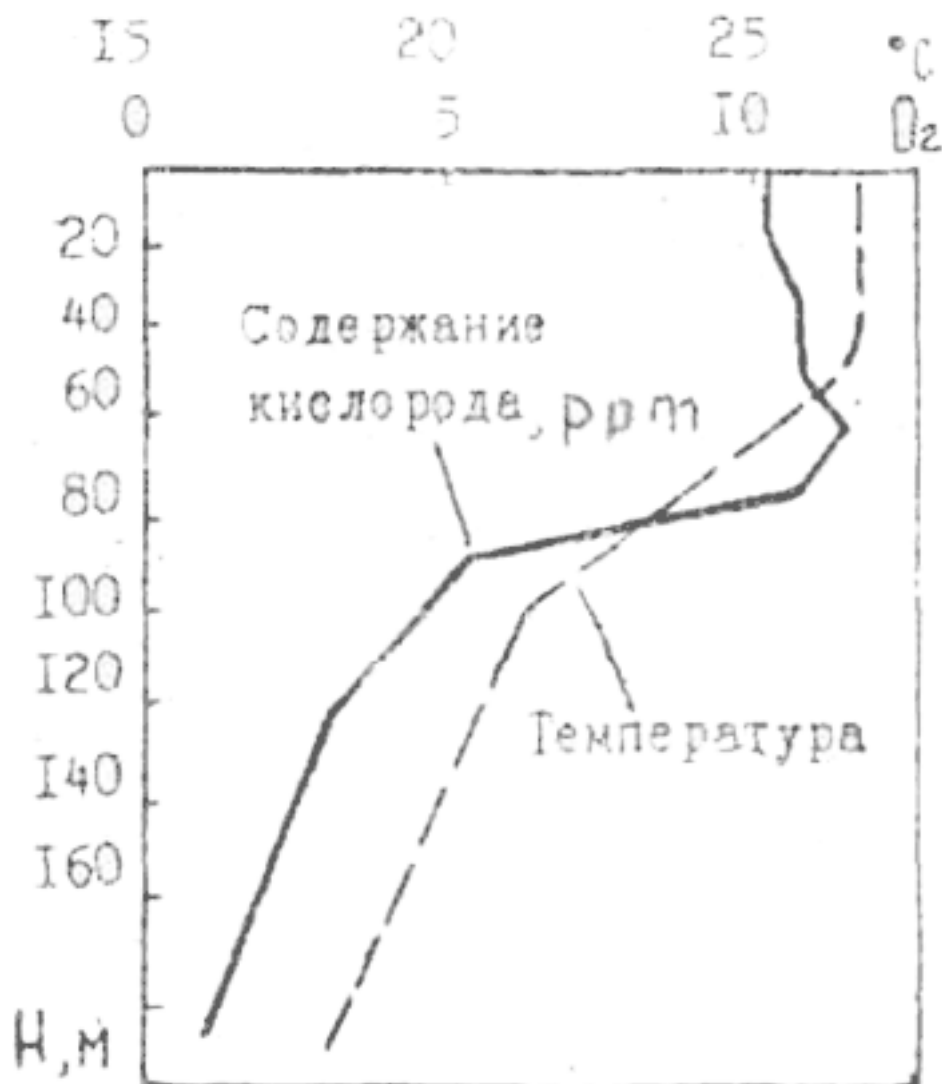


Рис. 5. Растворимость O_2

Круговорот кислорода. Круговорот O_2 очень сложный цикл из-за большого числа его участников. В него вовлечено большое количество представителей органического и неорганического мира, а также вода, растворяющая кислород. Кислород, содержащийся в литосфере в виде оксидов, в круговорот не входит. При нормальных условиях в 1 л воздуха содержится 210 мл кислорода, в 1 л воды 8–9 мл и его содержание зависит от глубины и температуры. На рис. 5, отчетливо видна корреляция растворимости O_2 с температурой. Содержание кислорода в воде зависит от его растворимости на поверхности и фотосинтеза водорослями. Загрязнение воды взвешенными частицами уменьшает ее прозрачность, увеличивает рассеяние света и снижает активность фотосинтеза. Для частиц, размеры d , которых сравнимы с длинами волн видимой части спектра ($d \geq \lambda$) величина рассеянного светового потока $\Phi_{\text{рас}}$ зависит от площади рассеивающей поверхности S частицы, пути светового потока Δx , концентрации рассеивающих частиц n .

$$\Delta\Phi_{\text{рас}} = \Delta S_{\text{пад}} n \Delta x$$

Содержание кислорода в воде является одним из параметров ее биологического здоровья. По данным замеров в большинстве водоемов Европейской части России эта величина ниже нормы.

Круговорот углерода. Предполагается, что углерод распределен в довольно тонком слое земной коры, в атмосфере в виде диоксида и оксида углерода, в животной и растительной биомассе. Однако, основные запасы углерода в природе содержатся в минералах и горных породах, в основном в форме карбонатов (CaCO_3) и гидрокарбонатов ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), представляющих собой растворимые и нерастворимые донные отложения в Мировом океане, накапливающиеся за миллионы лет геологической истории Земли. Этот процесс продолжается и в настоящее время. Углекислый газ, содержащийся в воздухе и воде, составляет запас углерода, участвующего в создании биомассы. Содержание CO_2 в атмосфере не стабильно, оно подвержено сезонным изменениям и наблюдается его увеличение, связываемое с антропогенным фактором.

Нужно заметить, однако, что прогнозируемый рост с учетом сжигания всех видов органических материалов, равный 0,7 (частиц на миллион) в год не совпадает с наблюдаемым 0,2. По-видимому, реальный круговорот углерода в природе гораздо сложнее той модели, которую мы себе представляем на рисунке 6.

В воде углекислый газ растворяется в 35 раз лучше, чем кислород и от его содержания в воде зависит количество растворённых гидрокарбонатов, т. е. жесткость воды. Этот факт хорошо иллюстрируется уравнением уголекислотного равновесия.



