

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»

**А. Ф. Карпенко, А. В. Крук**

**ЛОГИСТИКА ПОСТУПЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ  
В ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ БЕЛАРУСИ**

Гомель  
ГГУ им. Ф. Скорины  
2017

УДК 502.174.3:620.92(476)

**Карпенко, А. Ф.**

Логистика поступления солнечной энергии в природные системы Беларуси / А. Ф. Карпенко, А. В. Крук ; М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. – 195 с. : ил. – ISBN 978-985-577-271-3.

В монографии рассматриваются сущность и значение энергии, логистика поступления солнечной энергии в сельскохозяйственную, лесную, водно-болотную экологические системы и её аккумуляция в чистой первичной продукции; потребности населения Беларуси в пищевой энергии.

Предназначается для научных работников, аспирантов, магистрантов, студентов и всех, кто интересуется вопросами экологии, логистики энергии, энергосбережения в сельском, лесном и водном хозяйствах, организации питания населения.

Табл. 55. Ил. 9. Библиогр. : 72 назв.

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»

Рецензенты:

доктор физико-математических наук С. Ф. Каморников,  
кандидат биологических наук О. В. Ковалева

**ISBN 978-985-577-271-3**

© Карпенко А. Ф., Крук А. В., 2017  
© Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», 2017

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	4
Глава 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ .....	7
1.1. Сущность и значение энергии в жизни .....	7
1.2. Единицы измерения и содержание энергии в различных веществах .....	10
Глава 2. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЛАРУСИ .....	14
Глава 3. ЭНЕРГЕТИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ .....	29
3.1. Поступление солнечной энергии в биосистемы Беларуси .....	29
3.2. Способность природных экосистем обеспечивать жизненные потребности населения .....	39
3.3. Потребности населения в питательных веществах и пищевой энергии .....	54
3.3.1. Питание как связующее звено живого организма с окру- жающей средой .....	54
3.3.2. Пищевая и биологическая ценность пищевых продуктов ...	68
3.3.3. Обмен энергии .....	71
3.3.4. Потребности населения Беларуси в продуктах питания и энергии .....	78
3.3.5. Оценка фактического потребления продуктов и энергии....	86
3.4. Энергия в агроэкосистеме .....	90
3.4.1. Производство энергии в растениеводческом секторе Беларуси	101
3.4.2. Почвенно-экологические возможности производства чистой первичной продукции агроценозами республики .....	104
3.5. Энергетика лесной экологической системы .....	107
3.5.1. Характеристика лесного фонда Беларуси .....	107
3.5.2. Чистая первичная продукция и энергия леса .....	117
3.6. Энергетика водно-болотной экологической системы .....	119
3.6.1. Водные ресурсы .....	119
3.6.1.1 Производство чистой первичной продукции в водной системе	132
3.6.2. Болота Беларуси	152
3.6.2.1. Производство чистой первичной продукции в лесоболот- ной системе .....	160
3.7. Солнечная энергетика .....	165
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	175
ЛИТЕРАТУРА .....	191

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Планета Земля входит в состав солнечной системы, которая поддерживает в течение длительного времени земное существование и существующую на ней жизнь. Основой жизни на Земле является энергия, главным источником которой является Солнце.

Для существования биосферы нашей планеты необходима энергия от внешних источников. И таким источником энергии для неё является солнечный свет. Солнечный свет представляет собой энергию электромагнитной природы, которая на Земле почти вся поглощается земной атмосферой, земной поверхностью и поверхностью воды и только около 1 % фиксируется фотосинтезирующими организмами, и преобразуются в концентрированную энергию химических связей органического вещества. Существование жизни на Земле было бы невозможно без выполнения растениями важнейшей своей задачи – снабжение всего живого энергией. Казалось бы, что фиксация 1 % солнечной энергии в сравнении с поступающим её количеством на Землю совсем ничтожна, но оказывается этого достаточно для развития жизни, образования и существования современной биосферы

Земные фотосинтезирующие организмы поглощают солнечную энергию и создают органическое вещество из углекислого газа и воды. Процесс фотосинтеза включает запасание части энергии солнечного света в виде энергии органического вещества. Все остальные организмы, в том числе человек, потребляют энергию через поедание органического вещества фотосинтезирующих организмов. Человек потребляет энергию с органическим веществом пищи, путём сжигания органического вещества, (например, топлива) для обогрева, приготовления пищи и т. д.

Перенос энергии, запасенной растениями, осуществляется путём поедания одних организмов другими. Однако, при каждом переносе на новую ступень 80–90 % энергии пищи трансформируется в тепло и безвозвратно теряется. Человек может питаться пищей из растений, которые улавливают солнечную энергию, может употреблять мясо животных, которые тоже кормятся растениями. В первом случае человек получает энергию пищи через одну ступень, во втором – через две ступени. При питании через одну ступень теряется меньше энергии, чем через две ступени. Но, как правило, рацион человека состоит из растительных и животных продуктов питания. Следовательно, поступление энергии происходит через первую и через вторую ступени, пропорционально количеству растительной и животной пищи в рационе. Поэтому число людей, которые могут проживать на определенной

территории, зависит от количества ступеней пищевой цепи, так как чем больше ступеней, тем на порядок (т. е. в 10 раз) снижается количество доступной энергии. Если в рационе увеличивается содержание животных продуктов, снижается количество людей, которые могут прокормиться на территории.

В 2014 году на 19 августа пришелся Всемирный день перерасхода биоресурсов. С этой даты все земляне числятся в должниках у самой планеты. Эту дату устанавливает международная независимая организация Global Footprint Network, которая тщательно рассчитывает экологический след от жизнедеятельности землян. Для этого она подсчитывает все производимые в течение года биосферой природные ресурсы и потребляемые человечеством за данный период времени. Уже несколько десятилетий человечество исправно отмечает день перерасхода биоресурсов, исчерпывая теоретически отведенное ему на год природное богатство быстрее положенного срока. В настоящее время планете требуется более полутора лет, чтобы восстановиться после итогов человеческой деятельности. Потребление природных ресурсов на душу населения во многих странах от 1,5 до 12,3 раз превышает собственные запасы. Уже сегодня для удовлетворения потребностей нужна не одна Земля, а полторы, чтобы справиться с запросами растущего населения. Хотя всего 50 лет назад для этого хватало двух третей природного богатства планеты, уже в 1970-е этот показатель равнялся единице, с середины 1980-х превышает объемы естественного восполнения за год. В результате Всемирный день перерасхода биоресурсов настаёт всё раньше. В 2013 году он пришёлся на 20 августа, в 2012 году – на 22-е. Прогнозы пока неутешительны. Примерно к 2050 году населению планеты для удовлетворения своих потребностей потребуется уже две Земли. Это значит, что человечество будет брать у природы всё активнее: распахивать больше земель, вырубать больше лесов, чем может вырасти, выкачивать всё больше воды. Следует добавить, что чрезмерное потребление ресурсов сочетается с гигантскими отходами, прежде всего бытового мусора и углекислого газа. Получается, что для того, чтобы меньше жить «взаймы», необходимо рациональное и бережное отношение к каждому источнику национального природного богатства.

Площадь территории Беларуси, как и всех других стран известна, определена границами и не может быть изменена ни в настоящее время, ни в будущем. Система природопользования республики после распада СССР и чернобыльской катастрофы окончательно оформилась, стабилизировалась и при рациональном и воспроизводимом её использовании может обеспечивать население и экономику республики естественными ресурсами в длительной перспективе.

Так распорядилась природа, что в Беларуси отсутствуют в достаточном количестве необходимые для экономики топливные ресурсы, поэтому они закупаются извне. Для приобретения недостающих энергоресурсов требуются немалые валютные средства. Валютные средства можно выручить за счёт оказания услуг и продажи товаров, производимых в стране. При производстве экспортной продукции затрачиваются, имеющиеся в республике, природные ресурсы. Однако, Беларусь, по мировым меркам, небольшая страна, следовательно, возможности её экологических систем не безграничны. С учётом данных обстоятельств необходимо изучение состояния, продуктивности, рационального использования и возможностей экологических систем, чтобы не создавались в них стрессовые ситуации, тем более не доводилось до деградации и уничтожения имеющегося природное богатство.

Энергия всегда играла и будет играть одну из важнейших ролей в жизнедеятельности человеческого общества. Все виды деятельности человека связаны с затратами энергии и без неё человек не может жить и существовать. Вся история развития человеческого общества связана с историей освоения новых видов топлива, с этапами промышленных революций и получением необходимой энергии. Переход от древесного топлива к ископаемому угольному, нефтяному, природному газу, наступление эпохи электричества – всё это оказало огромное влияние на развитие человеческой цивилизации. Основным источником энергии в современном мире остаётся пока ископаемое топливо, являющееся результатом остатков растений доисторических эпох. Энергия ископаемого топлива – это энергия складированного солнечного света, поступившего на землю в течение миллионов лет.

Развитие в Беларуси атомной, водородной, альтернативной энергетики становится в настоящее время актуальной проблемой. Ещё одним источником энергии для республики являются бурые угли и горючие сланцы, залежи которых пока не находят применения. Проблемы энергетики затрагивают не только все слои человеческого общества, но и являются важными для окружающей среды, для экологических систем республики.

Сегодня важнейшей проблемой является создание эффективного механизма регулирования природопользования, способствующего его оптимизации. Оптимальный размер пользования природными ресурсами должен основываться на их эколого-экономической и энергетической оценке.

В данной работе предпринимается попытка выполнить анализ состояния и определить продуктивность экосистем Беларуси через логику поступления, накопления, миграции и использования потока лучистой солнечной энергии в экологические системы страны, так как известно, что энергия является общим знаменателем всех природных систем.

# Глава 1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ

### 1.1. Сущность и значение энергии в жизни

Все проявления жизни на Земле обусловлены превращением энергии, получаемой в виде света поверхностью планеты. Без переноса энергии, сопровождающего все жизненные процессы и изменения, не было бы ни жизни, ни планеты Земля в таком виде, в каком мы её знаем. Следовательно, своим существованием мы обязаны энергии. Так что такое энергия? По определению физиков энергия – это способность производить работу. Энергия представляет собой общую количественную меру движения и взаимодействия всех видов материи. Однако, по утверждению Ю. Одума (1986) существует разница в поведении энергии и живой материи: материя циркулирует в системе, а энергия – нет. Минеральные элементы, вода и другие вещества, входящие в состав живого, циркулируют через систему сложным образом. Например, существуют циклы азота, фосфора, углерода, которые могут циркулировать в живых и неживых телах, но отсутствуют циклы энергии. Энергия может накапливаться, храниться, преобразовываться в различные формы, передаваться, но не может быть опять использована, как минеральные вещества и вода. Живые замкнутые термодинамические системы не существуют в природе. Каждый живой организм или экосистема получают от своей среды постоянный приток энергии.

Наука, изучающая превращения энергии в живых организмах, называется биоэнергетикой, или это не что иное как термодинамика применительно к биологическим системам. Известно, что в основе термодинамики лежат несколько законов, отражающих процессы, протекающие как в неживой, так и в живой системах. При этом системой может быть единичная клетка, определенный организм или Вселенная в целом.

Первый закон термодинамики указывает, что общая энергия изолированной системы при любом процессе всегда остается постоянной, то есть первый закон термодинамики – закон сохранения энергии, который гласит, что энергия переходит из одного вида в другой, но она не исчезает и не создается заново. Работа – это энергия в действии. Энергия пищи может превратиться в тепло, работу, при этом энергия не пропадает. Второй закон термодинамики или закон энтропии сформулирован следующим образом: все процессы стремятся идти в направлении возрастания общей энтропии системы и окружающей среды.

Энтропия – мера неупорядоченного состояния внутренней энергии системы, то есть в каждый данный момент она определяет степень хаотичности системы. Величина энтропии определяет ту часть внутренней энергии системы, которая не может быть превращена в работу. Или по- другому – это мера количества связанной энергии, которая недоступна для использования (А. Ленинджер, 1974).

Для определения направления процесса пользуются измерением свободной энергии системы. Свободная энергия – это часть общей энергии системы, которая может выполнять работу. В постоянных условиях системы, например, в живом организме самопроизвольно идут процессы, которые ведут к уменьшению свободной энергии, то есть процессы, в которых изменение свободной энергии будет отрицательным. Такие процессы получили название экзотермических. Процессы, для которых изменения свободной энергии являются величиной положительной, получили название эндотермических. Для протекания эндотермических процессов необходим приток энергии извне. Для каждой химической реакции свойственно определенное изменение стандартной свободной энергии, то есть изменение свободной энергии при стандартных значениях температуры, давления, при 1 М концентрации исходных веществ и продуктов реакции и при рН 7,0. Например, изменение стандартной свободной энергии гидролиза АТФ равно 7,3 ккал (при 1 М концентрации исходных веществ и продуктов реакции, температуре 37 °С, рН 7,0 в присутствии избытка ионов  $Mg^{2+}$ ). Следовательно, по изменению свободной энергии можно анализировать биологические процессы. Законы биоэнергетики едины, поэтому они одинаково относятся как к одноклеточным, так и к многоклеточным организмам.

В биосистемах различают три основных вида превращения энергии:

- 1) превращение световой энергии в химическую энергию (при фотосинтезе);
- 2) превращение химической энергии в биологически доступную энергию макроэргических связей;
- 3) использование энергии макроэргических связей для выполнения клеткой работы – химической, механической, электрической и др.

Теплота служит источником энергии при больших перепадах температур. В живых системах такой перепад температур (порядка 100 °С) невозможен, поэтому тепловая энергия не может быть использована организмами для совершения работы.

Источником работы у организмов является только химическая энергия. Энергия, освобождающаяся при протекании экзотермических реакций, доступна клетке тогда, когда она используется для синтеза богатых энергией соединений.

Клетка, являясь изотермической системой, работающей при постоянном давлении, не может использовать в качестве источника энергии тепло, так как, согласно второму закону термодинамики работа может совершаться только за счёт перехода тепла из зоны с более высокой температурой в зону с более низкой температурой (А. Ленинджер, 1974). Поэтому энергию, поступающую в клетку из окружающей среды, она получает в форме химической энергии углеводов, липидов, белков, которые являются источниками биологического топлива.

Единство механизмов получения энергии из внешних источников и путей расходования её клеткой в процессе своего существования составляет энергетический обмен клетки. Известно несколько типов клеточного энергетического обмена. Так, клетки зеленых растений, используя энергию солнечного света, из простых соединений синтезируют сложные биополимеры. Этот тип энергетического обмена называют фототрофным.

Высокоорганизованные клетки животных и человека являются органотрофами, так как используют в качестве «топлива» молекулы биополимеров, имеющие высокий энергетический потенциал.

Некоторые бактерии используют в качестве энергетического ресурса неорганические вещества и обладают неорганотрофным (хемосинтетическим, литотрофным) типом энергетикеи.

Если в клеточной энергетике используется кислород для расщепления энергетических субстратов, такой тип обмена классифицируется как аэробный или дыхательный тип энергетического обмена, а когда в роли окислителя выступают другие вещества – классифицируется как анаэробный или гликолитический.

Энергетическому обмену клеток животных, человека и растений присущ как аэробный, так и анаэробный разновидности. Для бактерий свойственны все типы энергетического обмена или различные их сочетания (Н. А. Преображенский и др., 1976).

Все живые организмы животного и растительного происхождения в итоге получают солнечную энергию, только растения получают её непосредственно, а животные – косвенно.

В современном природопользовании энергетические ресурсы объединяют по признаку их образования в три группы. Первую группу составляют так называемые неисчерпаемые природные ресурсы (солнечная, космическая энергия, ветровая, энергия волн и др.). Вторую группу образуют исчерпаемые и не возобновляемые энергетические ресурсы (нефть, газ, уголь, торф, урановые руды) и третью группу – искусственно активированные источники энергии (источники атомной и термоядерной энергии).

Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития РБ на период до 2020 года определено, что в процессе расширения международных экономических отношений и их глобализации всё большую актуальность приобретают вопросы повышения эффективности деятельности субъектов хозяйствования на основе внедрения ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий, включая требования по сохранению окружающей среды.

## **1.2. Единицы измерения и содержание энергии в различных веществах**

Общепринятыми единицами измерения энергии являются калории и джоули. Калория (кал) – это количество тепла необходимого для повышения температуры 1 см<sup>3</sup> воды на 1 °С при 15 °С.

$10^3$  кал = 1 ккал (килокалория)

$10^6$  кал = 1 Мкал (мегакалория)

$10^9$  кал = 1 Гкал (гигакалория)

$10^{12}$  кал = 1 Ткал (теракалория)

$10^{18}$  кал = 1 Экал (эксакалория) = 1 миллион миллиардов ккал.

Джоуль – энергия, необходимая для выполнения работы по подъёму 1 кг на высоту 10 см = 0,1 кгм.

Различные виды энергетических ресурсов обладают разным качеством, которое характеризуется энергоёмкостью топлива. Удельной энергоёмкостью называется количество энергии, приходящееся на единицу массы физического тела энергоресурса. Для выполнения экономических расчётов, сопоставления эффективности различных видов топлива, сравнения теплоиспользующих устройств друг с другом, планирования на единой базе введено в пользование так называемое условное топливо. В качестве единицы условного топлива принят 1 кг топлива с теплотой сгорания 7 000 ккал/кг (29,3 МДж/кг). В странах СНГ за единицу измерения условного топлива принята 1 т условного топлива (т у.т.) равная  $29,3 \cdot 10^3$  МДж или  $7 \cdot 10^6$  ккал, в других странах применяется идентичная единица измерения – тонна условного топлива в нефтяном эквиваленте, или тонна нефтяного эквивалента (т н.э.) равная  $41,86 \cdot 10^3$  МДж или  $10 \cdot 10^6$  ккал.

Теплотворная способность различных видов топлива составляет, ккал/кг: нефть – 10 000, бензин – 11500, природный газ – 8 000 (ккал/м<sup>3</sup>), газ пропан – 11 000, каменный уголь – 7 000, уголь антрацит – 8 000, дрова влажностью 10 % – 3 900, дрова влажностью 40 % – 2 400, торф влажностью 10 % – 4 100, торф влажностью 40 % – 2 500, водород – 28 800, 1 баррель сырой нефти – 1 500 000.

Содержание условного топлива в единице: нефти – 1,43, природного газа – 1,15, дизтоплива – 1,45, мазута – 1,37, каменного угля – 1,0, торфа влажности 10 % – 0,59.

Единицы мощности (энергия в единицу времени) Ватт (Вт), стандартная международная единица мощности = 0,239 кал/с – 1 Дж/с.

Киловатт-час (кВт·ч, стандартная единица электрической энергии = 1000 Вт·ч =  $3,6 \cdot 10^9$  Вт.

Лошадиная сила (л.с.) = 0,7355 кВт.

Таблица 1.2 – Соотношение между единицами работы и энергии

	Ккал	Джоуль	Л.с.ч.	КВт·ч
Ккал	–	4 186	0,00156	0,0012
Джоуль	0,00024	–	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
Л.с.ч.	640	$2,7 \cdot 10^6$	–	0,75
КВт·ч	860	$3,6 \cdot 10^6$	1,3	–

Потребность среднего человека (70 кг) в энергии – 40 ккал/кг живой массы = 0,04 ккал/г или около 3 000 ккал/сутки.

Потребность в энергии птиц и млекопитающих: 1 ккал/г живой массы.

Потребность насекомых – 0,5 ккал/г живой массы.

Калорийность основных химических соединений пищи, ккал/г сухой массы: углеводы – 4,1; белки – 4,1; липиды – 9,3.

Таблица 1.2 – Средние показатели содержания питательных веществ в 100 г продуктов

Продукты	Ккал	Бел., г	Жир, г	Угл., г	Продукты	Ккал	Бел., г	Жир, г	Угл., г
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Хлеб, макароны, рис					Индейка (голень)	186	21	11	-
Лапша яичная	368	13	2	79	Индейка (грудка)	134	22	5	-
Макароны	336	11	-	77	Свинина	274	17	23	-
Пицца с помидорами	247	4	4	52	Телятина	92	21	1	-
Рис очищенный	340	6	1	82	Цыплёнок	175	19	11	-
Рис смешанный	360	8	2	77	Ягненок	211	19	15	-
Хлеб пшеничный	279	9	-	65	Рыба				
Хлеб из смешанной муки	229	9	2	48	Акула	80	16	1	1
Мясо					Дорада	90	20	1	-
Баранина	214	10	15	-	Икра	252	19	19	2
Ветчина вареная	422	21	36	-	Камбала	83	16	2	1
Ветчина вяленая	434	23	38	-	Креветки	86	16	1	3

Окончание таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Лобстер	86	16	2	1	Инжир свежий	62	1	-	16
Лосось	203	21	13	-	Киви	61	1	-	15
Окунь морской	75	15	2	-	Клубника	29	1	-	6
Рыба-меч	109	17	4	1	Персик	30	1	-	7
Треска	71	17	-	-	Хурма	56	1	-	14
Тунец	226	22	16	-	Сладкое				
Молочные продукты					Бриошь	412	7	18	58
Йогурт фруктовый	100	3	2	19	Варенье	222	1	-	59
Йогурт цельный	64	4	4	4	Кекс	334	6	11	57
Молоко обезжиренное	49	4	2	5	Кулич	479	11	27	52
Молоко сгущ. с сахаром	321	8	9	57	Мёд	294	-	1	76
Молоко цельное	63	3	3	5	Молочный шоколад	564	9	38	51
Овощи					Мороженое	240	5	14	26
Артишок	17	2	-	2	Печенье	409	7	8	82
Картофель	90	2	-	21	Печенье сливочное	406	12	7	78
Лук репчатый	15	2	-	1	Слойка с джемом	408	5	18	61
Морковь	22	3	-	2	Сахар	392	-	-	100
Помидоры	17	1	-	3	Напитки				
Салат зеленый	10	1	-	1	Белое вино	71	-	-	-
Спаржа	22	3	-	2	Водка	248	-	-	
Фрукты					Кока-кола (330 г)	130	-	-	35
Ананас	46	1	-	12	Красное вино	75	-	-	-
Апельсины	41	1	-	9	Пиво	47	-	-	3
Бананы	80	1	-	19	Шампанское	71	-	-	3
Груша	45	-	-	11					

Наземные растения (целиком – 4,5, семена наземных растений – 5,2, водоросли – 4,9, беспозвоночные (без насекомых) – 3,0, насекомые – 5,4, позвоночные – 5,6.

Для грубой оценки: 1 г биомассы биосферы = 2 ккал.

Калорийность собранного урожая:

- пшеница – 3,3 ккал/г (около 12 % белка);
- кукуруза – 3,5 ккал/г (около 10 % белка);
- рис – 3,6 ккал/г (около 10 % белка);
- соевые бобы – 4,0 ккал/г (около 20 % белка);
- картофель – 0,9 ккал/г (около 2 % белка);
- сахар-сырец – 3,7 ккал/г (мене 1 % белка);
- сахар пищевой – 3,98 ккал/г.

Калорийность основных видов пищевых продуктов:

- зерновые – 3 420 ккал/кг;
- бобовые – 3 350 ккал/кг;
- говядина – 2 400 ккал/кг.

Фитомасса рассматривается как общее количество (сырая масса) живого вещества в растениях, накопленное на определенной площади к данному моменту; продукция – как количество органического вещества, вносимого автотрофами в экосистему на определенной площади за определенный отрезок времени, в частности за год.

Первичным показателем продуктивности принята надземная абсолютно-сухая фитомасса ( $\text{г/м}^2$ ). Для выражения продукции в органическом веществе применяется коэффициент: для гелофитов – 0,92, для плейстофитов – 0,90, для гидатофитов – 0,85 (А. П. Белавская, 1979; К. А. Кокин, 1982; В. М. Катанская, И. М. Распопов, 1983; Б. Ф. Свириденко, 2000).

Доля углерода в органическом веществе растений принята равной 46,4 % (Lieth, 1965).

Общая фитопродукция водоёмов вычисляется по формулам И. М. Распопова (1973):

$P = 1,2B$  – для погруженных и водно-воздушных растений;

$P = 1,2B + Wn$  – для растений с плавающими листьями, где  $W$  – масса листа,  $n$  – число мутовок без листьев.

Общая продуктивность абсолютно сухой растительности ( $P_1$ ) и общая продуктивность органического вещества ( $P_2$ ) вычисляется с использованием коэффициентов И. Л. Кореляковой (1977):

$$P_1 = 0,93P; P_2 = 0,9P_1$$

Общая продукция углерода ( $P_3$ ) вычисляется с использованием коэффициента И. М. Распопова (1973):

$$P_3 = 0,464P_2$$

Общая продукция с учётом энергетических показателей ( $P_4$ , кДж) вычисляется с использованием коэффициента Лита (Lieth, 1965):

$$P_4 = 41,9P_3$$

Расчёт питательной и энергетической ценности сухого вещества зеленой массы растений проводят на основании данных их биохимического анализа (В. В. Коринец, 1986). Валовую энергию (ВЭ в МДж на 1 кг сухого вещества) определяют по сумме энергии сырого протеина (СП), сырого жира (СЖ), сырой клетчатки (СК), сырых безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), используя соответствующие коэффициенты, по формуле:

$$\text{ВЭ} = 23,95 \text{ СП} + 39,75 \text{ СЖ} + 20,05 \text{ СК} + 17,46 \text{ БЭВ}.$$

Концентрацию обменной энергии в сухом веществе определяют по уравнению Аксельсона, с учётом понижающего действия клетчатки:

$$\text{ОЭ} = 0,73 \text{ ВЭ} [1 - (\text{СК} / 1,05)].$$

Расчёт содержания кормовых единиц в 1 кг сухого вещества проводят по формуле:

$$\text{К. ед.} = \text{ОЭ}^2 / 0,0081.$$

## Глава 2

# ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЛАРУСИ

Биологическая продуктивность экосистем во многом зависит от долготы светового дня, годовой амплитуды суточной инсоляции и суммарной годовой инсоляции, которые определяются географическим положением страны. На основании этих положений следует рассмотреть месторасположение Беларуси на карте Европы и Земли.