Если содержание CO_2 в воде уменьшается, то выпадает осадок нерастворенного карбоната, который будет растворен при восстановлении равновесия между углекислым газом и гидрокарбонатом.

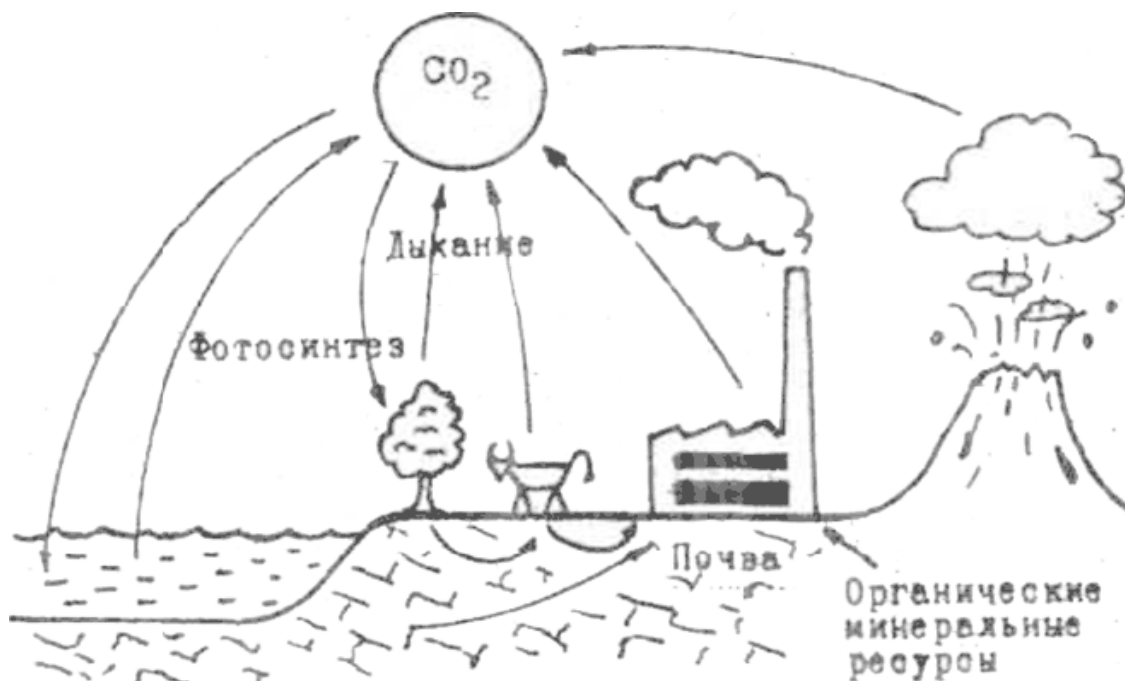


Рис. 6. Круговорот углерода

В технике и быту нарушение уголекислотного равновесия приводит к образованию накипи в котлах ТЭЦ, котельных и других системах, использующих воду. В природных условиях результатом этой реакции является образование полостей в земной коре, пещер, сталактитов и сталагмитов.

Круговорот вещества в почве. Роль почвы многообразна: с одной стороны, это важный участник всех природных круговоротов, с другой – это основа для производства био-

массы – кормилица человечества. Для получения растительной и животной продукции человечество обрабатывает около 10 % суши – часть, которую, как полагают специалисты, уже не удастся увеличить, несмотря на необходимость увеличения производства продовольствия в связи с ростом населения. Важность сохранения почв приобретает особую остроту, учитывая, что потеряно из землепользования больше половины используемых сейчас земель.

Почва – продукт разрушения верхних слоев земной коры, сформировавшийся в результате деятельности живых организмов. Почвовед В. И. Докучаев дал такую оценку «... почва есть такое же самостоятельное, естественно историческое тело, как любое растение, любое животное».

Разновидностей почв несколько тысяч, и это требует исключительно высокой грамотности при их использовании. Копая землю, можно заметить, что цвет почвы и ее структура меняются с глубиной от темного гумусного слоя к светлому песчаному или глинистому. Наиболее важен гумусный слой, содержащий остатки растительности. Этот слой определяет плодородие почвы. В наиболее богатых гумусом черноземах толщина его достигает 1 метра, в бедных – около 10 см.

Обрабатываются, в основном зональные почвы. Профиль почвы этого типа показан на рис. 7, где: 1 – гумусный слой, 2 – выщелоченная почва, 3 – глина, содержащая 3-х валентное железо, 4 – материковая порода в стадии разрушения. Физические характеристики каждого из таких горизонтов зависят от типа почвы. Из физических свойств наиболее важны: плотность, капиллярность, пористость, влажность, теплопроводность, поглощательная способность.

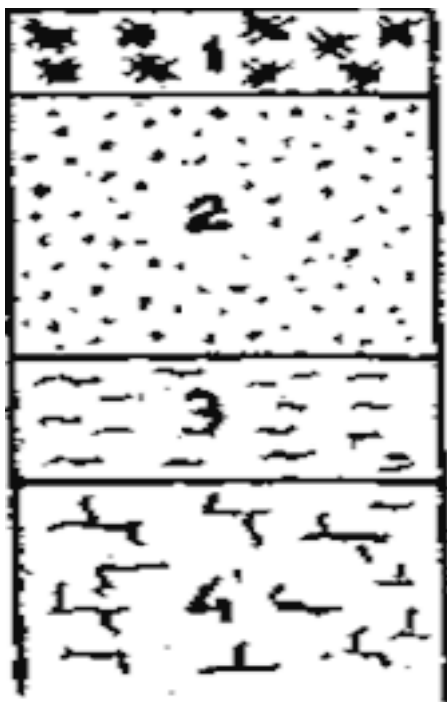


Рис. 7. Профиль зональной почвы

Благодаря большому количеству различных живых существ, перерабатывающих в почве остатки растительности и животных, формирующих структуру и продуктивность, почва является живым организмом, в котором идут процессы деструкции, синтеза, биосинтеза, множество различных химических реакций и физических процессов. Количество живой биомассы в почвах зависит от их типа и от внешних условий, таблица 5. Количество

почвы, переработанной дождевыми червями, весьма значительно: на одном гектаре пашни около 12 т в год и почти 100 т на огородной почве.