Беларусь на карте Европы занимает территорию на западе Восточно-Европейской равнины, в бассейне верхнего течения Днепра и Немана, среднего течения Западной Двины и Западного Буга, среднего и нижнего течения Припяти.

Земельный фонд Беларуси составляет 20 759,6 тыс. га. По площади страны Беларусь занимает 13-е место в Европе.

Северный пункт республики –  $56^{\circ}10'$  с.ш. – находится около Освейского озера; южный –  $51^{\circ}16'$  с.ш. – вблизи поселка городского типа Комарин; западный –  $23^{\circ}11'$  в.д. – на реке Западный Буг, вблизи города Высокое; восточный –  $32^{\circ}47'$  в.д. – недалеко от поселка городского типа Хотимск.

Государственные границы определяют пределы государственной территории, и в этом состоит их основное назначение. Беларусь граничит с пятью государствами: на западе – с Польшей (399 км), на севере-западе – с Литвой (462 км), на севере – с Латвией (143 км), на севере, северо-востоке и востоке – с Псковской, Смоленской и Брянской областями России (990 км), на юге – с Волынской, Ровенской, Житомирской, Киевской и Черниговской областями Украины (975 км). Общая протяженность государственной границы составляет около 3 тыс. км. Наибольшая протяженность между крайними точками запада и востока достигает 560 км, между крайними точками севера и юга – 650 км. По своей площади Беларусь относится к средней европейской стране (207,6 тыс. км<sup>2</sup> составляет 2 % площади Европы).

Из установленных 13 географических поясов Земли Беларусь находится в умеренном поясе Северного полушария. Умеренный пояс Северного полушария имеет распространение в пределах  $40\text{--}65^{\circ}$  с.ш. Для умеренного пояса характерны: западный перенос воздушных масс с Атлантики; морской климат умеренных широт; преобладающие почвы бурые лесные; природные зоны – широколиственные леса.

Для определения местного и поясного времени поверхность Земли, по международному соглашению, условно разделена на 24 пояса

(по 15° долготы каждый), в результате чего территория Беларуси оказалась во втором часовом поясе.

В результате геологических исследований установлено, что территория Беларуси расположена в пределах Восточно-Европейской платформы. Известно, что платформы имеют двухъярусное строение. У Восточно-Европейской платформы нижний ярус представляет собой кристаллический фундамент, образованный гранитами, гнейсами и другими кристаллическими породами. В отдельных местах кристаллической фундамент платформы может выходить почти на поверхность. Такие тектонические структуры платформы геологи называют выступами, например Житковичско-Микашевичский (гранитное месторождение).

На территории Беларуси обнаружен приподнятый участок кристаллического фундамента – Белорусская антеклиза, расположенная в северо-западной и центральной частях республики. Имеются наиболее глубокие участки (впадины или прогибы) кристаллического фундамента (Припятский прогиб, Оршанская и Брестская впадины). Одновременно с этим в структуре Восточно-Европейской платформы в Беларуси обнаружена Жлобинская седловина, занимающая промежуточное положение между впадинами и антеклизами.

Верхний ярус платформы или платформенный чехол является источником полезных ископаемых осадочного происхождения: глин, песков, доломита, каменной и калийной солей и др.

Рельеф Беларуси взаимосвязан с геологическим строением местности. Для антеклиз характерны возвышенности, для прогибов и седловин – равнины и низины. В целом рельеф страны представляет собой всхолмленную равнину с высотами до 200 метров. Возвышенности (более 200 метров) занимают около 20 % общей площади. Наиболее возвышена центральная часть Беларуси или Белорусская гряда, далее на восток следует Оршанская и Витебская возвышенности. К северу и югу от Белорусской гряды местность постепенно понижается. Самый низкий участок территории с высотой 80–85 м находится около границы с Литвой в долине Немана. К югу от Белорусской гряды располагаются Центральнорезинская и Оршанско-Могилевская равнины. На юге республики простирается песчаная, с множеством болот Полесская низменность.

Равнинный рельеф местности является одним из определяющих факторов климата Беларуси. Равнинный рельеф не препятствует проникновению на территорию арктических, тропических, умеренных воздушных масс, что сказывается на устойчивости погоды, особенно в зимний период.

Кроме рельефа на формирование климата оказывают влияние географическое положение, циркуляция атмосферы, световой режим. Солнечная радиация представляет собой всю совокупность солнечного излучения. Она включает такие виды радиации как рассеянную и прямую (доходит до поверхности Земли). Вместе прямая и рассеянная радиация составляют суммарную радиацию.

Количество суммарной радиации зависит от угла падения солнечных лучей на поверхность, продолжительности дня, облачности и прозрачности атмосферы. Наибольшая суммарная радиация – в тропических пустынях. Большая она и у полюсов, но белая поверхность снега и льда отражает до 90 % солнечных лучей. Например, годовая амплитуда суточной инсоляции в умеренных широтах намного больше, чем в тропиках. На экваторе долгота светового дня равна 12 час в течение всего года и колеблется от 10,6 до 13,7 час на широте 25°.

Территория нашей страны расположена между 56-м и 51-м градусами северной широты, что определяет угол падения солнечных лучей, продолжительность дня и солнечного сияния, с чем связано количество поступающей солнечной радиации. В течение года угол падения солнечных лучей в полдень изменяется на 47°, продолжительность дня – более чем на 10 часов. Годовой приход суммарной солнечной радиации увеличивается от северных к южным районам – от 3 500 до 4 050 МДж/м<sup>2</sup> (84–97 ккал/см<sup>2</sup>). Пасмурных дней насчитывается от 175 на северо-западе до 135 на юго-востоке, ясных – от 30–35 за год на северо-западе до 40–42 на юго-востоке. На большей части территории страны максимум безоблачных дней приходится на март–апрель, и только на юго-востоке – на июль–сентябрь. Продолжительность солнечного сияния составляет в среднем за год 1 730–1 950 часов, возрастая к юго-востоку. Она минимальна в осенне-зимний период (когда бывает до 20 дней в месяц без яркого солнца), а в остальные дни насчитывает в среднем по 3 часа. В мае – июле солнце не показывается только 1–3 дня в месяц, при этом в отдельные дни продолжительность сияния достигает 16 часов. Май, июнь и июль вместе дают примерно 48 % годового прихода суммарной солнечной радиации, а ноябрь, декабрь и январь – только 5 % (табл. 2.1.). Средний месячный уровень солнечной радиации среди областных центров Беларуси колеблется от 23 908 ккал/м<sup>2</sup> в Гродно, до 25 542 ккал/м<sup>2</sup> в день в Гомеле. При этом в декабре месяце, в период наименьшей инсоляции, на территорию страны падает 440–593 ккал/м<sup>2</sup>, а в период наибольшей инсоляции, в мае месяце – 4 248–4 472 ккал/м<sup>2</sup> в день

На территории Республики преобладают западный перенос воз-

душных масс, поэтому ветры чаще имеют западное, северо-западное и юго-восточное направления. Ветры приносят в летний период пасмурную погоду и дожди, в зимний период – снег и оттепели.

Температура в зимний период понижается в направлении с юго-запада на северо-восток. Погода не имеет сурового характера, абсолютный минимум ( $-44\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) отмечен в Витебской области. В летний период температура обычно ниже  $+15^{\circ}$  не опускается и возрастает в направлении с северо-запада на юго-восток, абсолютный максимум ( $+38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) зафиксирован в Гомельской области.

Таблица 2.1 – Средний месячный уровень солнечной радиации (солнечная постоянная) в городах Беларуси ( $\text{кВтч/м}^2/\text{день}$ )

Города	Месяцы												Средняя
	ян-варь	фев-раль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
Брест	0,88	1,61	2,69	3,80	5,00	4,97	4,78	4,34	2,86	1,65	0,87	0,68	2,85
Гродно	0,80	1,50	2,62	3,70	4,98	4,90	4,75	4,33	2,82	1,58	0,77	0,61	2,78
Витебск	0,72	1,50	2,70	3,87	5,20	5,24	5,21	4,24	2,75	1,52	0,80	0,51	2,86
Могилев	0,86	1,69	2,85	3,82	5,01	5,05	4,99	4,23	2,84	1,66	0,85	0,65	2,88
Гомель	0,93	1,74	2,91	3,90	5,11	5,18	5,09	4,42	2,95	1,76	0,92	0,69	2,97
Минск	0,81	1,64	2,76	3,75	4,94	4,95	4,86	4,32	2,73	1,55	0,82	0,57	2,81

Годовые суммы атмосферных осадков (500–700 мм) благоприятны для ведения сельского хозяйства. Для Беларуси характерен умеренно континентальный климат. Континентальность климата (разность между зимними и летними температурами) возрастает с юго-запада на северо-восток и имеет амплитуды температур от 23 до  $26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В целом оценивая факторы, определяющие климат Беларуси, можно заключить, что климатические ресурсы страны являются благоприятными для земледелия и выращивания культур умеренных широт.

В силу тесных взаимосвязей природных условий, экономических и социальных объектов в Беларуси используется и проводится интегральное, общегеографическое районирование территории. В Беларуси нет резких природных и экономических отличий. Однако в разных частях имеются свои различия: в природных условиях, размещении

населения, специализации хозяйства, что стало основанием для выделения трёх природно-хозяйственных районов: северная Беларусь, центральная Беларусь и южная Беларусь. Заметим, что их границы не всегда совпадают с границами административно-территориальных единиц – областей, районов. Природно-хозяйственное районирование необходимо для ведения правильного, рационального территориального планирования хозяйства, видения перспектив и проблем его развития. В последнее время, в связи с заметным потеплением климата, вносятся предложения о выделении четвертого района на юге республики.

Для того, чтобы представить, что представляют собой природно-хозяйственные районы рассмотрим один из них – центральный.

Центральная Беларусь (ЦБ) широкой полосой вытянута от государственной границы с Польшей и Литвой до государственной границы с Россией и охватывает большую часть Гродненской и Минской областей, Могилевскую область (кроме Глусского района), северные районы Брестской области, Рогачевский и Кормянский районы Гомельской области. Это самый большой по площади природно-хозяйственный район (ПХР) (43,4 % территории Беларуси). Для ЦБ характерен пересеченный рельеф – возвышенности Белорусской гряды. Здесь находится высшая точка Беларуси. Климат умеренно теплый, влажный, с понижением среднегодовой температуры с запада на восток. Лесистость и заболоченность меньше, чем в остальных ПХР, однако сохранились крупные массивы лесов — пуши: Беловежская, Налибокская, Гродненская. В ЦБ есть месторождения строительных песков, глины, мела, мергеля, ресурсы минеральных вод.

В пределах ЦБ проживает около половины населения всей Беларуси. Здесь находится 8 из 16 крупных городов. Большая часть населения проживает в поселках городского типа. Сельские поселения средней величины. Средняя плотность населения наиболее высокая по стране (55–60 чел/км<sup>2</sup>). ЦБ характеризуется высоким уровнем хозяйственной освоенности, особенно ее центральная часть. Она специализируется на производстве автомобилей, тракторов и других сельскохозяйственных машин, станков, продукции приборостроения. Значительное место занимает производство химической продукции (азотных удобрений, синтетического волокна, лаков, красок, шин), продукции легкой и пищевой промышленности. ЦБ покрыта густой сетью транспортных путей. Доля сельского хозяйства в общехозяйственной продукции здесь ниже, чем в других ПХР, особенно в ее центральной части. Сельское хозяйство специализируется на молочно-мясном животноводстве, свиноводстве, картофелеводстве, пригородном хозяйстве.

В ЦБ находится Минск – политический, экономический, культурный, научный центр и крупнейший транспортный узел Беларуси. На его предприятиях вырабатывается 1/5 всей промышленной продукции республики. В промышленности значительно преобладает машиностроение: далеко за пределами Беларуси известна продукция автомобильного, тракторного заводов, смежных производств – моторного, рессорного, подшипникового; четырех станкостроительных предприятий. Работает ряд производственных и научно-производственных объединений приборостроения и радиоэлектронной промышленности: «Горизонт», «Интеграл», «Гранат», «Комплекс». Второе место в структуре промышленности города принадлежит легкой промышленности (текстильной, швейной, трикотажной, обувной и др.), третье – пищевой.

Минский хозяйственный узел – самый мощный и сложный в Беларуси. Он вышел за пределы Минской области и охватывает хозяйственные центры Сморгонь, Осиповичи, Борисов, Молодечно. Для развития Минского хозяйственного узла большое значение имеет Вилейско-Минская водная система. Высокая концентрация промышленности в Минске, рост населения столицы (около 2 млн.) создают ряд проблем – жилищных, экологических. Поэтому в дальнейшем не предусматривается строительство в Минске новых крупных промпредприятий, а отдельные цеха уже существующих выносятся за пределы города.

Гродненский хозяйственный узел определяют химическая (ПО «Азот», «Химволокно») и легкая (обувная фабрика «Неман», тонкосуконный комбинат и др. в Гродно, сахарный завод – в Скиделе, завод «Автопровод» – в Щучине) промышленность.

Барановичский хозяйственный узел характеризуется как крупный центр хлопчатобумажной промышленности (в Барановичах выпускается 28 видов бельевых и технических тканей). Здесь работают заводы автоматических линий, автомобильных агрегатов. Могилевскому и Бобруйскому хозяйственным узлам свойственен химико-машиностроительный профиль. В Могилеве работают заводы производственных объединений «Химволокно», «Могилевсельмаш», «Строймашина», «Зенит», автомобильный и лифтостроительный заводы. В Бобруйске производят шины, выпускают тракторные прицепы, транспортеры для корнеплодов. Промышленность этих узлов дополняется в Могилеве текстильной и пищевой, в Бобруйске – деревообрабатывающей и пищевой отраслями. В этих узлах в силу их промышленной напряженности необходимо проведение мер по улучшению экологической ситуации.

В целом географическое положение Беларуси выгодное. Она находится на водоразделе Балтийского и Черного морей (по рекам когда-то

пролегал древний торговый путь «из варяг в греки»); размещена в центре Европы, на перекрестке важных трансконтинентальных путей Восток – Запад; на кратчайшем пути между мощными государствами, в непосредственной близости с тремя великими славянскими народами (русским, украинским, польским). Географическое положение предоставляет благоприятные условия для экономической интеграции Беларуси в общеевропейское содружество.

На планете Земля количество природных ресурсов распределено по её территории неравномерно. Поэтому имеются богатые ресурсами страны и бедные. Благоприятность проживания населения и его достаток во многом определяется наличием природных ресурсов в стране, к которым относятся, в том числе, и земельные ресурсы. Известно, что земельная площадь каждой страны является основой расселения людей и размещения народнохозяйственных объектов. С земельными ресурсами напрямую связано количество поступающей на территорию солнечной энергии.

Для определения поступающей на автотрофный уровень Беларуси солнечной энергии необходимо рассмотреть общую площадь страны и площади основных экосистем, имеющих наибольшее народнохозяйственное значение.

Из национальных источников статистики известно, что земельный фонд Беларуси – это площадь страны, составляющая 20 759,6 тыс. га. Для сравнения сопоставим территорию страны с общемировой. Общая площадь поверхности Земли насчитывает 510,2 млн км<sup>2</sup>, из которых на долю суши приходится 149,1 млн км<sup>2</sup> (29,2 %), а на количество земельных ресурсов (часть мировых земельного фонда пригодного для хозяйственного использования) – 129 млн км<sup>2</sup> (25,3 %) (рис. 1).

Следовательно, площадь Беларуси от общей площади Земли составляет 0,04 %, от площади суши – 0,14 % и от площади мировых земельных ресурсов – 0,16 %. Обеспеченность 1 жителя планеты площадью суши составляет 2,13 га, земельными ресурсами – 1,84 га (при численности населения 7 млрд человек). По мере увеличения количества земель обеспеченность земельными ресурсами снижается.

В Беларуси, по состоянию на 1 января 2012 года на душу населения приходилось по 2,19 га общей площади земли.

Земельный фонд республики состоит из земель разнообразных категорий. К ним относятся площади сельскохозяйственных угодий, занятые лесами и кустарниками, находящиеся под водными объектами, отведенные под населенные пункты, промышленность, транспорт и др.

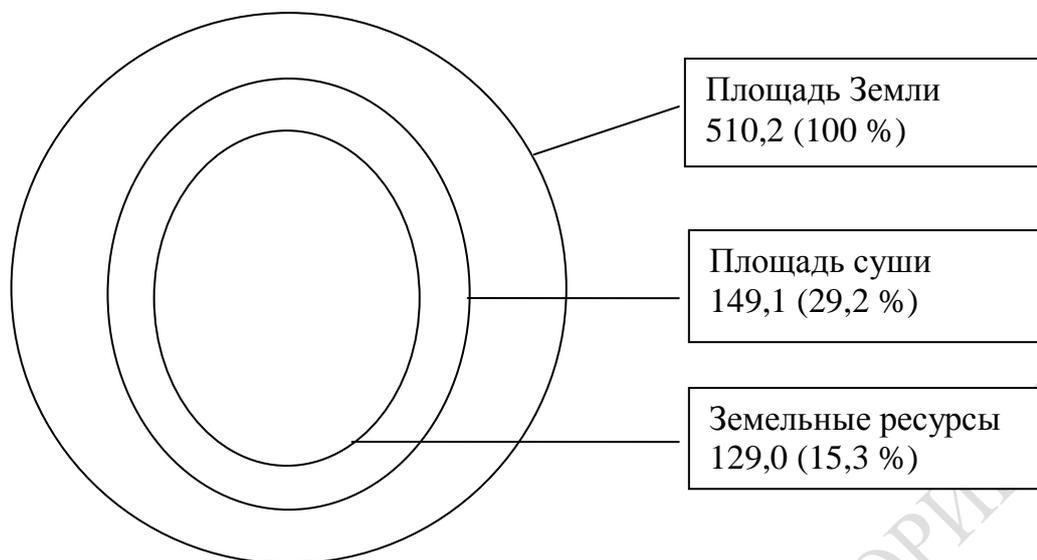


Рисунок 1 – Площади Земли, суши и земельного фонда, млн. км<sup>2</sup>

С точки зрения использования солнечной энергии интерес представляет тот земельный фонд, который входит в состав важнейших народнохозяйственных экологических систем. К таким важнейшим экосистемам на территории Беларуси относятся сельскохозяйственная, лесная и водно-болотная экосистемы.

Из статистических источников страны можно установить, что земельный фонд состоит из земель сельскохозяйственного назначения в количестве 8 874 тыс. га (земли сельскохозяйственных организаций, крестьянских, фермерских хозяйств и граждан), лесные и лесопокрытые земли составляют 9 468,6 тыс. га и под болотами и водными объектами находится 1 364 тыс. га. Следовательно, основные экологические системы республики занимают площадь 19 706,6 тыс. га или 95 % от общего земельного фонда.



Рисунок 2 – Площади сельскохозяйственного назначения, под лесами, под болотами и водными объектами Беларуси, (тыс. га)

Сельскохозяйственные земли имеют тенденцию к сокращению под воздействием различных антропогенных и природных факторов. Влияние природных факторов в первую очередь связано с постепенным изменением климата. Действие антропогенных факторов выражается в радиоактивном и других видах загрязнения почв, отводе сельскохозяйственных земель для несельскохозяйственных целей и т. д.

Остальная площадь занята населенными пунктами, транспортом, промышленными объектами, на территории которых растения не имеют существенного практического значения, например, такого как в лесах, поэтому носят более декоративный, эстетический характер и где не образуется органическое вещество в таких объемах как это происходит на площадях основных экосистем страны.

Распределение земель по административным образованиям в Беларуси сложилось таким образом, что из шести областей наибольшей площадью владеет Гомельская область, затем следуют Минская и Витебская области и наименьшей территорией располагает Гродненская область (рис. 3).

На состояние сельскохозяйственных экологических систем, их продуктивность большое влияние оказывает состав почв. Почва – верхний слой земной поверхности, обладающий плодородием благодаря наличию в нем слоя гумуса (перегноя).



Рисунок 3 – Распределение земельной площади по областям Беларуси, тыс. га

В каждой местности складывается свое особое сочетание факторов почвообразования, но ведущим остается материнская порода, состав

которой во многом определяет свойства почвы, ее водный и тепловой режим (рис. 4). В связи с этим различают почвы: песчаные, супесчаные, глинистые, суглинистые, лессовидные, торфяные (механический состав).

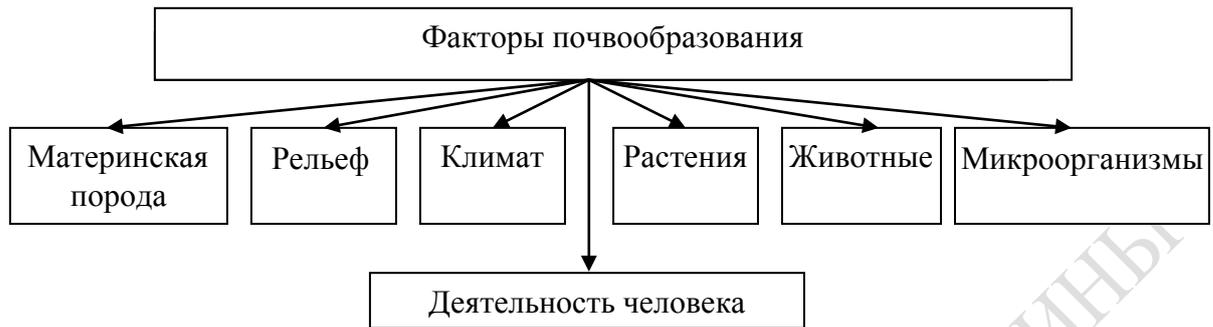


Рисунок 4 – Влияние различных факторов на образование почв

В природе сложилось удивительное разнообразие почв – более 100. Для удобства хозяйственного использования многочисленные почвенные разновидности объединяют в наиболее крупные типы, которые формируются под воздействием тех или иных почвообразовательных процессов. Среди них можно выделить подзолистый почвообразовательный процесс, во время которого отмирает опад хвойного леса, под воздействием почвообразовательных факторов образуется кремнезем светло-серого цвета; гумуса почти нет (1 %), почва кислая подзолистая. В сельском хозяйстве почти не используется. Эти почвы встречаются на всей территории Беларуси, особенно в Витебской и Минской областях.

Дерновый почвообразовательный процесс развивается под луговой растительностью и связан с ускоренным накоплением гумуса (пойменные, аллювиальные почвы); если этот процесс происходит на карбонатных породах, образуются дерново-карбонатные почвы. Это самые богатые почвы в Беларуси, но, к сожалению, их немного (распространены они в основном на востоке).

Названные выше два почвообразовательных процесса, как правило, совмещаются, и в результате образуются *дерново-подзолистые почвы*. Они занимают почти 4/5 территории Беларуси. Почвы, бедные перегноем, требуют известкования. На таких почвах плохо растет пшеница.

*Болотный почвообразовательный процесс* развивается в условиях чрезмерного увлажнения, продолжительного застоя влаги и нехватки кислорода. Растительные остатки разлагаются медленно, что и приводит в дальнейшем к формированию торфяно-болотных почв.

Почва – основное средство сельскохозяйственного производства, богатство страны. Этот земельный ресурс тоже истощается, требует внесения минеральных удобрений, правильной агротехники, рекультивации

(восстановления). Эрозийные (разрушительные) процессы приводят к уничтожению и исключению почвы из сельскохозяйственного оборота. Особенно губительны водная эрозия (характерна для почв Витебской и Могилевской областей) и ветровая (на осушенных торфяниках).

Важнейшим свойством почвы является плодородие, то есть способность обеспечивать рост и развитие растений. Это свойство почвы представляет особую ценность для всех живущих на суше организмов, в том числе и человека. Почва представляет собой важнейшую экологическую систему биосферы. Она участвует в круговороте веществ и энергии, в образовании экологических связей живых организмов с литосферой, гидросферой и атмосферой.

Плодородие почв – основа стабильного и эффективного сельскохозяйственного производства, гарантия продовольственной безопасности. В настоящее время повышение почвенного плодородия сельскохозяйственных земель отнесено к числу важнейших государственных приоритетов в нашей стране.

Для территории Беларуси характерны такие типы почв как: дерново-подзолистые, дерново-подзолистые заболоченные, дерново-болотные, дерновые, торфяно-болотные и пойменные. По составу подстилающих пород почвы подразделяются на песчаные, супесчаные и суглинистые.

Основателем научного почвоведения русским учёным В. В. Докучаевым (1846–1903) было установлено пять факторов почвообразования. К ним он относил материнскую породу (почвообразующую), растительные и животные организмы, климат, рельеф и время. Позже к этим факторам добавили почвенные и грунтовые воды и хозяйственную деятельность человека (В. А. Вронский, 1996).

В профиле почв выделяют чаще всего три основных горизонта:

- перегнойно-аккумулятивный горизонт или гумусовый;
- элювиальный, или горизонт вымывания растворов;
- иллювиальный горизонт, в который из вышележащего горизонта вымываются вещества.

Ниже этих горизонтов находится материнская или почвообразующая порода (песок, суглинки, известняк, гранит, и др.). Для подзолистых почв характерны все три указанных горизонта.

Для разных типов почв характерны разные скорости образования гумусового горизонта. Например, для чернозёмов при благоприятных условиях скорость образования гумусового горизонта составляет 0,4–0,5 мм/год, для подзолов – 0,1–0,2 мм/год или в 2,5–4 раза ниже. К настоящему времени установлено, что для образования подзолов требуется не менее 1 500 лет (В. А. Вронский, 1996).

Почвенный покров подвергается значительному техногенному давлению. Оно проявляется в накоплении в почвах разного рода

опасных загрязняющих веществ, среди которых следует выделить радиоактивные элементы чернобыльского следа. Сокращение внесения органических удобрений и всё более широкое применение минеральных удобрений способствует появлению ряда проблем. Одновременно с этим использование ядохимикатов отрицательно сказывается на количестве почвенных микроорганизмов, вызывает гибель множества насекомых-опылителей, что в конечном итоге приводит к снижению урожайности полевых культур.

Одной из бед земледелия является разрушение и истощение плодородного слоя в результате обработки почвы. В процессе обработки почв происходит значительное уменьшение содержания гумуса. Гумус – это органическое вещество почвы, образующееся в результате биохимического разложения растительных и животных остатков и накапливающееся в верхнем почвенном горизонте. Гумус является одним из главных источников питания растений. Он состоит из двух групп органических соединений. В первую группу входят соединения, содержащиеся в остатках растений и животных и составляющие 10–15 % от всей массы органики. Вторая группа представляет собой основной фонд гумуса и состоит из гумусовых веществ, возникающих при преобразовании органических остатков: гумин, гуминовые кислоты, фульвокислоты и др. Превращение органического вещества в почве связано с жизнедеятельностью микроорганизмов. Например, в 1 г подзолистой почвы может находиться до 0,6 млрд. микроорганизмов, в черноземной, для которых характерны большие запасы гумуса, – до 2,5 млрд. (В. А. Вронский, 1996). По данным М. М. Кононовой (1974) максимальное накопление гумуса в 1-метровом слое наблюдается в черноземной почве (500 т/га), минимальное – в серозёмной почве (40 т/га), а общие запасы гумуса в почвах мира определяются в количестве 2561 млрд. т. По её расчётам в подзолистых почвах запасы гумуса в 1-метровом слое оцениваются в 99 т/га. Применив данный показатель к площади республики можно получить, что общие запасы гумуса в Беларуси могут находиться на уровне 2,055 млрд. т, или около 0,08 % от мировых запасов, а запасы гумуса в землях сельскохозяйственного назначения – соответственно 0,89 млрд т. и 0,03 %.

Сведения о толщине почвенного слоя, скорости формирования гумусового горизонта и его изменениях, в условиях нарастающего антропогенного воздействия, используются в земледелии при производственной деятельности для предотвращения эрозийных процессов.

Из трёх самых обширных экосистем на территории Беларуси: сельскохозяйственной, лесной и водно-болотной, к важнейшей следует отнести сельскохозяйственную экосистему, которая обеспечивает население

сырьём для продуктов питания и одежды. Сельскохозяйственная экосистема является естественной базой для агропромышленного комплекса (АПК) Беларуси. АПК – один из крупнейших межотраслевых комплексов, объединяющий отрасли экономики по производству сельскохозяйственной продукции, ее переработке и доведению до потребителя.

АПК специализируется на молочном и мясном скотоводстве, свиноводстве, льноводстве, картофелеводстве. В товарной продукции сельского хозяйства около 70 % приходится на животноводство, то есть в специализации АПК оно преобладает.

В растениеводческой отрасли АПК зерновое хозяйство – основа сельскохозяйственного производства, под ним занято около 50 % всей посевной площади. Однако республика до последнего времени не всегда удовлетворяла свои потребности в зерне за счет собственного производства, поэтому ежегодно импортировала до 3 млн. т в основном на корма. Среди зерновых культур посеvy пшеницы незначительны, поскольку для ее возделывания в Беларуси нет благоприятных природных условий. Озимая рожь – хлебная культура. По сбору ржи Беларусь среди стран СНГ уступает только РФ. Высеваются повсеместно.

Ячмень – крупяная и фуражная культура. Наибольшие площади занимает в центральной, восточной и северо-восточной частях республики. Овес – в основном кормовая культура. Наибольшие площади на севере республики. Гречка, пшено – ценные крупяные культуры. В основном высевают на юге, их посевные площади постоянно увеличиваются.

Среди технических культур лен-долгунец – главная техническая культура в Беларуси. Лен выращивают главным образом на севере и северо-востоке республики. В Орше расположен второй по мощности в СНГ (после Костромского) льнокомбинат, в задачу которого входит переработка всего белорусского льноволокна. Лен относится к экспортной культуре. Следующей не менее важной культурой является сахарная свекла. Посевные площади сахарной свеклы находятся на территории трех областей: Гродненской, Брестской, Минской. На переработке сахарной свеклы в республике специализируются 4 сахарных завода (в Скиделе, Жабинке, Слуцке, Городее), обеспечивающих потребности страны в сахаре. В последнее время на полях республики прижилась такая ценная культура как рапс. Рапс – однолетнее растение, из семян которого получают масло и рапсовый жмых. Посевы его ежегодно расширяются.

Картофель – универсальная культура: это «второй хлеб», корм для скота, техническая культура. Картофель также экспортная культура. Беларусь производит до 4–5 % мирового сбора картофеля.

В отношении огородничества следует отметить, что им занимаются специализированные и пригородные хозяйства, выращивающие капусту, морковь, столовую свеклу, огурцы, помидоры, лук, чеснок.

Хозяйства Беларуси успешно занимаются разведением плодовых и ягодных культур. На Полесье заложены промышленные плантации клюквы.

Основой кормов для животных являются кормовые культуры. Под ними занято до 40 % всей посевной площади (второе место после зерновых). Наиболее значительны посевы многолетних трав (клевер, тимофеевка), зернобобовых и корнеплодов (кормовая свекла, брючка, турнепс).

В АПК республики к второй важнейшей отрасли относится животноводство. Главная отрасль животноводства – разведение крупного рогатого скота. На севере республики наиболее благоприятные условия для развития молочно-мясного животноводства, в южных и юго-восточных районах – мясного.

Свиноводство развито повсеместно. Во всех областях республики имеются крупные свиноводческие комплексы.

В связи с сокращением численности сельского населения в последние годы поголовье лошадей сокращается. Есть крупные конезаводы, спортшколы (в Ратомке под Минском). Племенные лошади поставляются на экспорт.

Овцеводство развито повсеместно. Эта отрасль животноводства в республике в основном мясошерстного направления. Принимаются меры по увеличению численности животных для обеспечения шерстью камвольных комбинатов и ценным мясом населения.

Кролиководство является вспомогательной отраслью мясной промышленности. Также имеет место разведение ценных пушных зверей (норки, серебристо-черной лисы, нутрии, норвежского соболя).

Во всех областях Беларуси имеются крупные птицефабрики, среди них – бройлерные.

Одна из проблем в животноводстве Беларуси – создание прочной кормовой базы. С расширением крупных животноводческих комплексов в республике возникла экологическая проблема – загрязнение территорий органическими стоками.

Как и в других местах на Земле, в Беларуси воздействие человека на природу на протяжении исторического времени неуклонно расширялось и увеличивалось по своей интенсивности. Первые его проявления ещё известны со времен палеолита, когда кочевые племена проникли в бассейн Днепра и Сожа, истребляя крупных животных. С переходом к земледелию и животноводству начала уменьшаться лесистость Беларуси, развивалась водная и ветровая эрозия почв, менялся ландшафт. В последующем добыча полезных ископаемых, мелиорация и другая деятельность человека еще более стали воздействовать на природную среду, что отразилось на составе растительного

и животного мира Беларуси (исчезли тур, лесной тарпан, соболь, выхухоль, осетры, около 50 видов растений и др.). Негативное влияние на природу не прекратилось.

Загрязнение атмосферы происходит по причине выбросов вредных веществ в результате работы транспорта, многих промышленных предприятий, особенно ТЭЦ, нефтеперерабатывающих заводов, химических комбинатов, цементных заводов. Наблюдается неблагоприятная экологическая обстановка во многих промышленных городах и узлах. Для улучшения состояния воздушного бассейна требуется внедрение очистки воздуха – усовершенствование технологических процессов (с помощью пыле- и газоулавливающих установок в республике обезвреживается 2/3 выбросов в атмосферу).

К источникам загрязнений вод и почв следует отнести сточные воды промышленных предприятий, животноводческих комплексов, жилищно-коммунального хозяйства (до 3 млрд. м<sup>3</sup> в год), машиностроительных заводов; засоление и загрязнение грунтовых вод и почв химическими предприятиями; химизация сельскохозяйственного производства. Особую угрозу рекам и водоемам представляют стоки животноводческих комплексов. Пути охраны почв и вод: оборотное водопользование; охрана растительного мира вдоль водоемов; сбор и утилизация промышленных отходов; введение в промышленность маловодных технологий и т. п.

После чернобыльской катастрофы в экологические системы страны попали долгоживущие радионуклиды. Радиационное загрязнение – наличие в атмосфере радиоактивных веществ, опасных для жизни человека, растительного и животного мира, уровень содержания, которых превышает допустимую норму. В результате катастрофы на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г. за 9 дней выброшено в атмосферу около 50 млн. кюри радиоактивных элементов, загрязнено около 1/5 территории Беларуси (более 7 тыс. км<sup>2</sup>). Беларусь была объявлена зоной экологического бедствия. В настоящее время ведется постоянный контроль за уровнем радиации, проводится комплекс мероприятий по ее снижению. Организован Полесский радиационно-экологический заповедник на территории зоны отселения в Брагинском, Хойникском и Наровлянском районах Гомельской области (1988 г.) для изучения и ведения радиобиоэкологического мониторинга главных компонентов этой местности.

Следует заметить, что территория Беларуси подвержена экологическому загрязнению из-за насыщенности предприятиями, построенными в основном в 1960-е гг., производящими аммиак, бензол, полимеры, другими химически вредными производствами; ее территорию пронизывают небезопасные нефте- и нефтепродуктопроводы. Все это требует тщательных экологических наблюдений и прогнозов.

## Глава 3 ЭНЕРГЕТИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### 3.1. Поступление солнечной энергии в биосистемы Беларуси

Живые организмы в экосистемах Беларуси подвергаются воздействию солнечного света. Свет служит первичным источником энергии, без которого невозможна жизнь. Установлено, что на земную биосферу из космоса падает солнечный свет с энергией  $2 \text{ кал/см}^2$  в минуту (солнечная постоянная). При прохождении через атмосферу часть солнечной энергии теряется и до поверхности Земли доходит не более 67 % энергии солнечного света или  $1,34 \text{ кал/см}^2$  в минуту (рис. 5.).

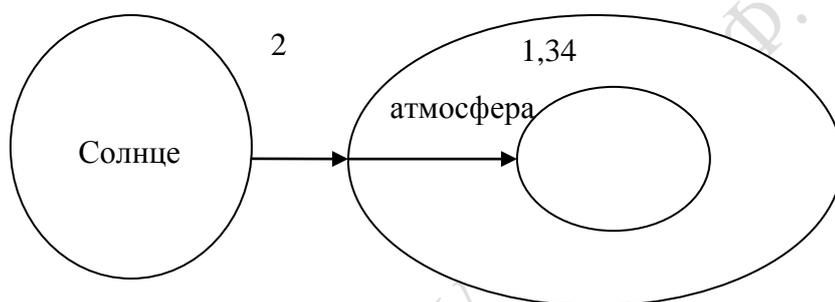


Рисунок 5 – Поступление солнечной энергии к поверхности Земли,  $\text{кал/см}^2/\text{мин.}$

Поступление солнечной энергии за день к автотрофному уровню наземных экосистем в умеренной зоне варьирует от  $100$  до  $800 \text{ кал/см}^2$ , или в среднем около  $300\text{--}400 \text{ кал/см}^2$  ( $3\ 000\text{--}4\ 000 \text{ ккал/м}^2$ ). В данный диапазон от  $100$  до  $800 \text{ кал/см}^2$ , или  $1,1\text{--}1,5 \text{ Мккал/м}^2$  в год укладываются почти все районы земного шара в любой сезон (Ю. Одум, 1986).

Как было отмечено, территория Республики Беларусь расположена между  $51$  и  $56^\circ$  с.ш. умеренного пояса, на которую поступает суммарная солнечная радиация от  $84 \text{ ккал/см}^2$  на севере до  $97 \text{ ккал/см}^2$  на юге. Следовательно, территория находится под суммарной солнечной радиацией в диапазоне от  $0,84$  до  $0,97 \text{ Мккал/м}^2$  или в среднем  $0,91 \text{ Мккал/м}^2$  в год. Отсюда можно определить, что поступление солнечной энергии в течение года на всю площадь поверхности страны должно составлять около  $188\ 912 \text{ Тккал}$ . В переводе в условные единицы данное количество энергии эквивалентно  $26\ 987$  млн. т у.т. Поступление солнечной энергии в основные экосистемы страны пропорционально занимаемой ими площади (рис. 6). Из данного

количества энергии на земли сельскохозяйственного назначения её поступает 42,7 %, на земли под лесами – 45,6 % и на земли под болотами и водными объектами – 6,6 %.

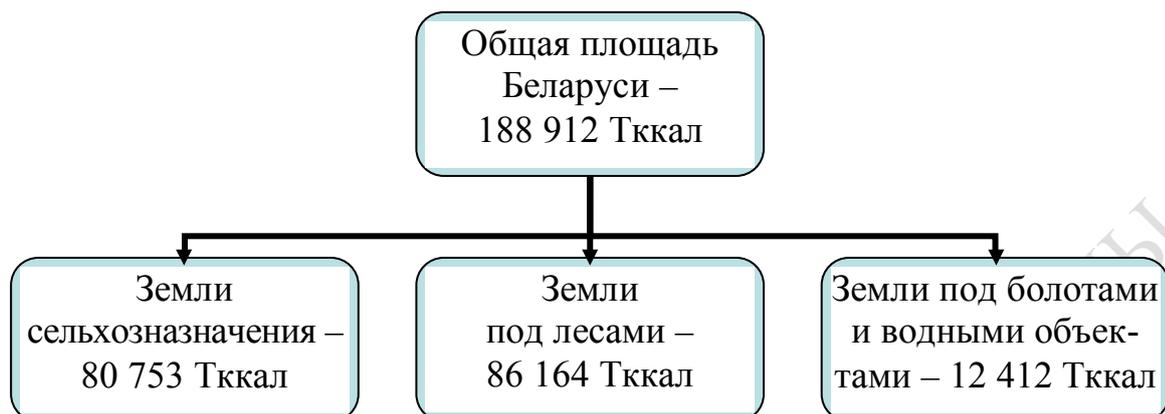


Рисунок 6 – Годовое поступление солнечной энергии на территорию Беларуси и основные экологические системы

Это в такой же степени относится и к административным образованиям республики. При поступлении на поверхность территории Брестской области  $0,97 \text{ Мккал/м}^2$ , Гродненской области  $0,96 \text{ Мккал/м}^2$ , Гомельской области  $0,95 \text{ Мккал/м}^2$ , Минской области  $0,91 \text{ Мккал/м}^2$ , Витебской и Могилёвской областей по  $0,84 \text{ Мккал/м}^2$  солнечной энергии в год её общее поступление примерно пропорционально территориям областей (рис. 7)



Рисунок 7 – Поступление солнечной энергии на территорию Беларуси и областей

Энергия общего потока излучения в разных ярусах экосистемы в зависимости от сезона года, а также местоположения на земном шаре различается. Проходя через атмосферу, солнечное излучение ослабляется атмосферной пылью и газами. Степень его ослабления зависит от длины волны. Ультрафиолетовые лучи с длиной волны менее 0,3 мкм почти полностью задерживаются озоновым слоем, находящимся на высоте 15–25 км от земной поверхности. Видимый свет ослабляется постепенно, инфракрасное излучение поглощается в атмосфере неодинаково – в зависимости от длины волны.

Солнечная энергия – это не что иное как электромагнитные волны. Она, достигнув поверхности Земли, на 45 % состоит из видимого света, на 45 % – из инфракрасного и на 10 % из ультрафиолетового излучения. Меньше всего при прохождении через атмосферу ослабляется видимый свет (Reifsnyder, Lull, 1965). Поэтому фотосинтез может осуществляться в бессолнечные дни и в толще воды. Растения используют в основном лучи синего (0,4–0,5 мкм) и красного (0,6–0,7 мкм) спектров излучения. Видимый свет ещё называют фотосинтетически активной радиацией (ФАР).

Различные виды лучистой энергии неодинаково воздействуют на живые организмы: ультрафиолетовые лучи с длиной волн 0,25–0,30 мкм стимулируют образование у животных витамина Д, с длиной волны 0,38–0,40 мкм – активно участвуют в процессах фотосинтеза; инфракрасное излучение воспринимается всеми микроорганизмами как тепло (Радкевич, 1998). Значение для всего живого имеют качественные признаки света – длина волны, цвет, интенсивность и продолжительность воздействия. Растения и животные реагируют на изменение длины волны света.

Как у наземных, так и водных растений активность фотосинтеза связана линейной зависимостью с уровнем светового насыщения: отклонение от оптимума вызывает падение фотосинтеза.

Для измерения световой энергии применяются изобретенные приборы – соляриметры, которые под действие солнечного света вырабатывают электрический ток, адекватно поступающей энергии. Для измерения общего потока энергии всех длин волн используются радиометры.

Следующим элементом окружающей среды является тепловое излучение. Оно исходит от тел и поверхностей, температура которых выше нуля. Количество тепловой энергии, получаемое животными или растениями со всех сторон за сутки, может превышать излучение, получаемое от солнца. При этом тепловая энергия поглощается биомассой лучше, чем солнечное излучение, что имеет существенное значение в сглаживании колебаний суточных температур. Биомасса

растений, массы воды, поверхность почвы, поглощая дневной поток энергии и отдавая тепловую энергию, ночью смягчают условия обитания живых организмов. Следовательно, для жизнедеятельности обитателей экосистем важными факторами являются, как солнечное излучение, так и тепловая энергия. Вместе с тем для продуктивности экологических систем к определяющим условиям относится солнечное излучение, то есть та солнечная энергия, которую получают растения в течение года. Годовой приток солнечной (первичной) энергии является пусковым механизмом для всех биологических систем.

Распределение солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли, в биосфере имеет различные направления. По данным М. Hulbert (1971) 30 % солнечного излучения от годового поступления отражается, 46 % превращается в тепло, 23 % расходуется на испарение и осадки, 0,5 % уходит на нагревание Земли, 0,8 % используется в фотосинтезе, 0,2 % расходуется на ветер, волны, течения и около 0,0017 % приходится на энергию приливов. Из приведенных показателей видно, что лишь незначительная часть энергии солнечного излучения падающего на поверхность планеты фиксируется в биомассе растений.

Что касается Беларуси, где в течение года на  $1 \text{ м}^2$  поверхности земли поступает в среднем 0,91 Мккал солнечной энергии, то до всей её площади доходит 188 912 Тккал данного излучения. Из этого количества, согласно данным Hulbert М., в фотосинтезе растений может быть использовано около 7,3 тыс. ккал энергии на  $1 \text{ м}^2$  или 73 Мккал на площади в 1 га. Если бы вся территория республики была покрыта естественными фотосинтезирующими растениями, то в фотосинтезе использовалось бы около 1 515 Тккал солнечной энергии (0,8 % солнечного излучения). Но поскольку значительная часть территории республики освоена и урбанизирована, фотосинтезом растений, существующей сельскохозяйственной экосистемы, может усваиваться около 648 Тккал, лесной экосистемы – 685 Тккал и водно-болотной экосистемы – 99,6 Тккал. На фотосинтез всех этих трёх экосистем в целом приходится 1 432,6 Тккал солнечной энергии.

По данным Ю. Одума (1986) в биосферу поступает лучистой солнечной энергии в среднем  $1 \cdot 10^6$  ккал/ $\text{м}^2$  в год. Лучистая энергия в процессе фотосинтеза используется для получения валовой первичной продукции в количестве 2 000 ккал/ $\text{м}^2$  в год (колебания от 0,2 до 5 % от поступающей солнечной энергии). После расходования части валовой первичной энергии на дыхание растений остается чистая первичная продукция с энергией в среднем 1 000 ккал/ $\text{м}^2$  в год (колебания от 0,1 до 4 % от лучистой солнечной энергии). Из приведенных данных видно, что в чистую продукцию из валовой переходит

не более 50 % энергии. Истраченная энергия используется растениями на поддержание своей жизнедеятельности. При неблагоприятных условиях (высокие температуры) растения тратят много валовой энергии на дыхание. При благоприятных условиях среды растения могут получать дополнительную энергию из природных источников (тропические леса) или за счёт деятельности человека путём орошения полива, внесения удобрения и тем самым увеличивая чистую первичную продукцию. По большому счёту человек направляя в сообщество растений дополнительную энергию, снижает её расход в растениях на дыхание.

Годовая продукция большинства сельскохозяйственных культур невелика, поскольку однолетние зерновые продуктивны лишь на протяжении нескольких месяцев. Чистая первичная продукция составляет около половины валовой продуктивности и урожай зерновых, получаемый человеком, не превышает одной трети валовой продуктивности. По определению Ю. Одума всякий источник энергии, уменьшающий затраты на самоподдержание экосистемы и увеличивающий ту долю энергии, которая может перейти в продукцию, относится к вспомогательным потокам энергии, или энергетической субсидии. По его мнению, для удвоения урожая необходимо повышать поступления удобрений, пестицидов и механической энергии приблизительно в 10 раз.

Кроме солнечной энергии в недрах Земли сконцентрированы запасы геотермальной энергии. Имеются запасы геотермальной энергии и в недрах Беларуси. Однако, из-за технических проблем, связанных с бурением скважин, следовательно, высокой затратностью, данный вид энергии пока не используется, но в перспективе, при развитии технологий и удорожания органического топлива может найти своё применение.

Когда стало понятно, от чего зависит и с чем связана продуктивность, а с ней и энергетика, экосистем стали выяснять, что следует понимать под продуктивностью экосистем. По определению Ю. Одума (1975) первичная продуктивность экосистем – это скорость, с которой лучистая энергия усваивается организмами-продуцентами в процессе фото- и хемосинтеза, и накапливается в форме органических веществ. В процессе производства органического вещества он предложил выделить четыре последовательных ступени. Первая ступень производства органического вещества – валовая первичная продуктивность или общая скорость фотосинтеза, включая те органические вещества, которые во время фотосинтеза были расходованы на дыхание за единицу времени на единицу площади. Вторая ступень или чистая первичная продуктивность – это скорость накопления органического вещества в растительных тканях за вычетом органического

вещества, использованного на дыхание. Третья ступень или чистая продуктивность сообщества – это скорость накопления органического вещества, не потребленного гетеротрофами (чистая первичная продуктивность минус потребление гетеротрофами) за учетный период. И, наконец, четвертая ступень или вторичная продуктивность – это скорость накопления энергии на уровне консументов.

Соотношение валовой и чистой первичной биологической продукции зависит от благоприятности условий среды. В благоприятных условиях чистая продукция может достигать до 50 % от валовой, в неблагоприятных – 5–10 % (Рахманкулова, 2002).

Р. Уиттекер (1980) по первичной биологической продукции (в сухом веществе) разделяет экосистемы на четыре класса:

- очень высокая (свыше  $2 \text{ кг/м}^2$  в год). Такая продукция характерна для влажных тропических лесов, коралловых рифов, геотермальных «оазисов» рифтовых зон глубоководий океана, плавней – высоких и густых зарослей тростника в дельтах Волги, Дона и Урала;

- высокая ( $1\text{--}2 \text{ кг/м}^2$  в год). Это липово-дубовые леса, прибрежные заросли рогоза или тростника на озере, посевы кукурузы и многолетних трав, если используются орошение и минеральные удобрения;

- умеренная ( $0,25\text{--}1 \text{ кг/м}^2$  в год). Преобладающая часть сельскохозяйственных посевов, сосновые и березовые леса, сенокосные луга и степи, заросшие водными растениями озера, «морские луга» из водорослей;

- низкая (менее  $0,25 \text{ кг/м}^2$  в год). Это пустыни жаркого климата, арктические пустыни островов Северного Ледовитого океана, тундры, полупустыни Прикаспия, вытоптанные скотом степные пастбища с низким и редким травостоем, каменистые степи.

Средняя биологическая продукция экосистем Земли не превышает  $0,3 \text{ кг/м}^2$  в год, так как на планете преобладают низкопродуктивные экосистемы пустынь и океанов.

В экосистемах существует связь разных типов продукции с поступлением солнечной энергии. Так, соотношение между поступлением солнечной энергии и первичной продуктивностью, доступной для гетеротрофов в среднем для биосферы составляет как  $100 : 0,1$ , для отдельных плодородных областей – как  $100 : 0,5$ . Для условий Беларуси это означает, что при поступлении в течение года к гетеротрофному уровню в среднем  $0,91 \text{ Мккал/м}^2$  солнечной энергии в первичной продукции её может быть зафиксировано около  $910 \text{ ккал/м}^2$ .

У травянистых растений на дыхание используется 40–50 %, а у деревьев – 70–80 % валовой первичной продукции. Первичную продукцию наземных экосистем обычно оценивают по годовому приросту

растительной биомассы (чистая продукция). Хотя под биомассой понимается количество живого органического вещества (растений, животных, грибов, бактерий), которое разделяется на фитомассу (массу растений), зоомассу (массу животных), микробную массу. Средняя биомасса на единице поверхности суши составляет 0,5 кг/га. В связи с тем, что длительность жизни разных организмов различна, то биомасса может быть больше годичной продукции (в лесах – в 50 раз, в степи – в 3–5 раз), равна ей (в сообществах культурных однолетних растений) или меньше (в водных экосистемах, где преобладают короткоживущие организмы планктона, дающие несколько поколений за год).