Таблица 5
Биомасса почвенных организмов

Вид организма	Количество биомассы, кг/га
Бактерии	1 000 — 7 000
Микрогрибы	100 — 1 000
Водоросли	10 — 300
Простейшие	5 — 10
Членистоногие	1 000
Дождевые черви	350 — 1 000

Деятельность микроорганизмов, преобразующих органические остатки, обеспечивает питание растений минеральными элементами. Биомасса растений образуется при потреблении минеральных солей, воды и солнечной энергии. Так, для роста соснового леса за 100 лет из одного гектара почвы изымается: кальция 424 кг, калия 168 кг, фосфора 33 кг. При выращивании культурных растений это потребление значительно больше: злаковые: 7000 кг азота, 1 3000 кг фосфора, 5000 кг калия, картофель: 9000 кг азота, 4000 кг фосфора, 16000 кг (!) калия.

Разница для естественных и искусственных культур обусловлена тем что выпавшие хвоя и листва в лесах частично компенсируют убыль элементов из почвы. При ежегодной уборке сельхозкультур эти элементы уносятся из почвы и, если их убыль не восполняется, почва теряет свое плодородие, происходит нарушение естественного круговорота минеральных веществ.

Интенсивное использование почв, особенно при монокультурном земледелии, нарушает естественный баланс веществ и потоки энергии. В природе этот баланс поддерживается периодической сменой растительности на какой-либо определенной площади. Эта сменность характеризуется *законом сукцессии*. Исключение севооборота при использовании земли является нарушением этого закона и приводит к обеднению почв и снижению плодородия. К сожалению, в нашей сельскохозяйственной практике закон сукцессии нарушался в течение десятилетий и урожайность наших полей в среднем почти в два раза ниже, чем в Швеции, где по своей природе земли беднее.

Компенсация этой потери внесением органических и минеральных удобрений эффективна только тогда, когда в почве имеются микроорганизмы, трансформирующие удобрения в доступную для растений форму. Для нормального развития растений необходим минимальный набор всех необходимых для растения питательных веществ: убыль одного не может быть компенсирована избыточным внесением другого. Это правило биологии называют *законом минимума*.

Охрана почв. Мировые запасы плодородных почв – 15 млн. км², а потери – 20 млн. км², причем около 40 % из имеющихся частично утратили плодородие. Цифры впечатляющие и требуют принятия мер по сохранению этого важного ресурса. Основной причиной потери почв является их эксплуатация человеком. Причин потерь и деградации почв несколько:

- ветровая и водная эрозия при механической обработке;
- отвод земель под строительство городов, предприятий, дорог и т. п.;

- затопление при строительстве ГЭС;
- загрязнение отходами производства и быта;
- закисление кислотными дождями;
- засоление при неграмотной мелиорации.

Особенно значительны потери почв и их плодородия из-за тотального единообразного применения традиционных методов механической обработки при глубокой вспашке. К наиболее значительным потерям это привело при освоении целинных земель в штате Техас (США), где пыльные бури 30-х и 70-х годов превратили в пустыни около 20 млн. га плодородных земель, унеся миллионы тонн чернозема за сотни километров в Мексиканский залив.

Аналогичному разрушению подвержены почвы и на территории бывшего СССР. Пыльные бури наиболее часто стали поражать степные районы Украины, Нижнего Поволжья, Северного Кавказа, Средней Азии, Казахстана, где ветер выдувает почву на глубину до 25 см. А. Иващенко [6] в очень профессиональном и эмоциональном очерке о проблемах земледелия пишет, что число пыльных бурь в Ставрополье за последние 100 лет увеличилось в 10 раз, а слой знаменитого чернозема толщиной в 1 метр (!), помещенный в Парижском институте мер и весов как эталон за последние 50 лет уменьшился в 2 раза. Известно, что на восстановления 1 см гумусного слоя требуется 50 лет!

Значительный ущерб запасу продуктивных почв, как ни странно для неспециалиста, наносит мелиорация, а точнее неразумное орошение. Водозабор из рек, осуществляемый в гигантских масштабах, не может не нанести ущерба экосистемам рек и тем районам, куда он направлен. Явление это сложное, и для его анализа и управления требуется научный подход с участием специалистов разных специальностей, в том числе и физиков. Пока, к сожалению, в деле мелиорации преобладает эмпиризм.

Наиболее показательная ситуация сложилась в Средней Азии в бассейне рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи в связи с превращением Узбекистана в район хлопковой монокультуры. Вода этих рек, взятая для орошения хлопковых полей, пополняется солями, химических препаратов и в таком отработанном виде сбрасывается в низины. Это привело к подъему подпочвенных соленых вод, засолению и заболачиванию миллионов гектаров плодородных земель.

Для решения этой проблемы имеется несколько путей: вернуть гармоничный характер сельскому хозяйству Узбекистана, рационально расходовать имеющиеся воды, использовать достижения современной науки.

Интенсивное применение химпрепаратов также привело к значительной деформации почвенных экосистем, так как химические соединения ударили прежде всего по живому миру почвы, превратив ее из живого тела в носителя искусственных минеральных удобрений и ядохимикатов.

Для повышения продуктивности почвы приходится вносить в нее элементы, забираемые сельхозкультурами: С, Н, Р, В, Са, К, Na и другие.

Особенно важны для активного развития растений и продуктивности азот и фосфор. Азота в почве содержится достаточно много, от 3 до 40 тонн на гектар. Однако он находится в труднодоступной для растений форме. Внося его в легкоусвояемой форме в виде солей аммония и нитратных солей, мы в то же время делаем азот легко вымываемым из почвы и выносимым в воздух. Подсчитано, что ежегодно с наших полей в атмосферу уносится 1,5 млн. тонн азота, что усугубляет тем самым проблему «озоновой дыры» и кислотных дождей.