Обычно биомасса растений больше биомассы животных, хотя из этого правила есть исключения. Например, в водоемах масса зоопланктона может быть больше массы фитопланктона, так как жизнь водорослей фитопланктона менее продолжительна, чем жизнь организмов зоопланктона (за время жизни планктонного рачка может смениться до 4 поколений водорослей).

Каждая экосистема характеризуется определенными величинами чистой первичной продуктивности. Это наглядно видно по данным биомов Земли.

Биомы – это общее понятие, используемые для обозначения типов биологических сообществ, господствующих на обширных географических пространствах. Существует множество систем классификации биомов. Наиболее простую классификацию биомов получают путем сравнения региональных температур и осадков и соотнесения этих климатических факторов с общим обликом растительного сообщества. В таблице 3.1. приведена обобщённая информация по биологической продуктивности основных биомов мира и занимаемой ими площадей.

Из табличных данных следует, что ежегодная первичная продукция биосферы составляет 169,8 млрд т ( $\approx 170 \cdot 10^9$  т), биомасса растений – 1 836 млрд т, потребление биомассы животными 28,0 млрд т (16,5 % от первичной продукции биосферы или 1,5 % от биомассы растений), биомасса растений и животных – 1 838 млрд т (в т.ч. 0,11 % биомасса животных).

Годовая чистая первичная продукция суши оценивается в 115 млрд т, что составляет около 68 % от продукции биосферы. Биомасса растений суши достигает 1 832,7 млрд т, животными её потребляется 7,8 млрд т (6,8 % от первичной продукции суши или 0,4 % от биомассы растений), биомасса растений и животных составляет 1 833,7 млрд т (в т.ч. 0,05 % биомасса животных).

Абсолютные пустыни, скалы, пески и лёд покрывают 16 % поверхности земной суши и дают менее 1 % биопродукции. Влажный

тропический лес занимает около 11 % суши, но на его долю приходится больше чистой продукции наземных экосистем (32 %), растительной биомассы (42 %) и биомассы животных (33 %), чем на долю любого другого биома. Видовое разнообразие и богатство в тропиках также наиболее высокое. Минимальные показатели характерны для пустынь и полупустынь.

В гидросфере открытый океан – преобладающий тип морских биомов. Вместе с тем все остальные морские биомы вносят относительно большой вклад в общую чистую первичную продукцию, растительную и животную биомассу моря, исходя из занимаемых ими площадей. Следовательно, континентальный шельф, эстуарии, апвеллинговые зоны и рифовые системы более продуктивны с единицы площади, чем открытый океан.

Таблица 3.1 – Данные по продукции и биомассе основных биомов земного шара (по R. Whittaker, 1975)

Тип экосистемы	Площадь, млн. км <sup>2</sup> (в % к мировой)	Чистая первичная продукция, г/м <sup>2</sup> в год (в % к мировой)	Средняя биомасса растений, кг/м <sup>2</sup> (в % к мировой)	Потребление животными, млн. т в год	Животная продукция, млн. т в год	Биомасса животных, млн. т (в % к мировой)
1	2	3	4	5		7
Наземные экосистемы						
Тропический дождевой лес	17,0 (11,4)	2 200 (32,5)	45 (41,6)	2 600	260	330 (32,8)
Тропический сезонный лес	7,5 (5,0)	1 600 (10,4)	35 (14,1)	720	72	90 (9,0)
Вечнозеленый лес умеренного пояса	5,0 (3,4)	1 300 (5,7)	35 (9,5)	260	26	50 (5,0)
Листопадный лес умеренного пояса	7,0 (4,7)	1 200 (7,3)	30 (11,4)	420	42	110 (10,9)
Бореальный лес	12,0 (8,1)	800 (8,3)	20 (13,1)	380	38	57 (5,7)
Редколесье и кустарниковые формы	8,5 (5,7)	700 (5,2)	6 (2,7)	300	30	40 (4,0)
Саванна	15,0 (10,1)	900 (11,7)	4 (3,3)	2 000	300	220 (21,9)
Травяные формации умеренного пояса	9,0 (6,0)	600 (4,7)	1,6 (0,8)	540	80	60 (6,0)

Окончание таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7
Тундра и альпийский пояс	8,0 (5,4)	140 (0,96)	0,6 (0,3)	33	3	3,5 (0,3)
Пустыня и полупустынный скраб	18,0 (12,1)	90 (1,4)	0,7 (0,7)	48	7	8 (0,8)
Абсолютные пустыни, голые скалы, песок и льды	24,0 (16,1)	3 (0,06)	0,02 (< 0,1)	0,2	0,02	0,02 (< 0,1)
Возделываемые земли	14,0 (9,4)	650 (7,9)	1 (0,8)	90	9	6 (0,6)
Болота	2,0 (1,3)	2 000 (3,5)	15 (1,6)	320	32	20 (2,0)
Озёра и проточные водоёмы	2,0 (1,3)	250 (0,4)	0,02 (< 0,1)	100	10	10 (1,0)
Итого по всей суше	149 (29)	773 (68)	12,3 (99,8)	7810	909	1005 (50,2)
Морские экосистемы						
Открытый океан	332,0 (92)	125 (75,5)	0,003 (25,6)	16 600	2 500	800 (80,2)
Апвеллинговые зоны	0,4 (0,1)	500 (0,4)	0,02 (0,2)	70	11	4 (0,4)
Континентальный шельф	26,6 (7,4)	360 (17,5)	0,01 (16,5)	3 000	430	160 (16,0)
Заросли водорослей и рифы	0,6 (0,1)	2 500 (2,9)	2 (30,8)	240	36	12 (1,2)
Эстуарии	1,4 (0,4)	1 500 (3,8)	1 (35,9)	320	48	21 (2,1)
Итого по всем морям	361 (71)	152 (32)	0,01 (0,2)	20 230	3 025	997 (49,8)
Итого по всему миру	510	333	3,6	28 040	3 934	2 002

На земном шаре морские экосистемы занимают 71 % земной поверхности, на их долю приходится только 32 % чистой первичной продукции и менее 1 % растительной биомассы планеты. Однако здесь находится около 50 % всей биомассы животных, что отражает существующую динамическую зависимость между продуцентами и консументами. Это свидетельствует о том, что относительно малое количество растительной биомассы обеспечивает огромную массу консументов за счёт быстрого возобновления и высокой чистой первичной продукции растений.

Коснемся некоторых показателей тех биомов, в состав которых входят экосистемы Беларуси. Наиболее важным для республики является

биом, называемый возделываемые земли. В биоме возделываемых земель чистая первичная продукция колеблется от 100 до 3 500 г/м<sup>2</sup> и составляет приблизительно 9,1 млрд т в год, биомасса растений – 14,0 млрд т, которой потребляется животными 90,0 млн т ( $\approx 1$  % от чистой первичной продукции или 0,6 % от биомассы растений), общая биомасса растений и животных достигает 14,0 млрд т (в том числе 0,04 % биомасса животных).

Следующим не менее важным является биом болот. Чистая первичная продукция биома болот колеблется от 800 до 3 500 г/м<sup>2</sup> (в среднем 2 000 г/м<sup>2</sup>) и оценивается в 4,0 млрд т, биомасса растений – в 30 млрд т, из которой 320 млн т или 1,07 % потребляется животными, биомасса растений и животных составляет 30,02 млрд т (в том числе 0,07 % биомасса животных).

В биоме озёр и рек чистая первичная продукция колеблется от 100 до 1 500 г/м<sup>2</sup> (в среднем 250 г/м<sup>2</sup>) и ежегодно достигает 0,5 млрд т, биомасса растений доходит до 0,04 млрд т, животными потребляется 0,1 млрд т биомассы растений, общая биомасса растений и животных составляет 0,05 млрд т (в том числе 20 % биомасса животных).

В биоме вечнозеленого леса умеренного пояса чистая первичная продукция колеблется от 600 до 2 500 г/м<sup>2</sup> (в среднем 1 300 г/м<sup>2</sup>) и ежегодно её образуется до 65 млрд т, биомасса растений составляет 175 млрд т, из которой животными потребляется 0,26 млрд т или 0,15 %, общая биомасса растений и животных достигает 175,05 млрд т (в том числе биомасса животных 0,03 %).

В биоме листопадного леса умеренного пояса чистая первичная продукция колеблется между 600–2 500 г/м<sup>2</sup> (в среднем 1 200 г/м<sup>2</sup>) и ежегодно её образуется около 8,4 млрд т. В биоме биомасса растений оценивается в 210 млрд т, из которой 420 млн т потребляется животными или 0,2 %, общая биомасса растений и животных составляет 210,1 млрд т (в том числе 0,05 % биомасса животных).

В биоме травяных формации умеренно пояса продуктивность чистой первичной продукции колеблется от 200 до 1 500 г/м<sup>2</sup> (в среднем 600 г/м<sup>2</sup>). Валовое её производство составляет около 5,4 млрд т в год, биомасса растений оценивается в 14,4 млрд т, из которых 540 млн т или 0,04 % потребляется животными. На общую биомасса растений и животных приходится около 14,46 млрд т, из которых только 0,4 % приходится на биомассу животных.

Из анализа характеристик биомов можно заключить, что для условий Республики Беларусь, находящейся в умеренном поясе, показатели первичной продуктивности экосистем могут определяться следующими средними показателями:

- вечнозеленый лес 1 300 г/м<sup>2</sup> или 5 430 ккал/м<sup>2</sup>;
- листопадный лес 1 200 г/м<sup>2</sup> или 5 011 ккал/м<sup>2</sup>;
- редколесье и кустарники 700 г/м<sup>2</sup> или 2 923 ккал/м<sup>2</sup>;
- луга и пастбища 600 г/м<sup>2</sup> или 2 506 ккал/м<sup>2</sup>;
- возделываемые земли 650 г/м<sup>2</sup> или 2 714 ккал/м<sup>2</sup>;
- болота 2 000 г/м<sup>2</sup> или 8 352 ккал/м<sup>2</sup>;
- озёра и проточные водоемы 250 г/м<sup>2</sup> или 1 044 ккал/м<sup>2</sup>.

### **3.2. Способность природных экосистем обеспечивать жизненные потребности населения**

При численности населения на планете Земля в 7 млрд для питания необходимо  $7 \times 10^{15}$  ккал пищи. По разным оценкам в мире заготавливается с урожаем пищи в  $6,7 \times 10^{15}$  ккал. Вся собираемая пища составляет около 1 % чистой первичной продукции биосферы. При этом около 1 % пищевых продуктов поступает из морей, сельское хозяйство производит приблизительно в 4 раза больше растительной пищи, чем животной (О. В. Чистик, 2000). Следует также учитывать, что человечество использует первичную продукцию в качестве корма для сельскохозяйственных животных в виде топлива и волокна.

Перенос энергии от растения как первоисточника через ряд организмов путем поедания одних другими называется пищевой цепью. Выделяют несколько видов пищевых цепей основными, из которых являются пастбищная и детритная. Пастбищная пищевая цепь начинается с зеленых растений затем переходит к травоядным и далее к хищникам. В данной цепи в каждом её звене теряется в виде тепла 80–90 % потенциальной энергии пищи. В другом виде пищевой цепи – детритной – происходит перенос энергии от мертвого органического вещества к микроорганизмам, затем к детритофагам и далее к хищникам детритофагов.

В сложных природных сообществах пищевые цепи одна с другой тесно переплетены и образуют пищевые сети. Но, всегда в пищевых сетях первый трофический уровень образуют зеленые растения (продуценты), второй – травоядные (первичные консументы), третий – первичные хищники, поедающие травоядных (вторичные консументы), четвертый – вторичные хищники (третичные хищники).

Человек занимает несколько трофических уровней и связано это с характером его питания. При потреблении мяса травоядных животных человек выступает как вторичный консумент на третьем трофическом уровне. При вегетарианском питании у человека наблюдается

самая короткая пищевая цепь, а при питании растительной и животной пищей он одновременно первичный и вторичный консумент. В зависимости от типа питания потоки энергии пропорциональны долям растительной и животной пищи в рационе.

В каждом звене пищевой цепи существенная часть энергии теряется, поэтому число консументов, которые могут прокормиться на каком-то определённом количестве первичной продукции, зависит от длины пищевой цепи. Согласно правилу Линдемана в сельскохозяйственных цепях доступное количество энергии уменьшается приблизительно в 10 раз. Поэтому только около 10 % энергии передается организмам с нижележащего на вышележащий уровень. Следовательно, при питании людей только животной пищей требуется в 10 раз больше энергии и количество людей, которых можно прокормить уменьшается.

Рост численности населения на планете требует развития производства для удовлетворения потребностей людей, что влечёт за собой увеличение потребления природных ресурсов. По данным McNamara R.S. (1991), а также результатам наших наблюдений в последние десятилетия отмечается прирост численности населения на 1 млрд человек за самые короткие промежутки времени – за 11–13 лет (табл. 3.2.).

Таблица 3.2 – Динамика роста населения Земли

Годы	Численность населения, млрд чел.	Время прироста населения на 1 млрд чел, лет
1800	1	-
1930	2	130
1960	3	30
1975	4	15
1987	5	12
1998	6	11
2011	7	13

Одновременно с ростом численности населения на земном шаре наблюдается ускоряющаяся урбанизация. Если раньше большинство населения являлись сельскими жителями, то со второй половины 20 века и по настоящее время происходит быстрый рост городов и отток населения из деревень в город. Эта тенденция характерна и для Республики Беларусь (табл. 3.3.). За тридцать два года, с 1970 по 2012 гг., численность городского населения в республике увеличилась в 1,9 раза, количество сельского уменьшилось в 2,3 раза. Если в 1970 году

городское и сельское население соотносилось как 43 и 57 %, то в 2012 году уже как 76 и 24 %.

Таблица 3.3 – Демографические показатели Республики Беларусь

Показатель	1970	1979	1989	1999	2009	2010	2011	2012
Население Беларуси, тыс. чел	8 992	9 532	10 151	10 045	9 500	9 481	9 465	9 463
в том числе:								
городское население	3 890	5 234	6 641	6 961	7 077	7 122	7 175	7 220
сельское население	5 101	4 298	3 510	3 083	2 422	2 358	2 290	2 242

Знание законов продуктивности экосистем, возможность количественного учета потока энергии имеют чрезвычайное практическое значение. Первичная продукция агроценозов и эксплуатации человеком природных сообществ – основной источник запасов пищи для человечества. Точные расчеты потока энергии и масштабов продуктивности экосистем позволяют регулировать в них круговорот веществ таким образом, чтобы добиваться наибольшего выхода выгодной для человека продукции. Кроме того, необходимо хорошо представлять допустимые пределы изъятия растительной и животной биомассы из природных систем, чтобы не подорвать их продуктивность.

В настоящее время численность населения Земли обеспечивает свой жизненный уровень и существует только благодаря производству и распределению продуктов питания в рамках современного сельского хозяйства. Так, если в 1980 году население планеты составляло 4,3 млрд. человек и для каждого человека необходимо 1 млн. ккал в год, то для поддержания «человеческой биомассы» требовалось  $4,3 \cdot 10^{15}$  ккал энергии. Для удовлетворения энергетических потребностей нынешней численности людей в количестве 7 млрд. уже требуется  $7 \cdot 10^{15}$  ккал энергии пищи или в 1,6 раза больше.

Потребности населения в пищевых продуктах определяются путём расчётов производства, запасов и потребления продуктов питания, основанных на энергетических эквивалентах, выраженных в калориях (табл. 3.4.).

Таблица 3.4 – Калорийность основных видов пищевых продуктов (Chatfield C., 1954)

Продукты	Ккал/кг
Зерновые	3 420
Бобовые	3 350
Говядина и внутренности крупного рогатого скота	2 400

При оценке продовольственной ситуации исходят из того, что на зерновые культуры приходится около 70 % мирового потребления энергии с пищей (А. Bender, D. Bender, 1988). Основываясь на минимальных потребностях человека в пище, некоторые исследователи считают, что для поддержания нормальной жизнедеятельности ему необходимо в среднем около 2 000 ккал/сутки (М. Хоруэлл и др., 1988). Эту сумму представляют следующим образом: 1 500 ккал – зерновые, 500 ккал – продукты животноводства и бобовые.

Годовой запас продовольствия для условий Беларуси можно оценить уравнением при наличии остатков, годового импорта, годовой продукции урожая.

$$F_a = P + C + I,$$

где  $F_a$  – запасы продуктов питания, ккал;

$P$  – весь урожай, ккал;

$C$  – остатки продовольствия, ккал;

$I$  – годовой импорт, ккал.

Продолжительность обеспечения всего населения продовольствием рассчитывается по уравнению

$$T = F_a / N \cdot D,$$

где  $T$  – продолжительность в днях периода до полного истощения запасов продовольствия;

$F_a$  – общее количество (ккал) имеющегося продовольствия;

$N$  – численность населения;

$D$  – рацион (ккал/чел в сутки).

Для расчёта человека-лет, исходя из существующих запасов продовольствия, используется аналогичное уравнение:

$$Y = F_a / (D \cdot 365)$$

Возникает вопрос, каковы же возможности природных экосистем как источников питания людей? Численность населения, которое может неопределенно долго существовать за счёт пищи, получаемой из естественного источника, называется кормовой продуктивностью экосистем. Данный показатель зависит от пищевых потребностей людей и может обуславливаться той долей организмов, которую человек может добыть и использовать в пищу. Поэтому полное отсутствие сельскохозяйственного производства всегда связано с крайне низкой плотностью населения. Главным ограничивающим фактором кормовой продуктивности необрабатываемых земель являются малые количества произво-

димой энергии пищи, пригодные для питания человека. Отсюда следует, что численность населения, способного прокормиться на единице площади разных экосистем весьма различно (табл. 3.5.). Из анализа плотности населения 7 типов местообитаний человека на необрабатываемых землях видно, что максимальное количество людей способно прокормиться на необрабатываемых землях поймы и побережья. Именно на этих землях люди могут существовать, как за счёт водных, так и земных ресурсов.

Таблица 3.5 – Оценка плотности населения Амазонки до европейской колонизации (W. M. Denevan, 1976)

Тип местообитания	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Предполагаемая плотность населения, чел/км <sup>2</sup>
Пойма	10,	14,6
Берега водоёмов	105	9,5
Водораздельные леса	1473	0,8
Долинные леса	5038	0,2
Центральная саванна	2178	0,5
Северная саванна	395	1,3
Долинная саванна	180	2,0

Без агроценозов поток усвояемой энергии через экосистемы сокращается, и плотность населения снижается до уровней народов живущих за счёт охоты и собирательства. Например, плотность эскимосов Аляски, основным занятием которых является охота и рыболовство и где отсутствует сельское хозяйство, составляет 0,0081 чел/км<sup>2</sup>, бушменов Кунг (Ботсвана), занимающихся охотой и собирательством – 0,2 чел/км<sup>2</sup>. При наличии примитивного сельского хозяйства, в виде интенсивного выращивания корнеплодов и разведения свиней, как у народности Энга райку (Новая Гвинея) плотность населения достигает 96 чел/км<sup>2</sup>, а при развитии орошаемого и богарного земледелия (народности Пулэлия на Шри-Ланка) – 227 чел/км<sup>2</sup> (L. Bliss, 1985; R. Ellen, 1982).

Данный ограничивающий численность населения фактор относится и к различным видам животных, пригодных для питания человека. Чистая годовая животная продукция составляет небольшую долю чистой первичной продукции экосистем, тое есть энергии, фиксированной растениями. Например, в открытом океане чистая животная продукция не превышает 6 % от чистой первичной продуктивности, в озёрах и реках – 2 %, листопадном лесе умеренного пояса – 0,5 %. Это означает, что только незначительная часть растительной продукции переходит в животную и люди могут реально рассчитывать лишь

на малую долю последней. Таким образом, полностью обеспечить себе питание за счёт диких животных могут лишь немногие.

Для охотничьих племён характерна низкая плотность населения, но уже примитивные формы сельского хозяйства существенно увеличивают её. Плотность населения со слабо развитым сельским хозяйством в целом значительно ниже, чем в странах с современным уровнем сельскохозяйственного производства. В своих исследованиях Блисс (L. Bliss, 1985) описал жизнь аляскинских и канадских аборигенов, живущих главным образом за счёт рыболовства и охоты на морских и сухопутных зверей и птицу. Им было установлено, что пять групп аборигенов в Арктике (на территории около 200 тыс. км<sup>2</sup>) добывали в среднем 422 кг мяса на человека в год (примерно 1,1 млн. ккал энергии). Этого хватало в среднем для питания 4–8 человек на площади 1 000 км<sup>2</sup>. Закупалось также привозное продовольствие. Из этого можно сделать вывод, что за счёт природных источников продовольствия, поддерживать своё существование может лишь небольшое количество населения Земли.

Имеющиеся данные за три последних тысячелетия показывают, что до периода бурного развития сельского хозяйства и промышленности численность населения держалась примерно на порядок-два ниже современного (М. Харуэлл, и др., 1988). Анализ численности населения Китая также свидетельствует о его росте по мере совершенствования сельского хозяйства. В период неурожаев в перенаселённых районах наблюдалось значительное сокращение численности населения.

В целом можно сказать, что сельскохозяйственное производство с низким уровнем своего развития, способно обеспечивать плотность населения примерно на порядок ниже современного уровня, а сами по себе природные экосистемы могут прокормить ещё на порядок меньшее число людей.

В настоящее время население Земли почти полностью зависит от биологической деятельности, а потребности человечества существенно превосходят возможности естественных экологических систем. Большая часть (90–99 %) земель не смогли бы долго прожить без сельскохозяйственной продукции.

Люди вынуждены создавать искусственную окружающую среду для большинства сельскохозяйственных растений и обеспечивать:

- 1) снижение конкуренции с другими видами растений (прополка, культивация и др.);

- 2) снабжение питательными веществами и влагой (удобрения, орошение, ротация и др.);

3) защиту от вредителей и болезней (использование инсектицидов, фунгицидов и т. д.);

4) создание оптимальной генетической структуры растений (с помощью отбора, гибридизации и др.);

5) защиту от неблагоприятных погодных условий (сев в оптимальные погодные условия и т. п.).

Все эти и многие другие приемы, используемые в сельском хозяйстве, позволяют достигать высоких уровней урожайности.

Зависимость агроэкосистем от погодных условий приводит каждый год к потере урожая. Для разных сельскохозяйственных культур и регионов мира годы с неблагоприятными погодными условиями различны. Это связано с тем, что только в редких случаях климатические изменения происходят на всей Земле. Как правило, местное или региональное уменьшение сельскохозяйственной продукции компенсируется через внешние закупки. Такое взаимодействие между человеческой и сельскохозяйственной системами обеспечивает численность населения на современном уровне.

В большинстве среднеширотных областей Северного полушария репродуктивный цикл злаков соответствует 1 000–2 000 градусодням. Для злаков умеренного климата (пшеница, ячмень) минимальной температурой является  $T_{\min} \approx 0 \text{ }^\circ\text{C}$ , оптимальной –  $T_{\text{opt}} \approx 25 \text{ }^\circ\text{C}$  и максимальной –  $T_{\max} \approx 35 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Важнейшим для урожая условием является продолжительность вегетационного периода, который определяется суммарным количеством солнечной освещенности в безморозное время года.

Следует отметить, что технологии сельскохозяйственного производства в таких развитых странах, как Канада, Великобритания, Австралия и других очень энергоёмки. К развитым относятся такие страны, в которых валовой национальный продукт (ВНП) на душу населения оценивается более чем в 1 000 долларов. Поскольку ВНП в Беларуси на душу населения превышает данный показатель, то республику правомерно отнести к числу развитых стран, которая имеет энергоёмкое сельское хозяйство.

Основным потребителем энергии в сельском хозяйстве является растениеводство. Выращивание большинства культур требует применения до десяти агрохимических операций – протравливание семян, химическая борьба с сорняками, насекомыми, грибковыми заболеваниями, грызунами, обработки для подсушивания растений, удаления листьев и ботвы, дезинфекция хранилищ и т. д. Примерно 6 % всей энергии в США приходится на производство пищевых продуктов, около 6 % – на их переработку и упаковку и еще 5 % – на распределение и приготовление. Это составляет приблизительно 17 % всей

потребляемой в США энергии или в пересчёте на душу населения около 1 500 л жидкого топлива в год.

Энергоёмкость сельскохозяйственных систем, особенно в развивающихся странах, значительно ниже. Естественно, это сказывается на урожайности. Для развивающихся стран характерна низкая продукция в пересчёте на гектар, так как отсутствие средств не позволяет им вкладывать в сельское хозяйство энергетические субсидии, необходимые для получения высоких урожаев. К этому следует добавить, что население развивающихся стран страдает не только от недостатка энергии, но и белков, а это еще в большей степени усугубляет ситуацию.

Новые технологии, освоенные сельским хозяйством в течение последнего столетия, зависят в основном от энергии, получаемой из ископаемых видов топлива. Наблюдаемое в течение 70–80 лет увеличение производительности сельского хозяйства в очень большой мере связано с ростом, как непосредственного потребления ископаемого горючего, так и косвенного использования энергии, в частности на производство и распределение удобрений и пестицидов. По сравнению с серединой прошлого столетия в развитых странах урожай сельскохозяйственных культур возросли в 3–5 раз, в развивающихся странах – в 2–3 раза.

В сельском хозяйстве продукты переработки ископаемого топлива используются в качестве топлива, смазочных материалов для машин. В конце восьмидесятых годов прошлого столетия в развитых странах на возделывание 1 га зерновых расходовалось примерно 100 л дизельного топлива (Pimentel D., 1985). Затраты энергии на производство кукурузы без учёта затрат на орошение и человеческого труда достигали 8,8 Мккал/га, а при использовании орошения увеличивались до 11,1 Мккал/га. При этом энергетический выход с урожаем был в 2,3–2,5 раза выше в сравнении с энергозатратами (табл. 3.6.).

В современном растениеводстве энергетический выход с урожаем используется для оценки направлений использования культур и установления их кормовой и энергетической ценности. Например, до настоящего времени кукуруза занимала значительное место в структуре кормового клина в Беларуси и юго-западной части Нечерноземья России. Однако в последние годы большинство сельхозпроизводителей, вследствие высокой стоимости семян и требовательности к интенсивному агрофону, ограничивают посевные площади под кукурузой.

Таблица 3.6 – Затраты энергии на производство кукурузы в США (D. Pimentel, 1985)

Затраты	Количество/га	Ккал/га
Человеческий труд	9,88 ч	-
Оборудование	56,1 кг	1 025 781
Топливо	112,3 л	1 264 798
Навоз	1,12 т	-
Азот	151,6 кг	3 216 770
Фосфор	75,2 кг	475 544
Калий	95,4 кг	241 506
Известь	426,6 кг	134 447
Семена	21,3 кг	522 850
Инсектициды	2,8 кг	301 261
Гербициды	7,9 кг	806 682
Орошение	-	2 265 682
Сушка	3 332,3 кг	664 766
Электричество	99 590 ккал	99 570
Транспорт	323,3 кг	89 631
Выход – урожай кукурузы		
Энергетический выход/энергозатраты = 2,36		

В условиях ощутимой потребности в кормах, первостепенного значения питательности и их качества возрастает интерес к другим кормовым культурам и, прежде всего, к сорговым. Сорговые культуры обладают высоким потенциалом продуктивности, отличаются такими ценными особенностями как нейтральная фотопериодическая реакция, ограниченная потребность в интенсивных средствах защиты, возможность размещения в промежуточных посевах, отавность, универсальность использования и высокие кормовые достоинства.

Сравнительные агроэкологические сортоиспытания показывают, что возделывание кукурузы и кормового сорго энергетически высоко эффективно (табл. 3.7.). Однако, энергетический коэффициент возделывания кормового сорго на 0,8–1,6 пункта выше, чем кукурузы (А. В. Дронов, М. Е. Свист, 2008). Удельное содержание обменной энергии в валовой энергии в рассматриваемых культурах колеблется между 44,7–51,8 %.

Энергетический коэффициент (выход/затраты) культур имеет показатели от 3,6 до 5,2. Если сравнить энергетический коэффициент кукурузы (см. табл. 3.6. и 3.7.), то можно обнаружить, что среди приведенных культур он самый низкий. Вместе с тем его значения на 1,24 пункта выше, чем были в США в конце прошлого века. Из этого можно сделать вывод о том, развитие техники и технологий, внедрение

высокоурожайных сортов и гибридов повышают эффективность сельскохозяйственного производства.

Таблица 3.7 – Энергетическая оценка возделывания кукурузы и кормового сорго

Культура, сорт, гибрид	Выход с 1 га, Мккал		Затраты совокупной энергии, Мкал/га	Энергетический коэффициент
	Валовая энергия	Обменная энергия		
Кукуруза «Бемо»	21,57	10,29	5,95	3,6
Сахарное сорго «Камышинское»	22,50	10,75	5,50	4,1
«Северное»	24,75	11,97	5,59	4,4
«Зерноградский янтарь»	25,75	13,31	5,73	4,5
«Зерсил»	30,46	15,03	5,82	5,2
Сорго-суданковый гибрид «Интенсивный»	28,57	12,76	5,47	5,2
Суданская трава «Черноморка»	16,84	8,72	4,53	3,7

Следует добавить, что применение более крупной, комбинированной и энергетически более эффективной сельскохозяйственной техники способствует некоторому снижению расхода жидкого горючего.

С переходом сельского хозяйства к рыночной экономике, в условиях постоянно меняющейся конъюнктуры цен на энергоносители, семена пестициды и сельскохозяйственную продукцию, не всегда представляется возможным использовать современные экономические методы, дающие объективную оценку предлагаемым агроприемам.

Такой оценкой может быть определение энергетической эффективности, которая позволяет выявлять наиболее ресурсо- и энергосберегающие решения. На примере сорговых культур видно, что при их уборке за один укос в фазу молочной спелости наиболее высокий выход валовой энергии урожаем дают сахарное сорго «Зерсил» и сорго-суданковый гибрид «Интенсивный» – 12,0–13,1 Мккал/га, а травянистое сорго почти в два раза меньше. Соответственно у них и высокий выход обменной энергии 5,95–6,43 Мккал/га, тогда как у суданки около 4,18 Мккал/га (табл. 3.8.).

Затраты совокупной энергии на возделывание между культурами различаются незначительно, составляя 2,91–3,01 Мккал/га. При этом высокий энергетический коэффициент 4,0–4,3 и коэффициент энергетической эффективности 2,0–2,1 показывают сорго-суданковый гибрид и сахарное сорго, а по суданской траве энергетическая эффективность одноукосного использования ниже (А. В. Дронов, М. Е. Свист, 2008).

Таблица 3.8 – Энергетическая оценка одноукосного направления использования сорговых культур

Культура, сорт, гибрид	Выход с 1 га, Мккал		Затраты совокупной энергии, Мкал/га	Энергети- ческий коэффици- циент	Коэффици- ент энерге- тической эффектив- ности
	Валовая энергия	Обменная энергия			
<u>Сахарное сорго</u> «Зерсил»	13,1	6,43	3,01	4,3	2,1
<u>Сорго-суданковый</u> гибрид «Интенсивный»	12,0	5,95	3,00	4,0	2,0
<u>Суданская трава</u> «Черноморка»	7,33	4,18	2,91	2,5	1,4

Следовательно, приведенный анализ энергоэффективности культур свидетельствует, что возделывание кормового сорго энергетически эффективно.

В современных условиях для сельского хозяйства проблема экономии энергии и ресурсов выступает на первое место. В процессе роста и развития растения связывают энергию солнца, сохраняя её в виде запасных веществ. Производство растениеводческой продукции сопряжено со значительными затратами энергии, которые не всегда перекрываются энергией, аккумулированной в урожае сельскохозяйственных культур. Важной задачей является получение максимального количества энергии, аккумулированной в урожае при меньших затратах энергии на их возделывание. Повысить эффективность можно двумя путями – путём снижения энергоёмкости технологических процессов и повышения продуктивности культур. Например, обработка почвы относится к наиболее энергоёмким этапам производства продукции растениеводства. Обработка почвы связана со значительными затратами – на её проведение расходуется около 40 % энергетических и 25 % трудовых затрат в земледелии. Затраты нефтепродуктов занимают 12–38 % общих затрат на возделывание культур. Всё это требует поиска способов и приемов обработки, различающихся по интенсивности и характеру воздействия на обрабатываемый слой, и разработки на этой основе систем минимальной обработки почвы и технологий возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивающих охрану почвенного покрова от деградации, сокращение ресурсных и энергетических затрат в земледелии. При этом под минимальной обработкой почвы следует понимать такую обработку почвы, которая обеспечивает снижение энергетических, трудовых или иных затрат путём уменьшения числа, глубины и площади обработки, совмещения операций.

В настоящее время в республике выпускается широкий ассортимент почвообрабатывающей техники различной производительности. Широко представлены высокопроизводительные почвообрабатывающие агрегаты как для вспашки, так и для безотвальной обработки, позволяющие значительно экономить энергоресурсы. Так, при вспашке почвы широкозахватывающими орудиями экономия топлива в сравнении с малопродуктивными плугами достигает 3 литров на одном гектаре. Производительность плугов для гладкой вспашки (оборотные) выше в сравнении с обычными плугами.

Производительность широкозахватывающих дисковых орудий для безотвальной обработки почвы почти в 3 раза выше в сравнении с широкозахватывающими оборотными плугами и в 5 – 6 раз в сравнении с 3-, 4-корпусными плугами. При этом экономия топлива достигает до 12 л/га. Кроме того, более высокая производительность агрегатов позволяет провести полевые работы в сжатые сроки.

Результаты наблюдений в производственных опытах показывают, что баланс энергии является положительным, как при отвальной, так и при безотвальной обработке почвы. Анализ полных затрат энергии при возделывании культур на фоне различных обработок почвы свидетельствует, что за счёт влияния на урожай культур при применении безотвальных и поверхностных обработок удаётся сэкономить до 4,5 ГДж/га (1,07 Мккал/га). Вместе с тем безотвальная и поверхностная обработки (чизелевание и минимальная (дисковая) хотя и имеют несколько меньшие суммарные затраты энергии, но характеризуются и меньшими коэффициентами энергоотдачи, то есть содержание энергии в урожае в этих вариантах ниже. Отвальная вспашка также является эффективной – содержание энергии в растениеводческой продукции перекрывает повышенные затраты энергии на её производство. Поэтому при выборе способа основной обработки рекомендуется учитывать их влияние на продуктивность культур. Совершенствование энергосберегающих агротехнологий должно осуществляться на адаптивной основе с максимальным учётом почвенно-экологических и ландшафтных условий, особенностей каждого конкретного землепользователя (Н. Н. Цыбулько и др., 2012).

В агропромышленном производстве легко прослеживаются прямые затраты энергии в качестве топлива для машин. И, наоборот, косвенные затраты здесь менее заметны. Тем не менее, именно они являются ключевыми в поддержании производительности сельского хозяйства на современном уровне. Хотя за последние годы прямое потребление горючего в сельском хозяйстве развитых стран несколько снизилось, применение более крупной техники увеличило использование ископаемого горючего в сельскохозяйственном машиностроении.

Урожайность в регионах с энергоёмким сельским хозяйством определяется применением минеральных удобрений. Например, в 1983 году на каждый гектар кукурузы в США вносилось 152 кг азотных удобрений, что типично для стран с интенсивным земледелием. Велики также потребности в фосфоре, калии и извести, но получение их не требует таких энергозатрат, как в случае азота.

В развитых странах примерно 10 % энергии, потребляемой на производство кукурузы, связано с применением пестицидов. Для сушки 6,5 т кукурузы требуется около 0,7 Мккал энергии. При выращивании риса в Индии энергия, расходуемая ежегодно на азотные удобрения (2,0 Мккал/га) превышает суммарные энергозатраты человека и волов (0,95 Мккал/га) (P. Nameed, M. Parimanam, 1983).

Зависимость урожая от затрат энергии на удобрения имеет почти линейный характер, особенно при низком и среднем уровнях этих затрат (D. Greenwood, 1981, T. Schlichter, et al, 1985).

Применение машин преобразует сельскохозяйственное производство. Для иллюстрации можно посчитать, чему равен галлон топлива, если его оценивать в единицах человеческого труда. Примерно 20 % тепла, выработанного в небольшом двигателе внутреннего сгорания при сжигании галлона (3,79 л) бензина можно преобразовать в механическую энергию. Таким образом, галлон горючего, эквивалентный 31 000 ккал, даёт примерно 6 200 ккал механической энергии. Это соответствует работе, производимой лошадью примерно за 10 часов или человеком за 100 часов. Отсюда следует, что галлон бензина заменяет труд человека в течение 2,5 недель. Этот расчёт может частично объяснить резкое сокращение трудозатрат в сельском хозяйстве развитых стран.

При современном уровне механизации сельского хозяйства развитых стран, затраты труда на возделывание одного гектара кукурузы не превышают 10 ч. Они составляют приблизительно 1 % трудозатрат, необходимых для выращивания кукурузы вручную. Однако это без учёта косвенных затрат труда в сельскохозяйственном производстве. Принимая их во внимание, можно сказать, что трудозатраты на выращивание кукурузы сейчас примерно в 50 раз меньше, чем при ручном её возделывании, что также говорит о значительном сокращении потребности в рабочей силе. Одновременно с этим, для замены используемых в сельском хозяйстве тракторных мощностей, в настоящее время в большинстве развитых стран не хватает трудовых ресурсов. При этом следует добавить, что ценность даже имеющихся рабочих рук весьма ограничена, из-за отсутствия у большинства населения опыта работы в сельском хозяйстве. Поэтому снижение снабжения энергией сельского хозяйства наносит особенно ощутимый удар по

наиболее производительному сельскохозяйственному производству.

В таких странах как Китай, Индия и другие широко применяется тягловый скот и небольшие трактора, однако трудозатраты здесь достаточно высоки и составляют 700–1 252 ч/га, что близко к используемым при некоторых ручных системах возделывания кукурузы (D. Pimentel, M. Pimentel, 1979). В целом получение урожая вручную требует в 100–200 раз больше трудозатрат, чем при использовании высокопроизводительной техники. Обычно в основанном на ручном труде сельском хозяйстве технологические затраты, включая расходы на ископаемое топливо, составляют лишь небольшую часть всей потребляемой энергии.

В последние годы в развитых странах мира всё большее распространение получает так называемое биологическое земледелие, использование которого требует меньших затрат энергии. Биологическое земледелие или зеленые технологии – это выращивание культур без применения минеральных удобрений и средств химической защиты растений. По данным швейцарского НИИ биологического сельского хозяйства в 1999 году объем мирового биологического рынка составлял 15,2 млрд. долларов, в 2011 году – уже 62,9 млрд., или увеличился более чем вчетверо. По прогнозам аналитиков, оборот рынка биологически чистых продуктов будет и далее расти, и к 2020 году следует его ожидать на уровне 250–300 млрд. долларов. В этой связи в ряде стран разрабатываются и принимаются концепции развития зеленых технологий на период до 2050 года.

В настоящее время известно, что средства химической защиты растений вредны не только человеку, но и насекомым-опылителям. Количество насекомых-опылителей, прежде всего пчёл, стремительно уменьшается практически во всём мире, а от этого снижается урожайность орехов, миндаля, гречихи и других культур. Всё это вызывает озабоченность у экологов, поэтому в отдельных европейских странах введён запрет на применение инсектицидов, в некоторых – мораторий.

Другой проблемой современного сельского хозяйства является снижение количества гумуса в почвах. Например, в середине прошлого столетия в белорусскую почву ежегодно вносилось по 20 млн. тонн торфа. Благодаря этому в земле сохранялся положительный баланс гумуса. Затем приоритетным стало внесение минеральных удобрений и сейчас около 60 % сельскохозяйственных угодий имеют отрицательный баланс гумуса. Следствием применения минеральных удобрений является то, что вносимые в почву калий, фосфор и азот не полностью усваиваются растениями, вымываются из почвы и загрязняют окружающую среду. В Беларуси плодородный слой не превышает

25 см, под которым находится песок или по образному выражению многих исследователей, решето, сквозь которое уходят потраченные на удобрения финансовые средства. Однако, цена удобрений – одна из важных составляющих себестоимости сельскохозяйственной продукции.

Следующей проблемой является занятость и интенсивность использования земли. Например, земли в Беларуси используются лишь на 50 %: после уборки в июне–июле они пустуют. Из-за того, что не засеваются промежуточные культуры, страна теряет огромное количество кормов и продуктов, а почва теряет плодородие. Промежуточные культуры связывают минеральные вещества почвы, атмосферный азот, которые накапливаются в биомассе растений и, тем самым, предотвращают их вымывание из почвы и уход с паводковыми и дождевыми водами.

При использовании промежуточных культур в качестве зеленых удобрений урожайность зеленого севооборота оказывается выше традиционного, что имеет практическое значение. В стране можно производить экологически чистую продукцию. По мнению сотрудников Института природопользования Беларуси под экологическое земледелие в стране можно отвести 10–12 % сельскохозяйственных угодий. Чем больше будет вложено в землю зеленых удобрений, тем лучше. Экологическое земледелие не требует огромных инвестиций, а наоборот, сулит неплохую экономию, прежде всего за счёт сокращения количеств вносимых удобрений и средств защиты, а также за счёт более высокой на 30–50 % стоимости экологически чистых продуктов в сравнении с традиционными.

Экологическое земледелие предполагает, как правило, отказ от общепринятой вспашки. Плужная вспашка может снижать плодородие почвы. Вот время переверота пласта почвы нарушается жизнедеятельность почвенной микрофлоры, поэтому почву предпочтительнее дисковать.

На нашей планете есть страны бедные, где люди недоедают и рады продуктам, даже генно-модифицированным. А есть богатые, к которым можно отнести Республику Беларусь, так как страна производит больше продуктов, чем потребляет. Поэтому республика может часть площадей своих сельскохозяйственных угодий отвести под экологическое земледелие. Это необходимо делать не только для снабжения детей, санатории, больницы экологически чистыми продуктами, но и следовать требованиям тенденций развития современного сельского хозяйства.

Подводя итог, можно сказать, что в настоящее время производительность сельскохозяйственных систем во всем мире сильно зависит от косвенных энергозатрат, связанных главным образом с применением удобрений и пестицидов. Без их использования невозможно добиться высоких урожаев и эффективности сельского хозяйства.

В современную эпоху произошли крупные количественные и качественные изменения зависимости сельского хозяйства от энергетики. Во всём мире оно зависит от поставок дизельного топлива и бензина, минеральных удобрений, пестицидов и гибридных семян. Сложные и больше зависящие от ископаемого топлива сельскохозяйственные технологии развитых стран затрачивают для получения урожая с одного гектара пашни около 1 000 л нефтяного эквивалента, в странах при использовании ручного труда для этого требуется всего около 10 л горючего. В развитых странах трудозатраты на производство зерна в среднем составляют примерно 10 ч/га, а при работе вручную в развивающихся – часто 1 200 ч/га. Очевидно, что в странах с энергоёмким сельским хозяйством прекращение вложений в него может иметь ущерб значительно выше, чем для менее энергоёмких регионов.

### **3.3. Потребности населения в питательных веществах и пищевой энергии**

#### **3.3.1. Питание как связующее звено живого организма с окружающей средой**

Питание является одной из основных физиологических потребностей живого организма. Только с пищей человек получает питательные вещества и пищевую энергию, необходимые для нормальной жизнедеятельности. Все вещества продуктов питания участвуют в сложных процессах обмена, подвергаются распаду и удаляются из организма. Так осуществляется обмен веществ и энергии между живым организмом и окружающей природой.

Из большого количества питательных веществ к наиболее ценным относятся белки. Белки составляют основу структурных элементов клеток и тканей тела человека. С белком связана жизнь живого организма. Тканевые белки создаются из белков пищи и не могут заменяться другими веществами.

Белковая молекула состоит из аминокислот. Двадцать распространенных в природе аминокислот, сочетаясь между собой в различных комбинациях, дают белки, чрезвычайно разнообразных по составу и свойствам. Человек должен получать некоторые аминокислоты с пищей, так как они в недостаточном количестве синтезируются в организме. Эти аминокислоты называются незаменимыми и к ним относятся: триптофан, лейцин, изолейцин, валин, треонин, лизин, метионин, фенилаланин и некоторые другие.

Питательная ценность белков разных пищевых продуктов определяется содержанием в них незаменимых аминокислот. Белки продуктов животного происхождения – мяса, рыбы, молока, яиц содержат все незаменимые аминокислоты в соотношении, наилучшим образом обеспечивающем белковый обмен в организме. Исключение составляют белки желатина и соединительной ткани (хрящи и пр.).

В белках растительных продуктов, особенно в злаках, некоторые незаменимые аминокислоты содержатся в очень малых количествах. Однако в разнообразной пище, состоящей из животных и растительных продуктов, белки одних продуктов дополняют недостающие аминокислоты в других. Недостаток незаменимых аминокислот в пшеничном хлебе и крупах восполняется молочными продуктами, которые содержат в избытке эти аминокислоты. Поэтому целесообразно употребление молочных каш, молочных супов, пшеничного хлеба с молоком, а также мучных изделий с творогом.

Питательная ценность белка зависит также и от его усвояемости, то есть переваримости в желудочно-кишечном тракте. Белки растительных продуктов, богатые клетчаткой, труднодоступны для пищеварительных ферментов, поэтому усвоение их в кишечнике происходит менее полно, чем белка животных продуктов.

Наряду с основной задачей построения тканевых белков организма, белки входят в состав ферментов, обеспечивают нормальную функцию желез внутренней секреции и синтез гормонов, участвуют в выработке иммунитета.

Часть белков пищи, не израсходованная для роста и восстановления тканей организма, используется как энергетический материал подобно углеводам и жирам (1 г белка дает 4,1 кал).

Средняя физиологическая норма белка для взрослого здорового человека, не занятого физическим трудом, по данным Института питания Российской Федерации, составляет 80–100 г, в том числе животного белка 50 г.

При некоторых патологических состояниях организм нуждается в повышенном количестве белка:

- 1) при истощении, связанном с голоданием;
- 2) в период выздоровления после острых инфекционных заболеваний;
- 3) при хронических инфекциях (туберкулез);
- 4) после оперативных вмешательств, травм и ранений;
- 5) при анемии после кровопотерь и от других причин;
- 6) при желудочно-кишечных заболеваниях в связи с пониженной усвояемостью пищевых веществ.

Ограничение белка в питании показано при заболеваниях почек, особенно с явлениями острой хронической почечной недостаточности.

Ко второй группе, не менее важных для организма питательных веществ, относятся жиры. Жиры пищи используются организмом человека как источник энергии. Жир имеет высокую калорийность, 1 г жира дает 9,3 кал, что более чем в 2 раза выше калорийности белков и углеводов (4,1 кал).

Жиры откладываются в жировой ткани, образуя запасы энергетического материала, который расходуется по мере необходимости. Являясь плохим проводником тепла, жиры подкожной жировой клетчатки предохраняют организм от охлаждения. Жировая ткань, окружающая внутренние органы, фиксирует их и предохраняет от смещений и травм.

Жироподобные вещества – холестерин, лецитин и другие входят в структуру клеток и тканей организма. Много холестерина содержится в нервной ткани. Лецитин в соединении с белком образует оболочки клеток и играет большую роль в их проницаемости.

С жирами вводятся вещества, необходимые для нормальной жизнедеятельности организма – полиненасыщенные жирные кислоты, активно участвующие в жировом обмене, жирорастворимые витамины А, Д, Е и К, а также фосфатиды (лецитин и др.).

Полиненасыщенные жирные кислоты, подобно витаминам, относятся к незаменимым факторам питания, так как они почти не синтезируются в организме человека и должны постоянно поступать с пищей. В питании человек пользуется животными и растительными жирами. К животным жирам относятся:

1) мясные жиры – говяжий, бараний и др., они содержат преимущественно насыщенные жирные кислоты, холестерин и в малом количестве витамины А и Д;

2) молочный жир, в котором также преобладают насыщенные жирные кислоты и имеется холестерин, но он богат витаминами А и Д;

3) рыбий жир содержит ненасыщенные жирные кислоты, холестерин и в большом количестве витамины А и Д.

Растительные жиры не содержат холестерина и витаминов А и Д, в них имеется только витамин Е. Но растительные масла являются основным источником полиненасыщенных жирных кислот. Особенно богаты ими подсолнечное, соевое, кукурузное и льняное масла, а также грецкие орехи.

Необходимо отметить, что полиненасыщенные жирные кислоты – не стойкие соединения и легко подвергаются окислению при рафинировании масла, хранении его, а также при кулинарной обработке. Чтобы сохранить полезные свойства растительного масла, его рекомендуют употреблять в свежем и в натуральном виде (нерафинированное), добавляя в винегреты, салаты и т. п.

Средняя потребность взрослого здорового человека в жирах составляет 80–100 г, в том числе растительных жиров 20–25 г.

К третьей группе питательных веществ следует отнести углеводы. Углеводы – различные виды сахаров и крахмал – являются главным источником энергии. Сахара относятся к простым соединениям – моно- и дисахаридам. Свекловичный сахар, который мы употребляем ежедневно, состоит из глюкозы и фруктозы, в молоке имеется молочный сахар – галактоза, в меде и фруктах содержится фруктоза, а в винограде – глюкоза. Сахара – легкоусвояемые вещества, в желудочно-кишечном тракте они быстро всасываются в кровь.

Крахмал содержится в большом количестве в растительных продуктах – хлебе, муке, мучных изделиях, крупах, картофеле, бобовых. Крахмал, более сложное соединение – полисахарид, под влиянием пищеварительных ферментов постепенно расщепляется до глюкозы.

В клетках печени глюкоза откладывается в виде гликогена – животного крахмала, часть глюкозы попадает прямо в общий ток крови. В крови человека постоянно содержится 80–120 мг% сахара. Кровь доставляет сахар клеткам организма, где он, сгорая, дает энергию для работы сердца, мышц и других органов. Кроме того, в мышцах откладываются небольшие количества гликогена. По мере надобности гликоген печени превращается в глюкозу и поступает в кровь, таким образом поддерживается определенный уровень сахара крови. Однако запасы гликогена в печени невелики. Если человек не своевременно принимает пищу, содержание сахара в крови снижается, при этом может появиться головокружение, головная боль, так как клетки головного мозга очень чувствительны к недостатку углеводов.

При более длительном голодании, когда запасы гликогена истощаются, в качестве энергетического материала расходуются жиры из жирового депо.

Потребность организма в углеводах зависит от расхода энергии. Человек, занятый физическим трудом или спортом, должен получать пищу с повышенным количеством углеводов соответственно затратам энергии. Потребность в углеводах взрослого здорового человека, работа которого не связана с физическим трудом, составляет 400–450 г в день, в том числе сахара 50–100 г.