Особую группу сельскохозяйственных препаратов представляют пестициды из которых гербициды предназначены для уничтожения сорняков, а инсектициды – насекомых. Молекулы ядохимикатов устойчивы и с трудом поддаются разложению, по этой причине наблюдается постоянное накопление этих соединений в биомассе Земли. Некоторые из них,

как ДДТ, севин, хлорофос чрезвычайно опасны. Так, ДЦТ обнаружен у 90 из 100 беременных женщин, несмотря на то, что запрет на его использование существует почти 40 лет; севин вызывает полную стерильность мужчин и женщин. Число этих соединений уже перевалило за 1000 и на их основе в мире выпускается более 80 тысяч продуктов.

Интенсивное применение химических удобрений и ядохимикатов может привести к необратимому ухудшению почвы.

Вместе с тем за рубежом, в России, на Украине, в Белоруссии имеются примеры ведения сельского хозяйства без применения ядохимикатов. Ряд хозяйств за рубежом уже получают сельхозпродукцию вообще без применения химпрепаратов, рекламируют это и продают ее по более высоким ценам.

Энергетика биосферы. Жизнь на Земле и ее многообразие обеспечивается работой уникальной «машины» биосферы, преобразующей солнечную энергию и рассеянные в окружающей среде элементы, в высокоорганизованную материю. Эффективность работы этой «машины» можно оценить, сравнивая количество поступающей энергии и получаемой продукции. Количество солнечной энергии, поступающей в течение года на 1 гектар поверхности в районах с умеренным климатом, равно примерно $4,2 \times 10^{13}$ Дж, количество биомассы, полученной в этих условиях, приблизительно равно 10 тонн пшеницы или 5–7 тонн прироста лиственного леса, что в энергетических единицах составляет около 34×10^{10} Дж. Из сравнения этих двух величин получается, что КПД биосферной «машины» равен приблизительно 1 %. Остальные 99 % солнечной энергии, достигающей поверхности Земли, отражаются растениями 35 % и 60–70 % расходуются на транспирацию (дыхание растений).

Энергия, преобразованная в биомассу, рассеивается дальше по звеньям трофической (пищевой) цепи. Растения являются первичным продуктом преобразования энергии и называются *продуцентами*, живые организмы, потребляющие растительную пищу представляют вторичный продукт этого процесса и называются *консументами* (от английского слова consumption – потребление); организмы, перерабатывающие отходы продуцентов и консументов, представляют собой класс *редуцентов*.

Таким образом, редуценты замыкают цикл преобразования энергии и материи в биосфере (рисунок 8).



Рис. 8. Преобразование энергии в биосфере

В каждом из звеньев трофической цепи происходит накопление и рассеяние энергии.

Мощность потока солнечной энергии, достигающий поверхности Земли, равен 1000 Вт/м^2 . Эта энергия, как показано в таблице, распределяется между многими видами движения органической и неорганической материи.

Таблица 6

Глобальные потоки энергии

Потоки энергии	Полная мощность, Вт
Поток на Землю вне атмосферы	$1.7 \cdot 10^{17}$
Поглощение земной поверхностью	$8.0 \cdot 10^{16}$
Расход на испарение	$4.0 \cdot 10^{16}$
Перенос тепла с экватора к полюсам атмосферой	$1.0 \cdot 10^{16}$
Перенос тепла с экватора к полюсам океаном	$2.0 \cdot 10^{15}$
Поглощение сушей	$2.0 \cdot 10^{16}$
Мощность испарения сушей	$5.0 \cdot 10^{15}$
Мощность фотосинтеза	$1.0 \cdot 10^{14}$
Гидро мощность рек	$3.0 \cdot 10^{12}$
Ветровая мощность	$1.2 \cdot 10^{14}$
Геотермальная мощность	$3.0 \cdot 10^{13}$
Приливная мощность	$1.0 \cdot 10^{12}$
Вся возобновимая мощность	$1.7 \cdot 10^{17}$
Доступная для использования	$5.0 \cdot 10^{13}$
Мировое потребление энергии	$1.5 \cdot 10^{13}$

Эти данные представляют большой интерес тем, что показывают распределение энергии в разных частях биосферы и дают возможность оценить энергоресурсы, которые могут быть использованы человечеством.

Распределение энергии по звеньям трофической цепи можно оценить, пользуясь уравнением фотосинтеза:



Академик К. А. Тимирязев в 1875 году определил количество фотосинтетической энергии радиации Солнца (8 молей фотонов на частоте красной и сине-зеленой области спектра) равно $16,8 \cdot 10^6$ Дж. Эта энергия необходима для связывания одного моля CO_2 и преобразования его в органику, количество которой эквивалентно $4,8 \cdot 10^5$ Дж. Отсюда максимальный теоретический КПД фотосинтеза равен 0,3. Эта величина не учитывает расход энергии на образование меж молекулярных связей, на образование более сложных структур, например клеток, на дыхание, испарение и т. п.

С другой стороны, эффективность преобразования солнечной энергии в биомассу можно получить, если рассматривать ее как отношение чистой первичной продукции (реальный прирост массы растений – P_1) к энергии фотосинтетической радиации – $W_{\text{ф}}$. При таком расчете получается, что эффективность:

$$\eta_{\text{ф}} = P_1/W_{\text{ф}} \leq 0,05$$

Это очень важная величина, показывающая принципиальное ограничение повышения урожайности. Однако, тот факт, что для многих видов сельскохозяйственного производства у нас этот коэффициент на порядок ниже, дает уверенность в возможности решения продовольственной программы без увеличения площадей.

Как видно из сказанного, энергетика фотосинтеза довольно проста. Однако ситуация чрезвычайно усложняется при переходе к анализу энергетики экосистем, состоящих из трофических цепей разной сложности.

Трудность состоит в том, что первичная энергия на входе в биосистему идет не только на производство биомассы. Часть ее расходуется на дополнительные процессы, такие, как дыхание, транспирация (испарение при дыхании), экскреция. На дыхание уходит 1/3 первичной энергии W_{ϕ} . Для анализа энергетики трофических цепей вводят две величины продуктивность (валовая продукция) и продукция (чистая продукция – биомасса). Можно бы упростить задачу, отбросив дополнительные потери энергии. Но при этом можно потерять некоторые и даже многие звенья трофических цепей, например, множество насекомых и микроорганизмов.

Таким образом, исследовать продуктивность – значит определить распределение энергии по звеньям трофической цепи. Определить продукцию – значит оценить реально произведенную био массу, т. е. центнеры с гектара, суточный привес животных и т. п.

Связь между количеством произведенной биомассы P_1 и испаренной растениями влагой описывается линейной зависимостью:

$$k_c P_1 = K_c \alpha_T \rho E,$$

где k_c , – коэффициент транспирации, т. е. количество влаги, испаренной с 1 га, α_T – доля транспирации в полном испарении с единицы площади, K_c – калорийность сухой органической массы, E – скорость испарения в мм/год, ρE – количество влаги, испаренной с единицы площади. Среднее значение ρE равно 400, это значит, что для синтеза 1 т растений требуется 400 т воды.

Полезно сравнить эту величину с потребностью воды для искусственного синтеза: длялав сана требуется – 4200 тонн воды при синтезе 1 тонны, для капрона – 5600 тонн! (См. таблицу 4)

Можно только восхищаться совершенством «технологии» при роды. Коэффициент α_T зависит от характера поверхности, для обработанной почвы 0,4, для необработанной – 0,9. Учитывая, что доля обработанной суши равна примерно 2/3 всей, получим для среднего значения:

$$\alpha_T = (2/3) 0,4 + (1/3) 0,9 = 0,55.$$

Тогда количество произведенной биомассы (чистый продукт) на суше, на площади S и $K_c = 19 \cdot 10^{13}$ Дж:

$$P = SP_1 = K_c \alpha_T \rho E / k_c = 6 \times 10^{13} \text{ Вт.}$$

Распределение материи в трофической цепи удобно определять в Вт. Эта величина достаточно хорошо совпадает с экспериментально определенной. Теперь необходимо учесть долю энергии, расходуемой на транспирацию:

$$\eta_T = \alpha_T L_v \rho E / W_{\phi}$$

где $L_v = 25,7 \cdot 10^3$ Дж/г – скрытая теплота испарения воды.

Связь между η_T и η_{ϕ} находится из выражения:

$$\eta_{\phi} = P_1 / W_{\phi} = K_c \eta_T / L_v k_T = (7.6 / K_c) \eta_T$$

Предполагая, что для поверхности суши, не преобразованной человеком, величина $\alpha_T = 0,9$, а значение $\eta_{\phi} = 0,05$, получим $\eta_T = 0,25$.

Это значит, что на транспирацию растений используется до 25 % солнечной энергии, падающей на Землю. А так как возобновляемые запасы пресной воды существуют только

благодаря испарению с поверхности океана, то можно считать, что растения используют около 60 % всех возобновимых водных ресурсов. Трудно представить, но это факт. Большая часть всех пресных вод на Земле проходит через биологическую «машину» биосферы.

В связи с этим важно подчеркнуть, что загрязняя воды мы неизбежно вводим эти загрязнения в биоценозы, а через них по трофическим цепям в себя.

Теперь снова вернемся к трофической цепи после того, как определено распределение солнечной энергии в ее первом звене – продуцентах. Простая трофическая цепь может быть составлена из четырех звеньев. В трофических цепях реализуется круговорот вещества и энергии, называемый биоциклическим. Он не является изолированным, он входит в геологический круговорот, рис. 9.



Рис. 9. Круговорот вещества и энергии в трофической цепи

Биогеоценоз или экосистему можно рассматривать как «машину» по трансформированию вещества и энергии. Очевидно, что антропогенное воздействие нарушает работу этой «машины» так как детерминированность биопроцессов мала по сравнению, например, с прохождением тока по проводнику или движением поршня в цилиндре.

Абстрагируя элементы трофической цепи, представим ее в виде схемы. Цифра в круге – номер биомассы B_i звеньев цепи от 0 до n , рис. 10.

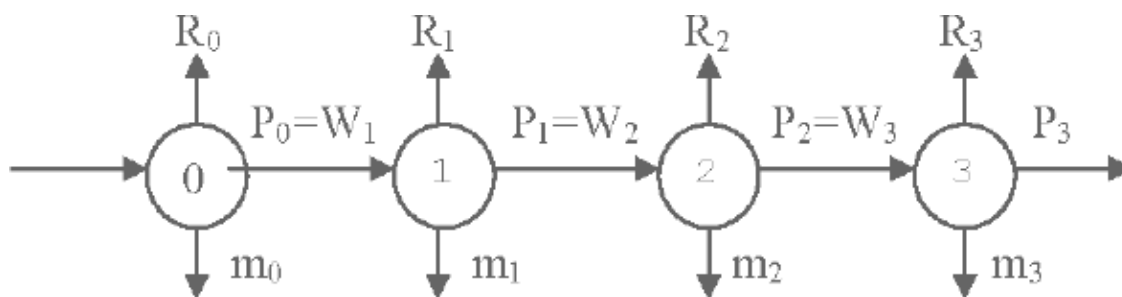


Рис. 10. Перенос вещества и энергии в трофической цепи.

Здесь W_i – потребление энергии, R_i – энергия дыхания, P_i – полная энергия на выходе, B_i – количество биомассы. Значения индексов: $i = 1$ растения, $i = 2$ – консументы 1 рода, растительноядные животные; $i = 3$ – консументы 2 рода, животные-хищники; m_i – количество отмирающей биомассы.

Чистая первичная продукция растений P_1 используется консументами и редуцентами следующего звена и так далее по звеньям.