При избыточном поступлении с пищей углеводы, не израсходованные на энергетические цели, превращаются в жиры, которые откладываются в жировых депо и способствуют развитию ожирения.

В продуктах растительного происхождения содержатся клетчатка и пектин, которые также относятся к углеводам. Клетчатка и пектин входят в состав клеточных оболочек, они полностью не перевариваются

в желудочно-кишечном тракте. Однако эти вещества необходимы, так как механически раздражают кишечник и поддерживают его нормальную функцию.

Согласно принятым физиологическим нормам питание для взрослого человека, наиболее благоприятным соотношением белков, жиров и углеводов является 1:1:4, следовательно, на 1 г белка рекомендуется 1 г жира и 4 г углеводов (белка 100 г, жира 100 г, углеводов 400 г).

К четвертой группе питательных веществ относят витамины. Витамины – биологически активные вещества, в минимальном количестве необходимые для обменных процессов. Они относятся к незаменимым факторам питания, так как почти не синтезируются в организме человека, и должны постоянно вводиться с пищей.

Витамины необходимы: 1) для нормального роста и развития организма; 2) для участия в обмене веществ в качестве составной части ферментов; 3) для улучшения периферических процессов; 4) для повышения сопротивляемости организма инфекциям.

Длительное отсутствие витаминов в питании приводит к характерным заболеваниям, получившим название авитаминозов. Гиповитаминозы – состояние, с недостатком витаминов в организме.

Витамины принято делить на водорастворимые (группа витаминов В, а также витамины С, Р, фолиевая кислота) и жирорастворимые (витамины А, Д, Е и К). В продуктах питания могут находиться не только сами витамины, но и их предшественники – так называемые провитамины, из которых витамины образуются в организме.

К пятой группе питательных веществ относят минеральные вещества и воду. Вода и минеральные элементы являются простыми соединениями, но они также необходимы для нормальной жизнедеятельности живого организма. Вода входит в состав всех органов и тканей и составляет 2/3 массы тела человека.

Вода находится в организме в свободном состоянии и связана с тканевыми белками. Вода поддерживает белки в коллоидном состоянии. Потеря более 10 % воды угрожает жизни человека. Все обменные процессы в организме могут протекать при достаточном количестве воды. Она растворяет питательные вещества при пищеварении, в растворенном виде они поступают в кровь и доходят до клеток. Продукты распада, поступающие в кровь, удаляются из организма с мочой также в растворенном состоянии.

Вода принимает участие в регуляции температуры тела при помощи потоотделения и испарений с поверхности кожи.

С водным обменом тесно связан обмен солей натрия, калия и хлора, поэтому говорят о водно-солевом обмене. Путем сложной регуляции

в организме поддерживается постоянный водно-солевой состав. Соли натрия обладают свойством удерживать воду в тканях организма. Калий действует противоположно – вытесняет излишки натрия и воды из организма.

Суточное потребление воды подвержено колебаниям в зависимости от характера питания, климата, привычек и других условий.

Минеральные вещества, содержащиеся в организме в чрезвычайно малых количествах, называются микроэлементами и к ним относятся: медь, цинк, кобальт, марганец, йод, бром, фтор и др.

Из изложенного выше вытекает, что сущность обмена веществ заключается в поступлении в организм их внешней среды различных веществ, в усвоении и изменении их и в выделении образующихся продуктов распада. При всех этих процессах изменения веществ в организме наблюдается множество различных химических, механических, термических и электрических явлений. Непрерывно происходит превращение энергии: потенциальная энергия сложных органических соединений при их расщеплении освобождается и превращается в тепловую, механическую, электрическую. В организме преимущественно освобождается тепловая энергия (табл. 3.9.) Освобождение электрической энергии, имеющее важное физиологическое значение в функциях нервной системы, количественно ничтожно (А. И. Киеня, Ю. И. Бандажевский, 1997).

Таблица 3.9 – Теплоотдача у человека за сутки

Путь теплоотдачи	Ккал	%
Излучение, проведение	2 100	70,0
Испарение через кожу	435	14,5
Испарение через легкие	240	8,0
Нагревание вдыхаемого воздуха	75	25,0
Нагревание мочи и кала	45	1,5
Прочее	105	3,5
Всего	3 000	100

Энергия необходима организму не только на поддержание температуры тела и совершение работы, но и на поддержание структуры и жизнедеятельности клеток и на процессы, связанные с их делением, ростом и развитием.

Обмен веществ и превращения энергии неотделимы друг от друга. Не существует изменения веществ без превращения энергии, и нет обмена энергии без обмена веществ. В живом организме материя и энергия не создаются и не исчезают, происходит лишь их изменение, поглощение и выделение.

Обмен веществ представляет собой единство двух процессов: ассимиляции и диссимиляции. Ассимиляцией называют сумму процессов созидания живой материи: усвоение клетками веществ, поступающих в организм из внешней среды, образование более сложных химических соединений из более простых, происходящий в организме синтез живой протоплазмы. Диссимиляция – это разрушение живой материи, распад, расщепление веществ, входящих в состав клеточных структур. При этом образуются удаляемые из организма продукты распада. Ассимиляция и диссимиляция взаимно противоположны и неразрывно связаны.

Наибольшее биологическое значение в жизни клеток – в их обмене веществ – имеют белки и нуклеиновые кислоты. С этими веществами связаны все проявления жизни. Белки, или протеины, представляют собой сложнейшие химические соединения – полимеры, образованные разными сочетаниями 20 различных аминокислот. Биосинтез белков происходит при непосредственном направляющем участии нуклеиновых кислот, которые играют роль матрицы, для сборки белковых молекул.

Синтез белков относится к пластическим процессам клеточных структур. Пластические процессы отличаются от энергетических, которые обеспечивают доставку к клеткам энергии, необходимой для их жизнедеятельности. Среди энергетических процессов особое место занимают вещества, при расщеплении которых происходит освобождение энергии. К таким веществам относится аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). Отщепление от АТФ двух остатков фосфорной кислоты связано с освобождением большого количества энергии (отщепление одного остатка фосфорной кислоты приводит к освобождению около 10 000 калорий на 1 грамм-молекулу вещества).

Для возмещения затрат организма, сохранения массы тела и удовлетворения потребностей роста необходимо поступление из внешней среды белков, жиров, углеводов, витаминов, минеральных солей и воды. Их количество и качество должны соответствовать состоянию организма и условиям его существования. Это достигается путем питания.

Суть обоснования рационального питания заключается в указании состава и количества пищевых продуктов, которые могут удовлетворить потребности организма. Понятие «пищевые продукты» или «пищевые средства» не следует смешивать с понятием «питательные вещества». К питательным веществам относят группы химических соединений: белки, жиры, углеводы, минеральные соли, витамины и воду. Эти вещества в том или ином количестве содержатся в любом пищевом продукте, который представляет собой в большинстве случаев смесь питательных веществ.

Зная состав пищевых продуктов и их усвояемость, можно вычислить энергетическую ценность принятой пищи, так как известны калорические коэффициенты питательных веществ.

Калорическим, или тепловым коэффициентом называют количество тепла, освобождаемое при сгорании 1 г вещества. Как установлено, калорические коэффициенты основных питательных веществ в организме таковы: окислению 1 г белка калорический коэффициент равен 4,1 ккал, 1 г жира – 9,3 ккал и 1 г углеводов – 4,1 ккал.

Не вся принятая пища усваивается, то есть всасывается из пищеварительного тракта и используется в организме. Под всасыванием понимается проникновение из внешней среды, из полостей тела и из полых органов в кровь или лимфу различных веществ через один или несколько слоев клеток, образующих сложные биологические мембраны. Особое физиологическое значение имеет всасывание в пищеварительном канале. Этим путем организм получает необходимые ему питательные вещества, часть введенной пищи выбрасывается из кишечника в виде шлаков. Исходя из этого, при определении калорийности различают величины «брутто» и «нетто». Калорийность «брутто» – это общая калорийность принятой пищи. Калорийность «нетто» вычисляется с поправкой на усвояемость, тем самым она выражает количество калорий, которые реально получает организм при приеме данного пищевого продукта.

При питании животной пищей усвояемость в среднем составляет 95 %, растительной – 80 % и смешанной – 82–90 %. На практике чаще всего ведут расчеты, исходя из 90 % усвоения пищи.

Всосавшиеся в организме питательные вещества вовлекаются в активный обмен веществ и энергии. Интенсивность превращения энергии и обмена веществ в целом находится в зависимости от индивидуальных особенностей и состояния организма (пола, возраста, массы тела и его роста, условий и характера питания, мышечной работы, состояния эндокринной системы, нервной системы и др.), а также от условий внешней среды (температуры, влажности воздуха и т. п.).

При определенных условиях наблюдается минимальный для бодрствующего организма уровень обмена веществ и энергетических затрат. Его называют основным обменом. Чтобы определить основной обмен человек должен находиться: 1) в состоянии покоя (положение лежа с расслабленной мускулатурой); 2) натощак, т. е. через 12–16 часов после приема пищи; 3) при температуре «комфорта» – 18–20 °С. Основная часть энергии основного обмена тратится на работу дыхательной мускулатуры, сердца, почек и печени. Благодаря энергетическим затратам поддерживается постоянная температура тела.

Величину основного обмена выражают количеством тепла в больших калориях на 1 кг массы или на 1 м<sup>2</sup> поверхности тела за 1 час или за сутки.

Для человека среднего возраста (примерно 35 лет), среднего роста (примерно 165 см), средней массы тела (примерно 70 кг) основной обмен равен 1 ккал на 1 кг массы в 1 час. В среднем основной обмен мужчины массой 70 кг равен 1 700 ккал в сутки, женщины той же массы – примерно на 10 % ниже. У детей интенсивность основного обмена, пересчитанная на 1 кг массы тела значительно выше, чем у взрослых.

С помощью специальных формул или таблиц можно вычислить интенсивность обмена энергии у людей. Согласно формуле Дрейера (Е. Б. Бабский и др., 1966), суточная величина основного обмена в ккал (H) составляет:  $H = \sqrt{W/K \cdot A^{0,1333}}$ ,

где W – масса тела в граммах, A – возраст человека, K – константа, равная для мужчин 0,1015, а для женщин – 0,1129.

Во время сна интенсивность обмена понижается на 8–10 % по сравнению с бодрствованием в связи с тем, что во время сна происходит максимальное расслабление мускулатуры. Значительное влияние на обмен энергии оказывает повышение температуры тела. Если температура тела повышается на 1°, энергетические затраты увеличиваются в среднем на 10–11 %.

Уровень обмена изменяется под влиянием климатических условий: он меньше на 10–20 % в тропиках по сравнению с его величиной в средних географических широтах и увеличен на севере и в холодное время.

Между поверхностью тела и интенсивностью обмена веществ существует взаимосвязь, что позволило М. Рубнеру с соавторами сформулировать «закон поверхности тела» (Е. Б. Бабский и др., 1966). Согласно данному закону затраты энергии теплокровных пропорциональны величине поверхности тела. Если интенсивность основного обмена рассчитать на 1 м<sup>2</sup> поверхности тела, то полученные у разных теплокровных животных и у людей величины различаются не настолько резко, как при пересчете на 1 кг массы тела (табл. 3.10.).

Таблица 3.10 – Показатели теплопродукции

Объект исследования	Масса тела в кг	Теплопродукция за 24 часа в ккал	
		на 1 кг массы тела	на 1 м <sup>2</sup> поверхности тела
Мышь	0,018	654,0	1188
Курица	2,0	71,0	947
Гусь	3,5	66,7	967
Собака	15,2	51,1	1039
Человек	64,3	32,1	1042
Свинья	128,0	19,1	1078
Бык	391,0	19,1	1567

Ежедневная продукция тепла на 1 м<sup>2</sup> поверхности тела у человека равна 850–1 250 ккал, в среднем для мужчин – 948 ккал.

Для определения поверхности тела R применяется формула  $R = K \times \text{масса тела}^{2/3}$ .

Константа K у человека равна 12,3. Площадь поверхности тела условного мужчины составляет 1,8 м<sup>2</sup>, условной женщины – 1,6 м<sup>2</sup>

«Закон поверхности» не абсолютно верен. Однако он имеет известное практическое применение для ориентировочных расчетов освобождения энергии в организме.

Суточный расход энергии у здорового человека, проводящего часть суток в движении и физической работе, значительно превышает величину основного обмена. Это увеличение энергетических затрат составляет рабочую прибавку.

При мышечной работе освобождается тепловая и механическая энергия. Отношение механической энергии ко всей энергии, затраченной на работу, выраженное в процентах, называется коэффициентом полезного действия. При работе человека коэффициент полезного действия колеблется от 16 до 25 % и в среднем равняется 20 %.

Чем интенсивнее совершаемая организмом работа, тем выше затраты энергии. Если затраты энергии в условиях основного обмена составляют в среднем 1 ккал на 1 кг массы тела в час, то при спокойном сидении затраты энергии в среднем равны 1,4 ккал на 1 кг в час; при стоянии без напряжения – 1,5 ккал; при легкой работе (канцелярские служащие, механики, учителя) – 1,8–2,5 ккал; при небольшой мышечной работе, связанной с ходьбой (врачи, лаборанты, почтальоны) – 2,8–3,2 ккал; при труде, связанном с мышечной работой средней тяжести (маляры, столяры) – 3,2–4 ккал; при тяжелом физическом труде (строители, дровосеки и др.) – 5–7,5 ккал.

По энергетическим затратам представителей разных профессий делят на несколько групп (табл. 3.11.).

Таблица 3.11 – Группы профессий по суточному расходу энергии

Группа	Характеристика профессий	Расход энергии, ккал/сутки
Первая группа	Работники умственного труда (ученые, врачи, инженеры, служащие и др.)	3 000–3 200
Вторая группа	Рабочие механизированных производств (токари, фрезеровщики, водители и др.)	3 500
Третья группа	Рабочие, занятые физическим трудом в частично механизированных предприятиях (слесари, сельскохозяйственные рабочие, истопники)	4 000
Четвертая группа	Рабочие тяжелого физического труда (грузчики, землекопы и др.)	4 500–5 000

Во время умственного труда энергетические затраты значительно ниже, чем при физическом труде. Умственный труд, если он не сопровождается движением, вызывает на 2–3 % более высокие затраты энергии по сравнению с покоем.

Необходимое организму количества энергии может быть получено за счет окисления и белков, и жиров, и углеводов. На этом основании М. Рубнером было сформулировано правило изодинамии, по которому отдельные питательные вещества могут заменять друг друга в соответствии с их калорическими коэффициентами (Е. Б. Бабский и др., 1966). Согласно этому правилу, 1 г жира, дающий организму 9,3 ккал, может заменить 2,3 г углеводов или белка, а 1 г белка, который дает организму 4,1 ккал, – 1 г углеводов или 0,44 г жира. Однако правило изодинамии учитывает только энергетические нужды организма и не учитывает пластические потребности организма. Поэтому при составлении норм питания руководствуются не только данным правилом, но и учитывают потребности организма в достаточном количестве белков, углеводов, жиров, минеральных солей и витаминов.

При составлении пищевых рационов особенное значение уделяется норме белков, жиров и углеводов в питании (табл. 3.12.). При этом особое внимание уделяется норме белков, для этого ориентируются не только на белковый минимум, а и на белковый оптимум, то есть на то количество белка в пище, которое полностью обеспечивает потребности организма, хорошее самочувствие, высокую работоспособность, достаточную сопротивляемость инфекциям, а для детей и потребности роста.

По данным института питания СССР ежесуточный прием с пищей взрослым человеком в среднем 80–120 г белка полностью удовлетворяет потребности организма в нормальных условиях при легкой работе. При работе средней тяжести требуется около 120 г белка, тяжелой – около 150–160 г. Не менее 30 % этого количества белка должно быть животного происхождения. Пищевой рацион должен включать не менее 60 г жиров, так как в их состав входят жирорастворимые витамины и липоиды, необходимые для построения клеток. При затрате 3 000 ккал в сутки рекомендуется прием с пищей 100 г жира.

Таблица 3.12 – Рекомендуемые средние величины потребления питательных веществ в зависимости от возраста (Б. И. Ткаченко, 1994)

Возраст, лет	Белки, г/сутки	Жиры, г/сутки	Углеводы, г/сутки
1–3	53	53	212
4–6	68	68	272
7–10	79	79	315
11–13	93	93	370
14–17	100	100	400
60–74	69	77	333
75	60	67	290

Из этого количества жира 30–50 должно приходиться на жиры животного происхождения. В зависимости от вида деятельности суточное количество углеводов в пище человека должно составлять от 400 до 600 г. (табл. 3.13.).

Таблица 3.13 – Рекомендуемые нормы питания

Возрастная группа		Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Калории, ккал
Дети					
6 мес. – 1 год		25	25	113	800
1–2 года		48	48	185	1 400
3–6 лет		65	65	251	1 900
7–10 лет		82	82	317	2 400
11–14 лет		102	102	398	3 000
15–17 лет		113	106	451	3 300
Взрослые <sup>X</sup>					
1-я группа	мужчины	102	97	410	3 000
	женщины	92	87	369	2 700
2-я группа	мужчины	120	113	478	3 500
	женщины	109	103	437	3 200
3-я группа	мужчины	137	129	546	4 000
	женщины	123	116	492	3 600
4-я группа	мужчины	154	145	615	4 500
Лица пенсионного возраста					
До 65 лет	мужчины	92	81	382	2 700
	женщины	82	72	340	2 400
Старше 65 лет	мужчины	82	72	340	2 400
	женщины	72	63	297	2 100

Примечание: <sup>X</sup> – 1-я группа – лица, работа которых не связана с физическим трудом (педагоги, медицинский персонал, служащие, инженерно-технические, научные работники); 2-я группа – лица, занятые механизированным трудом (станочники, операторы и др.); 3-я группа – рабочие и колхозники, занятые ручным трудом средней тяжести (слесари, рабочие пищевой промышленности, транспорта, сельского хозяйства, водители грузовых машин, шахтеры и др.); 4-я группа – рабочие, занятые тяжелым физическим трудом (грузчики, пильщики леса и др.).

В настоящее время врачи все чаще говорят о необходимости соблюдения основных положений правильного питания. Неправильное питание – одна из главных причин ухудшения здоровья и сокращения продолжительности жизни населения. Многие задаются вопросом почему это происходит? В наше время традиции питания даже по сравнению с началом прошлого века значительно изменились. Во-первых,

питание стало менее разнообразным. Сузился набор используемых в пищу видов растений и животных. На сегодняшний день 70–80 % общей калорийности рациона дают только 7 основных продуктов: хлеб ржаной, хлеб пшеничный, мясо, молоко, сахар, масло, картофель. Во-вторых, наряду с сужением набора природных пищевых продуктов пища становится все менее натуральной, нарастает количество рафинированных продуктов. Пищевая промышленность совершенствует процессы очистки выпускаемого ею сахара, муки, растительного масла и других продуктов. В этой чистоте она видит главную характеристику качества. В рафинированных продуктах сотни и тысячи полезных веществ отсутствуют. Сегодня хлеб, основной продукт питания миллионов людей, лишен большей части необходимых человеку веществ, хотя и стал заманчиво белым, аппетитным и калорийным. Как это происходит? Муку высшего сорта получают из внутренней части зерна – эндосперма, в котором 60–80 % крахмала, 10–15 % белка и почти нет микроэлементов и витаминов, удаляемых с наружными оболочками. Из 28 элементов пшеницы 9 исчезают совсем, от остальных остаются крохи: кальция – 19 мг из 60, железа 1,8 из 5,4, марганца – 0,7 из 3,7 и т. д.

Сегодня более 60 % калорий население получает из жиров и рафинированного сахара и лишь 20 % из овощей, зерна и фруктов. Уменьшение потребления пищевого волокна на 80 % связано непосредственно с уменьшением потребления растительной пищи.

Пищевые добавки – третье и весьма серьезное обстоятельство, ухудшающее пищу человека. Если бы такие добавки, как перец, горчица, чеснок и другие приправы и специи были только природными, как в прошлом, не было бы проблем. Но ведь основную часть пищевых добавок составляют синтетические химические соединения, сознательно добавляемые при переработке пищевых продуктов. Всего этих веществ по разным источникам от 1 500 до 1 800, а на одного человека в год их приходится в разных странах от 2 до 4 кг. К этому следует добавить, что еще около 3 тысяч веществ попадают в пищу из химически загрязненной окружающей среды. К сожалению, такой современный режим питания широко открыл дверь различным заболеваниям. Его ухудшению способствует и снижение физических нагрузок на человека. Если раньше его энергозатраты составляли в среднем 4–6 тыс. ккал в день, то сегодня – 2,5–3 тыс. ккал. Население соответственно и меньше потребляет пищи. Но с этим количеством пищи человек не получает нужного количества незаменимых факторов питания. Например, людям требуется 2–2,5 мг витамина В в день, чтобы его получить, надо съесть в день 1 кг черного хлеба. Для наших

предков, которые много работали физически, такой рацион был нормальным: солдат русской армии, к примеру, получал ежедневно 1,3 кг черного хлеба, 400 г солонины, 60 г растительного масла, дважды в день щи и кашу. Наконец, из-за нехватки, недоступности и дороговизны продуктов питания часть населения питается значительно хуже остального. Оно больше переходит на хлеб, молоко, крупы, макаронны, вареную колбасу, маргарин. При этом население инстинктивно переедает, усугубляя положение отсутствием культуры потребления. При скудности кошельков покупатель, если есть такая возможность, выбирает, в-первую очередь, именно то, чего рациональное питание не рекомендует: употребляет жирное мясо, нашпигованную салом колбасу, сливочное масло, перенасыщенные сахаром кондитерские изделия, напитки и т. д.

Сегодня суточный рацион питания среднестатистического жителя отличается следующими особенностями: высокой калорийностью, которая больше физиологических потребностей, потреблением хлебобулочных изделий, картофеля, простых сахаров, мясных и молочных продуктов и недостаточным – овощей и фруктов; завышенным содержанием белков и жиров, за счет продуктов животного происхождения, что приводит к нарушению оптимального соотношения белков и жиров животного и растительного происхождения; высоким содержанием углеводов за счет одностороннего преобладания хлебобулочных изделий, картофеля, сахара при дефиците овощей и фруктов. Уровень потребления сахара растет с каждым годом, и достиг, к примеру, в Беларуси 47 кг на 1 человека в год. В то время как японцам хватает 22 кг, итальянцам – 24 кг, американцам – 28 кг. При этом у них приходится по 200–300 кг овощей и фруктов на человека в год, а у нас максимум 144 кг (без картофеля), причем в свежем виде доходит лишь половина, остальное – пересахаренное.

Оборачивается это не только килограммами лишнего веса, но и более серьезными последствиями. Актуальными остаются элементозы и гиповитаминозы. В среднем наши люди испытывают дефицит витаминов на 30–40 %. Этого достаточно, чтобы жить, но организм при таких состояниях «тянет» на пределе сил, подрывая здоровье и исчерпывая свои ресурсы. Весной, по обобщенным данным, дефицит витамина С у разных групп населения достигает 50–75 %, витамина А – 20–70 %.

Дефицит витаминов усугубляется еще и тем, что в продаже недостаточно продуктов, обогащенных витаминами. Аптечные поливитаминные препараты, из-за их дороговизны, для большинства людей практически недоступны.

Таким образом, от особенностей питания во многом зависит здоровье, продолжительность жизни и трудоспособность населения. В этой связи производство качественных продуктов в достаточных объемах, как для внутреннего потребления, так и для увеличения экспорта продовольствия свидетельствует не только об обеспечении продовольственной безопасности, но и является путем к повышению благосостояния населения и престижа страны.

### 3.3.2. Пищевая и биологическая ценность пищевых продуктов

Население в своем питании использует животные (мясо, рыба, молоко, яйца) и растительные (злаки, овощи, фрукты и ягоды) пищевые продукты. По своему химическому составу, свойствам и биологическому действию они являются смешанными веществами. Некоторые из них служат источником энергии для организма, другие – пластических веществ, третьи – биологически активных веществ.

Продукты животного происхождения относятся к источникам пластических веществ. Важнейшим их компонентом является белок, содержащий все незаменимые аминокислоты, причём в наилучшем сочетании необходимым для синтеза белка тканей (табл. 3.14.). Общее содержание белков в мясорыбных пищевых продуктах составляет 11–20 %, в молоке – 3–4 %, в твороге 15–17 %, в яйцах – 12 %. Усвояемость белка пищевых продуктов животного происхождения высокая, не менее 96 %.

Таблица 3.14 – Содержание пищевых веществ в мясе (в пересчёте на 100 г съедобной части)

Показатель	Говядина		Свинина		Баранина		Куры	
	I категории	II категории	жирная	мясная	I категории	II категории	I категории	II категории
Вода, г	67,7	71,7	38,7	51,6	67,7	69,3	61,9	68,9
Белки, г	18,9	20,2	11,4	14,6	16,3	20,8	18,2	20,8
Жиры, г	12,4	7,0	49,3	33,0	15,3	9,0	18,4	8,8
Зола, г	1,0	1,1	0,6	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9
Калорийность, ккал	187	144	489	355	203	164	241	165

Источником полноценного белка могут служить и некоторые растительные продукты, такие как картофель, рис, соя. По сбалансированности аминокислот белки этих продуктов близки к белкам животного

происхождения. Названные продукты имеют большой удельный вес в питании населения, поэтому их относят к существенным источникам полноценного белка.