Связь между потоками энергии и вещества в каждом звене цепи можно представить в виде уравнения:

$$W_i = R_i + P_i,$$

где W_i – полная потребляемая (входная) мощность, R_i – мощность, расходуемая на дыхание, P_i – полная мощность на выходе звена.

Выходящие потоки энергии складываются из вновь синтезируемой органики P_i и неусвоенной части потребляемой органики (экскретов) P . Эти потоки могут быть заданы с помощью коэффициентов усвоения η и эффективности трансформации энергии – α :

$$W - P_3 = \eta W, P_i / W = \alpha, \alpha_3 = P_3 / W = 1 - \eta$$

где ηW – усвоенная часть входного потока энергии (метаболизм). Для большинства организмов биосферы $\eta = 0,8$ и зависит он от того, чем питается данный вид. Коэффициент эффективности трансформации энергии в пищу в продукцию $\alpha = 0,1$. Коэффициент $\alpha_3 = 1 - \eta = 0,2$ характеризует трансформацию входной энергии в экскреты, служащие пищей для редуцентов. Таким образом, эти теоретические и не очень сложные выкладки подтверждают тот факт, что 90 % энергии, входящей в каждое звено трофической цепи, рассеивается на дыхание, транспирацию, экскрецию и только 10 % идет на накопление биомассы. Приводимая диаграмма иллюстрирует эту закономерность.



Рис. 11. Экологические пирамиды В. Одума

1. Пирамида чисел, 2. Пирамида энергии (Дж)

Закономерность распределения энергии и массы в трофических цепях имеет важное приложение для определения уровня загрязнений элементов цепи. Дело в том, что ряд синтетических препаратов и тяжелых металлов таких, как, например, ДЦТ и ртуть, имеют свойство накапливаться в организме. Перемещаясь по звеньям трофической цепи вместе с биомассой, ДЦТ не расщепляется и не выносится с экскрециями, а накапливается, и концентрация его повышается. Таким образом, концентрация ДЦТ в молоке коровы может превысить допустимый уровень хотя при распылении для обработки поля ПДК превышено не было.

Антропогенное вмешательство неизбежно деформирует естественные трофические циклы и может привести к негативным и необратимым последствиям.

В этом плане поучительна история с истреблением воробьев в Китае в 50-х годах прошлого века. Желая сохранить урожай, китайцы провели национальную кампанию по истреблению воробьев. В результате этого чрезвычайно расплодился насекомый, служивший пищей для воробьев, и посевам зерновых был нанесен значительно больший ущерб. К счастью, это вмешательство имело обратимый характер и равновесие удалось восстановить за 3 года.

Последствия антропогенного вмешательства могут быть и более серьезными. В. Г. Горшков и В. Р. Дольник [7] предупреждают, что «замыкание значительной части биосферного потока на антропогенный канал приводит к вытеснению естественных видов организмов и перераспределению потребления в биосфере.

В этих условиях с течением времени человек может столкнуться с нехваткой энергии и истечением запасов ископаемых химических элементов, необходимых для построения биомассы культурных растений и индустриальной продукции». Интересно отметить, что этот вывод сделан физиками.

Закон толерантности. При анализе трофических цепей не было учтено влияние внешних условий на характер распределения энергии и вещества. Предполагается, что они оптимальные, т. е. такие, которые обеспечивают накопление биомассы и воспроизводство.

Нормальная жизнедеятельность животных и растительных видов, функционирование экосистем и круговорот в них вещества и энергии в зависимости от внешних условий характеризуются за коном толерантности. Согласно этому закону параметры внешней среды могут меняться в определенных пределах без ущерба для видов и экосистем в целом. Выход за эти пределы приводит к гибели живых организмов и изменению экосистемы.

Например, в речной воде с определённой температурой и кислотностью (рН) сложилось устойчивое сообщество растений, животных и микроорганизмов. Изменение параметров воды при выбросе в эту реку термальных вод при извержении вулкана или деятельности ТЭЦ может полностью сменить биоценоз. Согласно этому закону лошади не могут выживать на высоте более 3 тысяч метров, там где спокойно работают гималайские буйволы, пресноводная лягушка не выживет там, где обитает пустынная жаба, то же самое относится и к растениям.

Для грамотного планирования распределения сельскохозяйственных культур необходимо учитывать и толерантность растений к новым условиям культивирования.

Термодинамика биосферы. Многие геологические процессы на Земле и жизнь биосферы обусловлены солнечной энергией, которая поступает на Землю в виде высокочастотного (высококачественного) излучения, преобразуется в биосфере и рассеивается в космос в форме теплового (низкокачественного) излучения. Этот процесс, согласно закону Больцмана характеризуется возрастанием энтропии в системе Солнце – Земля.

$$S = k \ln W$$

Этот закон утверждает, что материя в изолированной системе стремится к хаотическому состоянию. Однако часть солнечной энергии, как это уже обсуждалось выше, в результате реакции фотосинтеза преобразуется в высокоорганизованную материю. Это достигается благодаря тому, что живые организмы в процессе самоорганизации производят отрицательную энтропию или *негаэнтропию*.

Образование высокоорганизованной материи достигается повышением степени порядка в системе, а это соответствует тому, что в формуле Больцмана под знаком логарифма необходимо подставить величину $1/W$. А так как $\ln(1/W)$ это, то же самое, что и отрицательный логарифм W , то уравнение Больцмана запишется по-другому:

$$-S = k \ln(1/W).$$

Отсюда появилось определение *негаэнтропии*, как меры стремления к упорядоченности. Негаэнтропийный ресурс Земли можно определить, если исходить из того, что в условиях термодинамического равновесия энергия на Земле не накапливается:

$$E_1 = E_2 = E$$

В таком случае негаэнтропийный ресурс Земли определяется разностью энтропии падающего и рассеянного излучения. Пользуясь моделью абсолютно черного тела и законом

Стефана-Больцмана, можно определить приращение энтропии излучения ΔS . Эта величина в свою очередь равна негаэнтропии отбираемой Землей ΔN :

$$\Delta S = -\Delta N = 4/3 (E_2 / T_2 - E_1 / T_1) = 4/3 E (1 / T_2 - 1 / T_1),$$

где E_1 и T_1 – внутренняя энергия и температура солнечного излучения. E_2 и T_2 – энергия и температура уходящего излучения.