Зерновые продукты также занимают большой удельный вес в питании человека и поставляют 8–13 % белка. Однако, белок этих продуктов содержит мало незаменимой аминокислоты лизина, что негативно сказывается на общей сбалансированности его аминокислот. Усвояемость белков растительных продуктов зависит от вида продукта и степени его обработки и находится в пределах 70–85 %.

Пищевые продукты, богатые углеводами и жирами, служат источником энергии. Основное место среди них занимают зерновые продукты, содержащие до 70 % углеводов. За счёт зерновых продуктов покрывается более половины энергетической ценности суточного рациона. Высокой энергетической ценностью обладают также сахар и все кондитерские изделия.

К важнейшим источникам энергии относятся продукты богатые жиром (жирные сорта мяса, рыбы, птицы, сметана и др.), а также пищевые жиры (сливочное масло, маргарин, сало и др.). Несмотря на то, что жир даёт в два и более раза больше калорий, чем углеводы или белки, в энергетическом балансе организма основную роль должны играть продукты богатые углеводами.

Для покрытия физиологических потребностей организма рекомендуется использовать продукты как животного, так и растительного происхождения. Чем разнообразнее набор потребляемых продуктов, тем полноценнее питание.

Пищевые и биологические свойства продуктов и их полноценность напрямую связаны с качеством пищевых продуктов. Борьба за высокое качество пищи – это борьба за здоровье населения.

В понятие «пищевая ценность» как правило включают всю полноту полезных качеств продуктов – органолептические свойства, химический состав, биологическую и энергетическую ценность.

Биологическая ценность продуктов устанавливается по белковому компоненту рациона. Ценность белка определяют по содержанию в нем незаменимых аминокислот (химический или аминокислотный скор) и биологическими методами с использованием животных организмов.

Энергетическая ценность характеризует ту долю энергии, которая освобождается из пищевых веществ продукта в процессе биологического окисления и использования для выполнения физиологических функций организма. В первой главе было показано, что энергетическая ценность белков и углеводов равна 4,1 ккал/г, жиров – 9,3 ккал/г. В практической работе для определения энергетической ценности

продуктов пользуются специальными таблицами химического состава пищевых средств.

Уже подчёркивалась роль зерновых продуктов в структуре питания населения, удельный вес которых достигает более 50 % суточной энергетической ценности. Основой получения зерновых продуктов является зерно продовольственных культур (пшеница, рожь, ячмень и др.).

Основная ценность большинства зерновых продуктов – углеводы, количество которых в хлебных злаках составляет более 65 %, в бобовых – более 50 %. Главным усвояемым углеводом злаков является крахмал. Наряду с простыми сахарами он служит основным энергетическим материалом (табл. 3.15.).

Зерно служит источником получения разнообразных продуктов питания человека, основным из которых являются крупы и мука. Из муки выпекается основной продукт питания – хлеб и большой ассортимент хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий. Пищевые свойства муки зависят от характера размола зерна, и определяется её выходом.

Хлеб занимает основное место в питании населения большинства стран мира. Он обладает хорошей усвояемостью, насыщаемостью и не приедается. В составе хлеба в организм человека ежедневно поступает в среднем 25–35 г белка, 150–200 г углеводов и 800–1 000 г ккал.

Значение картофеля в рационе питания населения Беларуси трудно переоценить. В картофеле содержится от 1 до 4 % белка, около 0,4 % жиров и примерно 20 % углеводов, в том числе более 16 % крахмала.

Таблица 3.15 – Содержание пищевых веществ в основных зерновых культурах (в пересчёте на 100 г съедобной части) (по С. Ю. Буслович, М. М. Дубенецкой, 1986)

Показатели	Продукты							
	пшеница			рожь	овёс	ячмень	гречиха	рис
	мягкая		твёрдая					
	озимая	яровая						
Вода, г	14,0	14,0	14,0	14,0	13,5	14,0	14,0	14,0
Белки, г	11,6	12,7	12,5	9,9	10,1	11,5	11,6	7,3
Жиры, г	1,6	1,6	1,9	1,6	4,7	2,0	2,3	2,0
Углеводы, г	68,7	66,6	67,5	70,9	57,8	65,8	59,5	63,1
Клетчатка, г	2,4	3,4	2,3	3,5	10,7	4,3	10,8	9,0
Зола, г	1,7	1,7	1,8	1,7	3,2	2,4	1,8	4,6
Калорийность, ккал	318	315	320	320	300	311	290	284

Белок картофеля состоит в основном из альбуминов и глобулинов и усваивается человеком и животными на 70–80 %. В его состав входят все незаменимые аминокислоты, в том числе лизин (3–9 %), метионин (1–3,6 %), треонин (2,5–5,9 %) и др.

Картофель является важным источником витаминов, особенно витамина С, содержит много минеральных веществ в первую очередь калия (570 мг%) и фосфора (около 60 мг%).

Овощи – это группа растительных пищевых продуктов, отличающихся специфическими качественными показателями и химическим составом. После сбора урожая они продолжают оставаться живыми многоклеточными организмами, в клетках и тканях которых протекают обменные процессы. Основной особенностью овощей является высокое содержание воды (75–90 %). По этой причине они отличаются низкой калорийностью. Однако, несмотря на значительное содержание воды, овощи имеют огромное значение в питании человека. Пищевая и биологическая ценность овощей обусловлена содержанием в них углеводов, витаминов, минеральных веществ, пектиновых волокон и активной клетчатки. Химический состав некоторых наиболее употребляемых овощей представлен в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Содержание пищевых веществ в некоторых овощах (в пересчёте на 100 г съедобной части продукта) (по С. Ю. Буслович, М. М. Дубенецкой, 1986)

Показатель	Продукт						
	картофель	капуста белокоч.	лук репчатый	морковь красная	огурцы	свекла	томаты
Вода, г	75,0	90,0	86,0	88,5	95,0	86,5	93,5
Белки, г	2,0	1,8	1,4	1,3	0,8	1,5	1,1
Жиры, г	0,4	0,1	-	0,1	0	0	0
Углеводы, г							
сахара	1,3	4,6	9,0	7,0	2,5	9,0	3,5
крахмал	16,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
Клетчатка, г	1,0	1,0	0,7	1,2	0,7	0,9	0,8
Зола, г	1,1	0,7	1,0	1,0	0,5	1,0	0,7
Калорийность, ккал	82	27	41	38	13	41	20

### 3.3.3. Обмен энергии

Жизнь человека, как и любого другого живого организма, невозможна без постоянного притока и возобновления затраченной энергии.

Энергия тратится на совершаемую работу по обеспечению жизнедеятельности (сокращение сердца, дыхательные движения, обмен веществ и т. д.), на превращение пищевых веществ в организме, на обеспечение трудовой и других видов деятельности.

Энергия основного обмена индивидуальна для каждого человека. Она зависит от пола, возраста, физической тренированности и др. Ориентировочно, при среднем возрасте и массе величину основного обмена принимают равной 1 ккал на 1 кг массы тела в час.

Дополнительный расход энергии, вызванный приемом пищи, называется специфическим динамическим действием пищевых веществ. Этот расход обуславливается повышением окислительных процессов, связанных с превращением поступивших в организм пищевых веществ в усвояемую форму. Наибольший расход энергии вызывает переваривание белков, значительно меньше жиров и углеводов. При смешанном питании основной обмен повышается на 10–15 % в сутки.

Энергетические затраты на основной обмен и на специфическое динамическое действие пищи не зависят от воли человека и относятся к нерегулируемым затратам. К регулируемым затратам энергии относятся все виды активной деятельности человека – труд, спорт и т. д. Определяющим при этом является объем и характер мышечной работы. Известно, что самая интенсивная умственная деятельность требует небольших затрат энергии – около 100 ккал/час. При физической нагрузке затраты энергии увеличиваются до 400–500 ккал/час.

Окислительные процессы в организме являются источником энергии, поэтому по поглощению кислорода можно судить о энергетических затратах в организме человека и животных. Кислород используется организмом для окисления углеводов, жиров и белков. Количество тепла в килокалориях, освобождающееся при потреблении 1 л кислорода, носит название калорического эквивалента кислорода. В зависимости от того, какие вещества окисляются, калорический эквивалент кислорода немного изменяется (табл. 3.17.).

Таблица 3.17 – Калорический эквивалент кислорода при окислении питательных веществ в организме

Окисляющееся вещество	При окислении 1 г вещества		При потреблении 1 л O <sub>2</sub> освобождается энергии, ккал
	освобождается энергии, ккал	потребляется O <sub>2</sub> , л	
Белки	4,1	0,970	4,46
Жиры	9,3	2,030	4,74
Углеводы	4,1	0,830	5,05

Больше всего калорий освобождается при окислении 1 г жиров. Вместе с тем, при окислении углеводов, когда потребляется 1 л кислорода, выделяется больше всего энергии – 5,05 ккал. Поэтому для точных расчётов расхода энергии надо знать, какие вещества окисляются, о чём судят по дыхательному коэффициенту.

Дыхательный коэффициент определяется по процентному соотношению  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе к поглощенному  $\text{O}_2$  из атмосферного воздуха. Например, в атмосферном воздухе содержится 21 %  $\text{O}_2$ , а в выдыхаемом воздухе 17 %, то процент поглощения равен 4, и если процент  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе равен 3,5, то дыхательный коэффициент равен 0,87 ( $3,5/4.0$ ). По приведенной таблице можно найти калорический эквивалент  $\text{O}_2$ , соответствующий этому коэффициенту – 4,88 ккал.

Чтобы использовать окислительные процессы в качестве источника энергии, в клетке живых организмов созданы механизмы переноса водорода (электронов) от субстрата на молекулярный кислород. Во-первых, они включают процессы полного отщепления водорода от субстрата, во-вторых, процессы передачи водорода на молекулярный кислород и, в-третьих, образуют механизмы трансформации энергии электронного переноса в химическую энергию.

Первая задача решается с помощью функционирования цикла трикарбоновых кислот (ЦТК) или окислительного гексозомонофосфатного цикла. ЦТК в клетке имеет двойное назначение. Во-первых, это совершенная клеточная «топка», в которой происходит полное окисление органических субстратов и отщепление водорода, во-вторых, цикл снабжает клетку рядом предшественников для биосинтетических процессов.

Энергетическим «топливом» для клеточной «топки» служат не только углеводы, но и жирные кислоты, а также многие аминокислоты.

Вторая задача была решена с помощью «дыхательной цепи» или цепи переноса водорода. Цепь переноса водорода (электронов) состоит из большого числа промежуточных переносчиков. Промежуточные переносчики относятся к четырём классам окислительно-восстановительных ферментов: 1) дегидрогеназам, коферментами которых являются пиримидиновые производные; 2) дегидрогеназам, содержащим в качестве простетических групп флавиновые нуклеотиды; 3) хинонам; 4) цитохромам.

«Дыхательная цепь» одновременно с переносом электронов от субстрата на молекулярный кислород выполняет и другое назначение. В местах перепада окислительно-восстановительного потенциала в цепи не менее 0,2 В при переносе пары электронов происходит

сопряжение транспорта электронов с фосфорилированием – синтезом АТФ из АДФ и неорганического фосфора. На митохондриях животных было показано, что в трёх местах электротранспортной цепи возникает перепад потенциалов не меньше 0,2 В. Выражается это отношением Р/О равно 3, что означает количество потребленных молекул неорганического фосфата, приходящихся на один поглощенный атом кислорода. Следовательно, место включения водорода от разных субстратов в цепь его дальнейшего транспорта определяет число фосфорилирований, происходящих в дыхательной цепи.

В конечном итоге в эукариотных клетках начала хорошо функционировать энергетическая система: гликолиз → ЦТК → оксидаза митохондрий. Схематично катаболизм пищевых веществ можно представить следующим образом. В первой стадии происходит их расщепление до мономеров, во второй – образуется, независимо от природы пищевого продукта, ацетилкоэнзим А.

Более детально энергетический обмен можно рассмотреть на примере расщепления глюкозы. В процессе гликолитического разложения 1 молекулы глюкозы образуется по 2 молекулы пирувата (пировиноградная кислота), АТФ и НАД·Н<sub>2</sub> (никотинамидадениндинуклеотид). Затем 2 молекулы пирувата, в результате окислительного декарбоксилирования в митохондриях дают 2 молекулы КоА и НАД·Н<sub>2</sub>. Далее уже в ЦТК окисление 2 молекул ацетил-КоА приводит к образованию 6 молекул НАД·Н<sub>2</sub> и по 2 молекулы ФАД·Н<sub>2</sub> и АТФ. Перенос каждой пары атомов водорода НАД·Н<sub>2</sub> при соотношении Р/О равным 3, приводит к синтезу 30 молекул АТФ (2 молекулы НАД·Н<sub>2</sub> даёт процесс гликолиза, 2 молекулы НАД·Н<sub>2</sub> – окислительное декарбоксилирование пирувата, 6 молекул НАД·Н<sub>2</sub> – ЦТК). Перенос каждой пары атомов водорода с ФАД·Н<sub>2</sub> сопряжен с двумя фосфорилированиями, т. е. при двух оборотах цикла это даёт 4 молекулы АТФ. Сюда следует прибавить 2 молекулы АТФ, образуемые в процессе гликолиза и 2 молекулы АТФ, синтезируемые в ЦТК при превращении сукцинил-КоА, синтезируемые в ЦТК при превращении сукцинил-КоА в янтарную кислоту. В итоге, полное окисление 1 молекулы глюкозы приводит к образованию 38 молекул АТФ. При этом в результате гликолиза освобождается около 5 % энергии заключенной в химических связях молекулы глюкозы, а 95 % в митохондриях в процессе аэробного окисления. Следовательно, дыхательная цепь, или цепь переноса электронов является главной системой превращения энергии.

Следует отметить, что в клетке реакции образования и распада АТФ тесно связаны, от АТФ отщепляется концевая фосфатная группа, и она вновь превращается в АДФ. После переноса концевой

фосфатной группы на акцепторные молекулы клетки последние получают высвобожденную при этом энергию, за счёт которой и совершается работа.

В основном АТФ в клетке находятся в виде комплексов с ионами магния и марганца. При гидролизе АТФ высвобождается 18 ккал свободной энергии:



Скорость неферментативного гидролиза АТФ в нормальных условиях очень незначительна, что обеспечивает высокую химическую стабильность молекуле АТФ. Химическая стабильность молекулы АТФ эффективно сохраняет энергию и препятствует её рассеиванию в виде тепла. Имея малые размеры, молекулы АТФ легко диффундируют в участки клетки, где необходима энергия для прохождения биологических реакций.

Во время энергетического метаболизма существуют условия, когда клетка запасает энергии больше, чем её расходует. В молекуле АТФ энергия длительное время не хранится (средняя продолжительность «жизни» молекул АТФ составляет 1/3 секунды). Здесь она находится в мобильной форме и обеспечивает все энергозависимые клеточные процессы. Запасная энергия клетки хранится в форме углеводов и липидов.

Таким образом, в процессах переноса энергии в клетке главную роль выполняет система АТФ–АДФ.

Третья задача, состоящая в образовании механизма трансформации энергии электронного переноса в химическую энергию, была решена благодаря наличию в цепи ферментных белков, способных к обратимому окислению-восстановлению. В результате этого переноса освобождающаяся на отдельных участках дыхательной или фотосинтетической цепи энергия трансформируется в химическую энергию фосфатных связей АТФ.

В начале 60-х годов прошлого столетия английский биохимик П. Митчелл предложил электрохимическую или хемоосмотическую гипотезу, согласно которой промежуточной стадией на пути трансформации энергии окисления в химическую энергию макроэргических фосфатных связей является электрическая энергия. В последующем данная гипотеза получила экспериментальное подтверждение.

Оказывается, что при транспорте электронов по дыхательной цепи протоны «откачиваются» из матрикса на наружную поверхность внутренней мембраны митохондрий, что вызывает возникновение электрохимического протонного градиента по обеим сторонам

внутренней митохондриальной мембраны. При возникновении большого протонного градиента протоны начинают перемещаться через АТФ-синтетазу в матрикс, их энергия расходуется для синтеза АТФ. Следовательно, для фосфорилирования используется электрическая энергия, создаваемая в процессе работы дыхательной цепи.

Митохондрии, о которых идёт речь, относятся к мембранным органеллам клетки, участвуют в процессах клеточного дыхания и преобразуют освобождающуюся энергию в форму доступную для использования энергозависимыми структурами клетки.

Количество, размеры и расположение митохондрий зависят от функций клетки, от её потребности в энергии и от места, где энергия расходуется. Поэтому у цитологов за митохондриями закрепилось образное название «энергетических станций клетки».

В световом микроскопе митохондрии выглядят в виде округлых, удлинённых или палочковидных структур длиной 0,3 – 5 и шириной 0,2–1 мкм. Каждая митохондрия образована двумя мембранами – внешней и внутренней. Между ними расположено межмембранное пространство шириной 10–20 нм.

Пространство, ограниченное внутренней мембраной, заполнено коллоидным митохондриальным матриксом. Он содержит множество различных ферментов, в том числе АТФ-азы – ферменты, обеспечивающие синтез и распад АТФ. Эти процессы неразрывно связаны с ЦТК. В матриксе также заключен собственный генетический аппарат митохондрий. Митохондриальные ДНК, РНК и рибосомы весьма сходны с прокариотическими, что послужило появлению симбиотической гипотезы, согласно которой митохондрии и хлоропласты растений возникли из симбиотических бактерий.

Дыхательные цепи бактерий существенно отличаются от дыхательной цепи эукариотов. Они не стабильны по составу и менее сопряжены с окислительным фосфорилированием. Например, у аэробных прокариотов сопряжение электронного транспорта в дыхательной цепи с фосфорилированием имеет низкое значение коэффициента Р/О, которое не превышает 1, в то время как в митохондриях высших организмов данный коэффициент равен 3.

Все микроорганизмы, имеющие систему электронного транспорта, сопряженного с фосфорилированием делят на две группы в зависимости от источника энергии. Первая группа – микроорганизмы, использующие в качестве источника энергии окисление неорганических соединений (неорганические доноры водорода – железобактерии, нитрифицирующие, водородные, серные и другие бактерии), вторую группу составляют микроорганизмы, у которых донорами водорода

служат различные органические соединения (уксуснокислые, аммонифицирующие, целлюлозные, денитрифицирующие, метанобразующие и другие бактерии).

В качестве энергии прокариоты могут использовать энергию света или энергию химических превращений. В зависимости от этого всех прокариотов делят соответственно на фототрофов и хемотрофов. Организмы, у которых донорами электронов в энергетическом процессе являются неорганические вещества, назвали литотрофными, а организмы, у которых донорами электронов служат органические соединения, – органотрофными.

К группе прокариот, использующих энергию света, относятся фотосинтезирующие бактерии и цианобактерии, или сине-зеленые водоросли. К настоящему времени известно свыше 50 видов фотосинтезирующих бактерий. По форме они представляют собой кокки, палочки, вибрионы, спириллы, имеются подвижные и неподвижные виды, размеры которых колеблются от 1 до 20–100 мкм в длину и от 0,3 до 6,0 мкм в ширину. Для всей группы характерно наличие разных видов бактериохлорофиллов и каротиноидных пигментов.

Энергетический метаболизм большинства фотосинтезирующих бактерий зависит от света, но ряд представителей бактерий обеспечивают рост на органических субстратах в темноте. Следовательно, с точки зрения энергетических возможностей группа фотосинтезирующих бактерий достаточно многолика.

Основным местом обитания фотосинтезирующих бактерий являются пресные и соленые водоемы. Имеющийся спектр бактериохлорофиллов исключает конкуренцию за свет с высшими фотосинтезирующими организмами, что имеет большое значение в экологии бактерий. К другим, определяющим рост бактерии, факторам внешней среды относятся pH, температура, концентрация солей и др. Такие специфические условия существования позволяют фотосинтезирующим бактериям сохраняться в течение длительного эволюционного периода.

Группа цианобактерий (сине-зеленые водоросли) насчитывает более 1,5 тысячи видов. В данной группе сформировался особый тип энергетики, ставший господствующим у высших растений. Это фотосинтез, основанный на функционировании двух фотосистем и сопровождающийся выделением молекулярного кислорода.

Для построения всех элементов клетки сине-зеленым водорослям нужна углекислота в качестве источника углерода, самые простые формы азота – аммонийные, нитратные соли, и минеральные соли.

Сине-зеленые водоросли приспособились к широкому диапазону условий жизни. Они встречаются во льдах и в горячих источниках

с температурой до 80 °С. Цианобактерии практически не зависят от органических соединений внешней среды, они первыми развиваются там, где жизнь разрушена.

Интерес к изучению цианобактерий не ослабевает, что определяется рядом причин, в том числе практических. Экономической проблемой является массовое развитие сине-зеленых водорослей в ряде водоемов, так как они ухудшают качество воды, которая становится токсичной для рыб и домашних животных.

Положительные свойства цианобактерий заключаются в том, что в силу нетребовательности к условиям внешней среды являются «первооткрывателями» трудных биологических условий. Благодаря жизнедеятельности цианобактерий изменяется окружающая среда. Она обогащается органическим веществом, азотом, изменяются физические свойства. В этой группе бактерий сформировался фотосинтез, сопровождающийся выделением в атмосферу молекулярного кислорода.

До возникновения фотосинтезирующих эукариотов и высших растений содержание свободного кислорода в атмосфере Земли было незначительным в сравнении с его содержанием в современное время, составляющим 21 %. Появление и последующее накопление молекулярно кислорода в земной атмосфере сделало возможным протекание окислительных реакций в широких масштабах.

Таким образом, молекулярный кислород послужил стартом к образованию новых типов жизни, в основе которых лежало получение энергии за счёт процессов окислительного фосфорилирования.

### **3.3.4. Потребности населения Беларуси в продуктах питания и энергии**

В настоящее время в системе мирового агропромышленного производства поддерживается тенденция роста по всем продовольственным составляющим, но объемов сельскохозяйственного производства по-прежнему недостаточно для удовлетворения рыночного спроса. Следовательно, не обеспечивается продовольственная безопасность населения из-за «ножниц» в приросте мирового продовольствия и его потребностями.

К этому необходимо добавить, что площадь пахотных земель на душу населения сокращается и, по прогнозам, будет в дальнейшем сокращаться. Одновременно с этим на земном шаре увеличиваются площади пустынь, от 6 до 7 млн. га сельскохозяйственных земель ежегодно превращаются в непродуктивные. Снижается плодородие

почв еще на 1,5 млн. га из-за происходящих процессов засоления, подтопления, осолонцевания (Э. А. Арустамов и др., 2001).

Снижение плодородия и потери почв способствуют падению жизненного уровня населения, повышению смертности, возникновению конфликтов из-за земельных и других ресурсов.

Специалисты ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН) и ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения – специализированное учреждение ООН) предлагают оценивать энергетические потребности среднестатистического жителя Земли на уровне 2 400 ккал в день, который позволяет поддерживать относительно эффективную жизнедеятельность. Калорийность пищи, её соответствие энергетическим нормам является важнейшим элементом сбалансированного питания. Не менее важно качество продуктов питания, их сбалансированность по белковым, жировым, углеводным компонентам, соотношению витаминов, минеральных элементов и т. п. Так, в развитых странах ежегодно на одного человека производится до 25 кг белка (в развивающихся странах – около 1 кг), зерновые в развитых странах составляют не более 30 % рациона (в развивающихся – свыше 60 %). Если в США на каждого жителя приходится около 1 т зерна в год, при этом лишь 70 кг из этого количества потребляется непосредственно, а остальное используется на корм скоту, то в развивающихся странах наблюдается обратная ситуация (Э. А. Арустамов, 2001).

На ближайшие годы перед отраслями сельского хозяйства Республики Беларусь поставлена задача максимального увеличения производства продукции растениеводства и животноводства и её экспорта за пределы страны. Необходимость экспорта сельскохозяйственной продукции обуславливается экономической зависимостью республики от импорта топливно-энергетических и других ресурсов. В этой связи важно не только наращивание экспортного потенциала, но и необходимо знание, на основании научно-обоснованных норм питания возрастных групп населения, объемов и структуры производства продуктов животного и растительного происхождения для удовлетворения внутренних потребностей населения. Данный вопрос возникает еще и потому, что в источниках литературы приводятся разные потребности как в белках и других питательных веществах, так и в продуктах питания. В нормах питания населения по одним данным средняя физиологическая норма белка животного происхождения для взрослого здорового человека должна составлять 30 г (Е. Б. Бабский и др., 1966), по другим – 50 % от суточной потребности в данных веществах (В. С. Карпышева, Г. А. Татарникова, 1974).

По утверждению А. А. Попкова (2001 г.) для внутреннего потребления в Беларуси требуется: молока 3930 тыс. т, мяса (в убойном весе) 800 тыс. т, яиц 2 940 млн. шт. При пересчете этих продуктов на 1 душу населения получается по 415 кг/год молока или 1,1 кг/сутки, мяса соответственно 84,5 кг/год или 231 г/сутки, яиц – 310 шт/год или 0,85 шт/сутки. В таком рационе питания содержание белка животного происхождения составляет около 79,8 г/сутки. Данное количество белков приближается к 80 % от суточной потребности в белках. Некоторые исследователи для внутреннего потребления населения указывают другие количества продуктов: молоко – 3 000 тыс. т, мясо – 680 тыс. т, яйца – 2,0 млрд штук (П. И. Никончик, 2011 г.).

Из приведенного обзора литературных источников видно, что единого мнения и конкретных данных о потребности республики Беларусь в продуктах питания для внутреннего потребления не имеется. Поэтому получение таких сведений имеет большое практическое значение в стратегии развития и планировании различных отраслей народного хозяйства страны.