При $T_1 = 6000$ К и $T_2 = 300$ К получим:

$$\Delta S = -\Delta N = 4/3 E (1/300 - 1/6000)$$

Величиной $1/6000$ в сравнении с $1/300$ можно пренебречь и:

$$\Delta S = -\Delta N = 4/3 (E/T_2)$$

т. е. ежегодный ресурс негаэнтропии зависит, в основном, от эффективной температуры потока энергии, излучаемого Землей. Следовательно, при заданном потоке солнечной энергии, с увеличением ΔN , можно получить понижение температуры уходящего излучения, что соответствует увеличению длины его волны. Как известно, эту роль выполняет растительность на Земле. При этом энтропия системы Солнце-Земля увеличивается, но увеличивается и негаэнтропийный ресурс Земли за счет локального понижения энтропии.

Антропогенное вмешательство в деятельность экосистем неизбежно приводит к увеличению неупорядоченности и снижению негаэнтропийного ресурса. Предельным случаем такого вмешательства будет гибель биосистем.

Глава 3. Физика земных процессов

Вода! У тебя нет ни вкуса, ни запаха, тебя невозможно описать, тобой наслаждаются, не ведая, что ты такое! Нельзя сказать, что ты необходима для жизни: ты есть сама жизнь.

А. Сент-Экзюпери

Земля – элементы строения. В окружающем нас мире рождаются звезды, движутся планеты, взрываются вулканы, текут реки, дуют ветры, растут деревья, летают птицы. Физика сумела показать, что основа всего многообразия процессов живой и неживой природы – физические явления и основой всего этого многообразия являются четыре типа взаимодействия: гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное и четыре формы материи: газ, жидкость, твердое тело и поле. Невольно приходит на память поэтическая фраза: «Как сложен мир и в то же время прост!».

Главная тема нашего обсуждения, однако, не физическая картина мира и не поэтические параллели, а влияние на процессы в окружающей среде человеческого фактора и роль физики в этом влиянии.

Трудно сказать, когда человек задумался об этом влиянии. Однако основные этапы нам известны. В философии древних эти мысли появились у Аристотеля и выражены им в «Физике», «О небе», «О возникновении и уничтожении» и «Метрологике». Так, он отмечает, что истощение земли страшнее войны и что мелиорация может принести и пользу и вред.

Основой современной науки о взаимодействии человеческого общества и природы стало учение В. И. Вернадского о биосфере и ноосфере. Центральной в нем является идея о сопоставимости человеческой деятельности с крупнейшими геологическими силами: «Человечество своим трудом и своим сознательным отношением к жизни перерабатывает земную оболочку – геологическую область жизни, биосферу. Труд и сознание человека переводят ее в новое геологическое состояние, «*ноосферу*».

Чтобы разобраться в действии природных сил в сочетании с антропогенной силой, сделаем краткий обзор строения Земли и процессов, происходящих в ее сферах.

Земля это шарообразное твердое тело (рис. 12) со сложной внешней и внутренней структурой на 3/4 покрытое водой, окруженное газообразной оболочкой – атмосферой и неоднородным магнитным полем – магнитосферой.

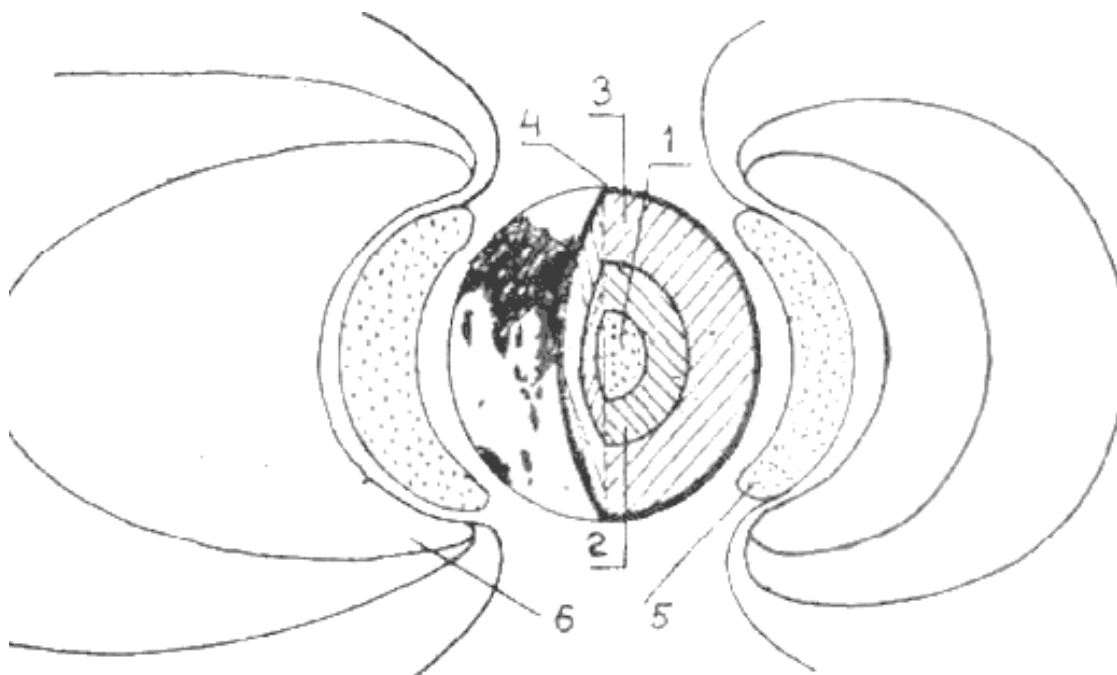


Рис. 12. Схема сечения земли и магнитосферы

1. Твердое ядро. 2. Жидкое ядро. 3. Мантия. 4. Материковые плиты. 5. Радиационный пояс. 6. Силовые линии магнитного поля.

Атмосферу на схеме показать невозможно, так как ее толщина в данном масштабе должна быть менее 0,1 мм.

Атмосфера, гидросфера и литосфера не изолированы друг от друга, они находятся в динамическом взаимодействии и в то же время испытывают влияние внешних сил: гравитационного поля Солнца, Луны и планет, солнечного и космического излучения, столкновений с космическими телами. На этом фоне, человек выглядит слишком ничтожным и слабым, чтобы вмешаться в действие этих гигантов и оказать свое влияние. Но это только на первый взгляд.

Физические явления в литосфере. Земная поверхность сформировалась под действием гравитационных и тектонических сил, воздействия воды, воздушных потоков и солнечной радиации. Процесс этот продолжается, и облик Земли периодичности оледенения, большая часть Европы, Канада, север азиатского материка через 20–25 тысяч лет покрываются слоем льда.



Рис. 13. Динамика плит

Суша занимает 1/4 часть поверхности Земли, остальное – Мировой океан. Материки покоятся на гранитном основании, во многих местах покрытом осадочными породами, толщина которых в некоторых местах достигает до 10–15 км. Океанское дно подстилается базальтами, и на них, как ни странно, отсутствуют осадочные отложения. Это свидетельствует о сравнительно недавнем происхождении современных океанов. На поверхности материков и дне океанских впадин расположены цепи горных образований, имеющих лишь внешнее сходство. Материковые горные цепи сложены, в основном, из осадочных пород и гранита, горные цепи океанов – базальтовые и разделены, как правило, долинами или рифтами. Эти факты послужили основанием для создания современной теории плит, согласно которой внешняя часть земной коры состоит из плит, перемещающихся по верхней части мантии. При перемещении края плит надвигаются друг на друга, происходит их деформация с образованием поднятий, как Кордильеры, и рифтовых зон, как Атлантическая и Тихоокеанская. Динамика движения плит показана на рис. 13., где: 1 – плиты, 2 – подвиг, 3 – рифтовая зона, 4 – верхняя мантия, 5 – нижняя мантия. Дно океана раздвигается под действием конвекционных потоков в мантии обусловленных теплом, выделяющимся в недрах при радиоактивном распаде некоторых элементов, химических реакциях и действии некоторых других факторов. Предполагается, что основная часть тепла выделяется в земном ядре, температура которого около 7000 °С. Температура земной коры повышается на 30 °С с каждым километром глубины, начиная с ее поверхности. Подсчитаем мощность теплового потока достигающего поверхности и передаваемого атмосфере.

$$P = kS \, dT/dz = 3 \times 10^{13} \text{ Вт},$$

где k – коэффициент теплопроводности, базальт = 2 Вт/(м×К), S – площадь земной поверхности; dT/dz – градиент температуры, равный примерно 0,03 К/м.

По этой формуле мощность теплового излучения в окружающую среду квадратным метром поверхности равна 0,06 Вт. Экспериментальные исследования Э. Буллара из Кембриджского университета для разных точек земной поверхности дали чуть большее значение. При этом температура поверхности без уюта энергии излучения Солнца бы всего лишь 30 К! Вывод сделайте сами.

Сравним тепловыделение земной поверхности с количеством тепла, выделяемым человеческим обществом. Потребность человечества в энергии по прогнозу А. Макдональда

на 2030 год равна $22,4 \times 10^{12}$ – $35,7 \times 10^{12}$ Вт. Даже если предположить, что только одна треть этой энергии будет превращена в тепло, то ее величина сопоставима с тектоническим теплом.

Основой для создания современной науки о поверхности Земли послужили многочисленные измерения и наблюдения за поверхностью Земли, дном океанов, глубинная сейсморазведка, аэрофотосъемка, измерение магнитного поля Земли и особенно его аномалий и т. п.

Достаточно хорошо о строении Земли и физических методах ее исследования написано в книгах [7, 8]. Здесь сделан лишь поверхностный экскурс в геофизику только для того, что бы обрисовать фон, на котором развивается человеческая деятельность.

Воздействие человека на верхнюю часть коры проявилось при строительстве городов, прокладке дорог и каналов, устройстве шахт и открытых разработок, разведке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, мелиорации и использовании подземных вод.

Так, например, использование вод рек Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи на орошение привело к падению на 13 метров уровня Аральского моря, при этом обнажились тысячи квадратных километров дна, покрытого солью. Давление, оказываемое на поверхностные слои земли при градостроительстве и особенно при сооружении высотных плотин, довольно значительно. Каждое 5-этажное здание весит 15 тысяч тонн, многоэтажное в десятки раз больше. Известно довольно много случаев разрушения и просадки зданий в результате повышенного давления на грунт в сочетании с интенсивной откачкой артезианских вод.

Многие угольные и рудные шахты уходят в глубь Земли более чем на 1 км, глубина некоторых достигает 4 км. При горных выработках образуются пустоты, поверхность земли покрывается отвалами отработанной породы терриконами. Ежегодно в мире добывается 15–18 млрд. м³ горных пород и только 5 % идет на выпуск товарной продукции. Количество перемещенных пород при проведении горных и строительных работ сравнимо с объемом материала, переносимого всеми реками Земли. Особенно значительные нарушения поверхности наносят открытые выработки типа Курской магнитной аномалии или Канско-Ачинского бассейна.

Изменения, созданные на поверхности Земли руками человека, занимают уже 8 % суши. Это очень много, учитывая, что часть суши, пригодная для жизни человека, занимает около 25 %.

Шахтные выработки, крупная добыча нефти и газа, забор артезианских вод создают условия для опускания больших площадей поверхности, образования провалов и разрывов, изменения теплопроводности подстилающих слоев, нарушения виброустойчивости и повышения сейсмичности.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.