Потребности Беларуси в основных пищевых веществах и энергии для населения страны зависят от численности, возраста, рода трудовой деятельности населения. Для их установления используем данные Национального статистического комитета Беларуси, который проводит ежегодный учёт населения по 15 возрастным группам, а также рассмотрим их структуру и численность. Как видно из показателей таблицы 3.18 в структуре населения самый низкий удельный вес имеет возрастная группа 65–69 лет и самый высокий – возрастные группы 20–24 и 50–54 года. Детская группа населения возраста 0–14 лет занимает удельный вес в количестве 15,1 % и люди пенсионного возраста 60 лет и старше – 19,4 %. Обе данные возрастные группы, относящиеся к нетрудоспособному населению, вместе составляют 34,5 % от всего населения страны.

На основании рекомендуемых норм питания для возрастных групп (табл. 3.12 и 3.13) определим средневзвешенную суточную потребность населения в белках, жирах, углеводах и энергии, а также потребность в данных элементах питания отдельных возрастных групп и республики в целом. Из размещенных в таблице 3.19. показателей следует, что средневзвешенная потребность 1 жителя республики составляет: в белках 102 г/сутки, жирах – 100 г/сутки, углеводах – 424 г/сутки и пищевой энергии – 3 100 ккал. Количественное соотношение белка, жира и углеводов имеет вид как 1:1:4, а соотношение пищевой энергии данных веществ как 1:2,2:4,1.

Таблица 3.18 – Структура населения Беларуси по состоянию на 1.01.2012 года

Возрастная группа	Численность, тыс. чел.	Удельный вес, %
0–4	533,35	5,6
5–9	445,28	4,7
10–14	451,00	4,8
15–19	546,44	5,8
20–24	736,78	7,8
25–29	776,66	8,2
30–34	695,67	7,3
35–39	662,87	7,0
40–44	648,91	6,9
45–49	708,15	7,5
50–54	778,97	8,2
55–59	646,08	6,8
60–64	537,43	5,7
65–69	294,50	3,1
70 и старше	1 003,06	10,6
Всего	9 465,15	100

Таблица 3.19 – Суточная потребность населения Беларуси в питательных веществах и энергии

Возрастная группа	Белки		Жир		Углеводы		Энергия	
	г/чел.	кг/группу	г/чел.	кг/группу	г/чел.	кг/группу	ккал/чел	Мккал/группу
0–4	53	28 267,5	53	28 267,5	212	113 079	1 580	842,7
5–9	73	32 504,7	73	32 504,7	294	130 912	2 180	970,7
10–14	102	46 002,0	102	46 002,0	398	179 498	3 000	1 353,0
15–19	113	61 747,7	106	57 922,6	451	246 444	3 300	180,3
20–59	115	650 220,4	115	650 220,4	478	2 702 655	3 500	19 789,3
60–64	92	49 443,6	81	43 531,8	382	205 298	2 700	1 451,1
65 и ст.	82	106 399,9	72	93 424,3	340	441 170	2 400	3 114,1
Всего		974 585,8		951 873,4		4 019 048		29 324,2

На основании суточной потребности в питательных веществах и энергии можно установить потребности 1 жителя на год и на другие разные сроки. Например, годовая потребность 1 жителя Беларуси в белках колеблется на уровне 3,72 кг, жирах – 3,65 кг, углеводах – 154,7 кг и энергии – 1,13 Мккал.

По данным ФАО уже в 1975–1977 годах энергия рациона питания в ряде стран превышала данную потребность. К их числу относились такие страны как Аргентина, где калорийность рациона была выше

на 158 ккал, Австралии – на 300 ккал, Канаде – на 245 ккал, Великобритании – на 211 ккал, США – на 439 ккал и СССР – на 343 ккал. Одновременно с этим в ряде стран отмечалась совсем низкая калорийность рациона питания населения. Например, калорийность рациона населения Индии не превышала 1 889 ккал/сутки, Кении – 2 141 ккал/сутки.

Для развития производства пищевых продуктов важны показатели потребности всего населения республики в питательных веществах и энергии. Для населения Беларуси в количестве 9 465,15 тыс. человек ежедневная потребность в белках достигает 974 585, 8 кг (округленно 975 т), из которых для детей в возрасте 0–14 лет требуется 106 774,2 кг (округленно 107 т) или 11 %, для населения 60 лет и старше 155 843,5 кг (округленно 156 т) или 16 % и для группы населения 15–59 лет – 711 968,1 кг (округленно 712 т) или 73 % от общей потребности в белках. Суточная потребность населения в жирах составляет 951 873,4 кг (примерно 952 т), из которых для детей в возрасте 0–14 лет – 106 774,2 кг (примерно 107 т) или 11 %, для группы 60 лет и старше – 136 956,1 кг (примерно 137 т) или 14 % и для группы 15–59 лет – 708 143 кг (примерно 708 т) или 75 % от общей потребности в жирах. Потребность жителей республики в углеводах составляет 4 019 048 кг (примерно 4 019 т), из которых для детей в возрасте 0–14 лет необходимо 423 489 кг (примерно 423 т) или 11 %, для жителей 60 лет и старше – 646 458 кг (примерно 646 т) или 16 % и для группы жителей 15–59 лет – 2 949 099 кг (примерно 1 949 т) или 73 % от общей потребности в углеводах. Общая потребность жителей республики в суточной энергии составляет 29 324,2 Мккал, из которых для детей в возрасте 0–14 лет – 3 166,4 Мккал или 11 %, для жителей 60 лет и старше – 4 565,2 Мккал или 16 % и для жителей в возрасте 15–59 лет – 21 592,6 Мккал или 73 % от общей потребности в энергии.

Годовая потребность населения республики в белках составляет 355 723 т, в жирах – 347 434 т, углеводах – 1 466 953 т и энергии 10,7 Тккал. Энергетическая потребность населения в условном топливе на год оставляют 1,528 Мту.т., что эквивалентно 12,4 млрд кВт.ч электрической энергии.

Медицинские показания по рациональному питанию требуют, чтобы в структуре рациона питания населения продукты животного происхождения составляли не менее 30 %. Следовательно, на основании установленной нами суточной потребности, на долю белка животного происхождения в суточном рационе должно приходиться не менее 31 г, жира – 30 г. Чтобы установить в каком количестве продуктов животного происхождения содержится такой объем данных питательных веществ, проанализируем питательность мяса, потребляемого населением

республики. С этой целью используем данные таблицы 3.20. и структуру производства мяса в Беларуси.

Таблица 3.20 – Химический состав и энергетическая ценность продуктов животноводства (А. Т. Мысик и др., 1985)

Продукт	Содержание, %					Энергетическая ценность 100 г, ккал
	влаги	белка	жира	углеводов	зола	
Молоко (пастеризованное)	87,3	3,2	3,6	5,2	0,7	58
Говядина I кат.	66,4	18,6	14,0	-	1	187
Свинина (мясная)	51,5	14,3	33,3	-	0,9	355
Баранина I кат	67,2	15,6	16,3	-	0,8	203
Бройлеры	69	17,6	12,2	0,4	0,8	283
Яйца куриные	74	12,7	11,5	0,7	1,1	157

По статистическим данным в структуре производимого в Беларуси мяса говядина составляет 44 %, свинина 28 % и мясо птицы 28 %, баранина практически не используется. С учётом данной структуры производства мяса можно установить, что в 100 г используемого в республике мяса в среднем содержится 17,1 г белка, 18,9 г жира 0,1 г углеводов и 261 ккал.

Из продуктов животного происхождения населением республики в основном употребляются молоко, мясо и яйца. На основании рекомендуемых норм рационального питания установим потребности в данных продуктах на сутки, на год на человека и на все население республики.

Как видно из показателей таблицы 3.21. для удовлетворения потребностей жителей в продуктах животного происхождения им достаточно употреблять ежедневно около 250 г молока, 100 г мяса и 1 яйцо. Данное количество продуктов удовлетворяет суточную потребность человека в белках на 31 %, в жирах на 33,6 %, углеводах на 3,2 % и пищевой энергии на 15,6 %. Недостающие до нормы питательные вещества следует восполнять за счет продуктов растительного происхождения.

Таблица 3.21 – Суточная потребность в продуктах животного происхождения жителя Беларуси

Продукт	Количество, г	Содержится в продуктах			
		белка, г	жира, г	углеводов, г	энергии, ккал
Молоко	250	8	9	13,0	145
Мясо	100	17,1	18,9	0,1	261
Яйцо	50	6,3	5,7	0,35	78
Всего		31,4	33,6	13,45	484

При соблюдении данной структуры потребления животных и растительных продуктов населению республики требуется на год 198,48 тыс. т белков животного происхождения и недостающие до нормы 247,243 тыс. т белков растительного происхождения, соответственно жиров – 116,08 и 231,35 тыс. т, углеводов – 46,47 и 1 420,49 тыс. т, пищевой энергии – 1 672 113 и 9 031 147 Мккал.

При планировании и обеспечении населения продуктами питания необходимо владеть информацией о годовой потребности 1 жителя в продуктах животного происхождения в натуральном выражении. Исходя из норм рационального питания одному жителю Беларуси на год необходимо молока 91,3 кг (0,25х365), мяса 36,5 кг и яиц 365 штук (50 г = 1 шт.). Всем жителям республики на год требуется 863 695 т молока 91,25х9 465 150), мяса – 345 478 т и яиц – 3 454 779 700 шт. или 3,45 млрд шт.

Далее следует указать, что в Беларуси динамика общей численности и численность возрастных групп населения, в последние 10–15 лет, не стабильны и подвержены колебаниям. Следовательно, изменяются и потребности населения республики в питательных веществах и энергии. В этой связи для планирования потребностей в объемах питательных веществ, продуктах питания и энергии необходим более упрощенный и быстрый расчёт. С этой целью можно использовать расчёт определения питательных веществ и энергии на 1 условного человека. Суть расчёта состоит в следующем. Анализ всех возрастных группы населения республики по их суточной потребности в основных питательных веществах и энергии свидетельствует, что детская группа, в возрасте 0–9 лет, и группа пенсионеров, в возрасте 60 лет и старше, отличаются существенно меньшими показателями потребностей в сравнении с группой 10–59 лет. В группе 10–59 лет наблюдаются самые высокие показатели. Например, потребность в энергии в данной группе колеблется от 3 до 3,5 тыс. ккал/сутки, а в первых двух – от 1,8 до 2,5 тыс. ккал/сутки. На этом основании население возраста 10–59 лет предлагается отнести к условной взрослой группе, как самую многочисленную и у которой самые высокие показатели потребностей, а каждого человека данной численности принять за 1 условную единицу. В условной взрослой группе суточная потребность 1 условного человека будет составлять в белках 114 г, жирах 113 г, углеводах 470 г и пищевой энергии 3 450 ккал (табл. 3.22). На данную группу условного населения приходится 70,3 % от общей численности населения страны. Остальные две группы с меньшими потребностями следует привести в условные единицы.

Таблица 3.22 – Средняя потребность населения в возрасте 10–59 лет в питательных веществах и энергии, в сутки

Численность, тыс. чел	Белки		Жиры		Углеводы		Энергия	
	г/чел	кг/ группу	г/чел	кг/ группу	г/чел	кг/ группу	ккал/чел	Мкал/ группу
6 651,55	114	757 970	113	754 145	470	3 128 597	3 450	22 945,6

Потребности в питательных веществах и энергии детского населения в возрасте 0–9 лет и населения пенсионного возраста 60 лет и старше значительно ниже. Так, суточное количество энергии необходимое для детей возраста 0–9 лет колеблется около 1 853 ккал/сутки, что составляет 0,5 единицы от потребности 1 условного человека, а лиц пенсионного возраста – соответственно 2 488 ккал или 0,7 единиц (табл. 3.23.).

Таблица 3.23 – Потребности в энергии детского населения (0–9 лет) и пенсионного возраста (60 лет и старше), в сутки

Группа населения, лет	Численность, тыс. чел.	Потребность в энергии	
		ккал/чел	Мкал/группу
0–9	978,63	1 853	1 813,1
60 лет и старше	1 834,99	2 488	4 565,2

Использование данного подхода, основанного на переводе населения в условное, позволяет уменьшить количество возрастных групп, ускорить и упростить расчёты, без ущерба точности расчётов. В результате перевода населения в условное (количество условного населения 8 425,6 тыс. человек) и умножения на потребности 1 условного человека (в белках 114 г/сутки, жирах – 113 г, углеводах 470 г и энергии 3 450 ккал), получаются практически одинаковые показатели республиканских потребностей, что и в первом варианте (табл. 3.24.).

Таблица 3.24 – Количество условного населения в Республике Беларусь

Население в возрасте, лет	Численность, тыс. чел.	Коэффициент перевода	Численность условного населения, тыс. чел
10–59	6 651,53	1	6 651,55
0–9	978,63	0,5	489,32
60 и старше	1 834,99	0,7	1 284,49
Итого	9 465,15		8 425,36

Например, количество необходимого белка требуется 961 т/сутки (по предыдущему расчёту 975 т/сутки), соответственно жира – 952 т/сутки и 952 т/сутки, углеводов – 3 960 т/сутки и 4 019 т и энергии – 29 067,5 Мккал/сутки и 29 324,2 Мккал/сутки. Соотношение в пищевом рационе энергии белка, жира и углеводов имеют вид как 1:2,2:4,1, то есть такой же, что был установлен в первом случае расчёта.

Из этого можно сделать вывод, что оба варианта расчётов имеют право на существование.

### 3.3.5. Оценка фактического потребления продуктов и энергии

Для оценки фактического потребления энергии населением Беларуси воспользуемся материалами Статистического ежегодника Республики Беларусь. Они позволяют, во-первых, получить данные о производстве основных видов продуктов сельского хозяйства в республике за ряд последних лет, во-вторых являются базой для определения калорийности производимых продуктов на душу населения.

Как следует из показателей таблицы 3.25. ежегодное производство продуктов на душу населения в Беларуси составляет около 2 755 кг, из которых наибольшее количество приходится на зерно, картофель и молоко.

Таблица 3.25 – Производство основных видов продуктов сельского хозяйства и их калорийность на душу населения в Беларуси

Продукт	Количество, кг	Удельная калорийность 100 г продукта, ккал	Общая калорийность, ккал
Зерно	884	250	2 210 000
Картофель	815	67	546 050
Овощи	209	25	52 250
Плоды и ягоды	32	42	13 440
Мясо	108	261	281 880
Молоко	687	58	398 460
Яйца	19,8	157	31 086
Итого	2 754,8		3 533 166

Общая калорийность производимых продуктов на душу населения более чем в 3,1 раза превышает годовую потребность. По удельному весу, в калорийности продуктов, первое место занимает зерно, второе место – картофель и третье место – молоко. Производство плодов и ягод в общей калорийности производимых основных продуктах имеет

самый низкий и незначительный удельный вес. Распределив продукты по их происхождению можно обнаружить, что среди них на долю продуктов растительного происхождения приходится около 79,9 % и животного происхождения – 20,1 %. Калорийность производимых на душу населения продуктов растительного происхождения приблизительно в 4 раза выше, чем продуктов животного происхождения.

Общая калорийность производимых в республике основных видов продуктов для всего населения достигает 33,4 Тккал/год, из которых на продукты растительного происхождения приходится 26,7 Тккал и животного происхождения – 6,7 Тккал.

Наряду с производством продуктов важнейшим показателем благополучия населения является потребление продуктов (табл. 3.26.). По данным Статистического ежегодника, потребление основных продуктов в натуральном выражении на душу населения составляет 1 206 кг, или 46,8 % от производимого количества. Первое место по потреблению занимает молоко, затем идут картофель и хлебные продукты.

Таблица 3.26 – Потребление основных продуктов питания в Беларуси и их калорийность на душу населения в год

Продукт	Количество, кг	Удельная калорийность 100 г продукта, ккал	Валовая калорийность, ккал
Мясо	88	261	229 680
Молоко	252	58	146 160
Яйца	15,5	157	24 335
Рыба	12,6	54	6 804
Сахар	47	398	187 060
Растительное масло	18,4	899	165 416
Картофель	183	67	122 610
Овощи и бахчевые	14,4	25	36 000
Плоды и ягоды	58	42	24 360
Хлебные продукты	93	270	251 100
Итого	1 206		1 193 525

Общая калорийность потребляемых продуктов на душу населения в количестве 1 193 525 ккал/год практически соответствует установленной потребности (1 131 500 ккал/год). По удельному весу калорийности продуктов первое место занимают хлебные продукты, второе место – мясо, и третье место – сахар. На потребление рыбы, плодов и ягод в общей калорийности рациона приходятся самые низкие показатели удельного веса. Обращает на себя внимание высокое потребление сахара и растительного масла, на долю которых приходится 352,4 тыс. ккал или 29,5 % от общей калорийности потребляемых продуктов.

По происхождению продукты распределяются следующим образом. Продукты растительного происхождения достигают удельного веса в 66 %, животного – 34 %, то есть потребление растительных продуктов практически в два раза выше, чем животных продуктов.

Пересчёт калорийности потребляемых основных видов продуктов на всё население республики позволяет установить, что их калорийность составляет 11,3 Тккал/год, из которых на продукты растительного происхождения приходится 7,5 Тккал и животного происхождения – 3,8 Тккал.

Установленные показатели калорийности производимых и потребляемых продуктов на душу населения основаны на данных официальной статистики Республики Беларусь. Для сравнения приведём набор продуктов и состав рациона, установленный на основе научных наблюдений отечественных учёных.

После Чернобыльской катастрофы сотрудники РНИУП «Институт радиологии» МЧС Беларуси, занимаясь проблемой реабилитации загрязненной территории, проводили работу по определению внутреннего облучения жителей загрязненных районов. С этой целью они довольно подробно изучали рационы питания жителей, количество потребляемых продуктов и удельное содержание в продуктах радионуклидов. Рацион питания являлся источником информации о дозах внутреннего облучения населения. Воспользуемся данными опубликованного рациона и определим его калорийность (Ю. М. Жученко и др., 2004). Как видно из показателей таблицы 3.27 рацион питания довольно подробный, включает 28 наименований продуктов. Годовое потребление продуктов в натуральном выражении составляет 884,6 кг, из которых первое по количеству месте занимает молоко, второе – картофель и третье – хлеб.

Таблица 3.27 – Калорийность продуктов питания и рациона сельских жителей Гомельской области

Продукт	Годовое потребление, кг	Удельная калорийность 100 г продукта	Валовая калорийность, ккал
1	2	3	4
Молоко	260	58	150 800
Творог	6	141	8 460
Говядина	10	187	18 700
Свинина	31	355	110 050
Сало свиное	18,5	507	93 795
Яйца	13,5	157	21 195
Птица	11	283	31 130

Окончание таблицы 3.27

1	2	3	4
Рыба	5	54	2 700
Мёд	0,2	308	616
Хлеб	130	214	278 200
Картофель	235	67	157 450
Свекла	6	35	2 100
Капуста	30	22	6 600
Томаты	13	15	1 950
Огурцы	12	12	1 440
Щавель	2	26	520
Фасоль	1,5	298	4 470
Сухофрукты	1,5	230	3 450
Морковь	6	29	1 740
Лук	6	41	2 460
Чеснок	2,5	45	1 125
Укроп	0,5	15	75
Клубника	9	32	2 880
Крыжовник	5	46	2 300
Смородина	10	43	4 300
Яблоки	15	42	6 300
Грибы свежие	4	17	680
Грибы сушеные	0,4	249	996
Рацион	884,6		915 486

Общая калорийность рациона на 216 014 ккал ниже нормы, установленной потребности (1 131 500 ккал). Однако, следует учесть, что в рационе отсутствуют данные по сахару и растительному маслу. Если к данному рациону добавить калорийность потребляемых сахара и растительного масла (по официальной статистике), то и данный рацион соответствует нормативному показателю.

В калорийности рациона питания сельских жителей первое место занимают хлебные продукты (30,4 %), второе место – свинина с салом (22,3 %) и третье место – картофель (17,2 %). На долю перечисленных продуктов приходится около 70 %. Калорийность животных продуктов в рационе сельских жителей составляет 48 %, растительных – 52 %. В группе животных продуктов на свинину с салом приходится 46,6 %, молоко – 34,5 % от общей калорийности продуктов животного происхождения. В группе растительных продуктов калорийность хлеба составляет 58,2 %, картофеля – 32,9 %.

Полученные данные по рационам питания сравним с показателями потребления продуктов питания на душу населения в период СССР. Например, по данным ЦСУ СССР, в 1983 году, на душу населения

в Советском Союзе потреблялось больше, чем в настоящее время в Беларуси, молока, рыбы, овощей, плодов и ягод, хлебопродуктов (табл. 3.28.).

Таблица 3.28 – Потребление продуктов питания в СССР (на душу населения в год, кг)

Продукты	1960	1970	1975	1980	1983
Мясо и мясопродукты в пересчёте на мясо	40	48	57	58	58
Молоко и молочные продукты в пересчёте на молоко	240	307	316	314	309
Яйца, (шт.)	118	159	216	239	253
Рыба и рыбопродукты	9,9	15,4	16,8	17,6	17,6
Сахар	28	38,8	40,9	44,4	44,2
Растительное масло	5,3	6,8	7,6	8,8	9,6
Картофель	143	130	120	109	110
Овощи и бахчёвые	70	82	89	97	101
Фрукты и ягоды	22	35	39	38	44
Хлебные продукты	164	149	141	138	136

### 3.4. Энергия в агроэкосистеме

Агроэкосистема (агробиоценоз, агроценоз) – это искусственно созданная человеком экосистема для производства сельскохозяйственной продукции. В сравнении с естественными экосистемами агроэкосистемы отличаются малым количеством живых организмов, кроме солнечной, получают дополнительную энергию за счёт деятельности человека, имеют высокую биологическую продуктивность. Например, по данным Р. Х. Уиттекера (1980) чистая первичная продукция естественных биоценозов лесов умеренных широт колеблется от 600 до 2500 г/м<sup>2</sup> в год, а возделываемых земель – до 4 000 г/м<sup>2</sup>.

В настоящее время агроэкосистемы возделываемых земель (14,0 млн. км<sup>2</sup>) и травяные формации лугов и пастбищ умеренного пояса (9,0 млн. км<sup>2</sup>) занимают 15,4 % от материковых экосистем суши и 17,8 % от земельных ресурсов мира. Известно, что человеком в настоящее время используется около 20 тысяч разных видов растений, но разводятся и культивируются лишь около 2,5 тысяч. Разводимые растения или культурные растения состоят из зерновых, жиромасличных, плодово-ягодных, овощных, кормовых, крахмало- и сахароносных, эфиромасличных, прядильных и др. Однако, основными культурами являются зерновые – пшеница, рожь, ячмень, овёс, рис, кукуруза и др.

С целью получения в агроценозах максимальных урожаев человек целенаправленно сокращает энергетические цепи, путём регулирования

количественного и качественного состава компонентов, увеличивая долю пищевой продукции, защищает растения от вредителей и сорняков. Для сохранения и увеличения продуктивности агроценозов всё в больших количествах вносятся удобрения, пестициды, которые кроме положительного эффекта имеют ряд отрицательных, понижающих устойчивость агроценозов. Например, из вспаханной почвы легко вымываются элементы питания растений и пестициды за пределы угодий. Поэтому для снижения отрицательных последствий хозяйственной деятельности на агроценозы требуется применение природоохранной агротехники, приближающей агроэкосистемы к естественным экосистемам.

Образ жизни человека во многом зависит от источника и качества доступной энергии в экологических системах на территории проживания. Энергия является общим знаменателем всех экосистем, поэтому Ю. Одум (1986) взял её в качестве основы для энергетической классификации экосистем. Энергетическая классификация хотя и отличается от биомной, но дополняет её. По энергетической классификации выделяют четыре типа экосистем:

- 1) природные, движимые солнцем, несубсидируемые;
- 2) природные, движимые солнцем, субсидируемые другими естественными источниками;
- 3) движимые солнцем и субсидируемые человеком;
- 4) индустриально-городские, движимые ископаемым топливом.

Агроэкосистемы Ю. Одум отнёс к третьему типу, к субсидируемым человеком и получающим энергию от солнца. В данной экосистеме высокий выход пищи поддерживается путём дотации энергии топлива, в личных подсобных хозяйствах путём мышечной работы человека и животных. Топливная или дотационная энергия расходуется на выполнение технологических процессов, связанных с возделыванием культур, внесением удобрений, защитой от вредителей и т. д. Как и лучистую энергию солнца, поступающую в агроэкосистемы, так и дополнительную энергию, вносимую человеком, также измеряют в калориях.

Какое же место занимают агроценозы в Республике Беларусь? По данным Национального статистического комитета республики общая площадь сельскохозяйственных земель в Беларуси по состоянию на 1.01.2012 года составляла 8 874 тыс. га или 42,7 % от общей площади землепользования. Данный показатель в мировых и национальных экономических анализах называется сельскохозяйственной освоенностью территории. В качестве сравнения отметим, что доля сельскохозяйственных угодий в США составляет 53 % всей площади страны, Франции – 63 %, России – 13 %. Обеспеченность населения республики данной категорией земель равна 0,94 га на 1 человека.

Сельскохозяйственные угодья различаются по природным характеристикам и назначению. К основной категории сельскохозяйственных угодий и самой ценной относится пашня или пахотные угодья. На начало 1990-х годов в мире было распаханно и обрабатывалось около 11 % земельного фонда, доля пашни в общей площади мировых сельскохозяйственных угодий составляла 30–32 %. Отношение пашни к общей площади или распаханность территории в мире по отдельным странам сильно колеблется. Например, в Молдове данный показатель равен 66 %, Дании – 56 %, Франции – 35 %, США – 21 %, России – 8 % (О. С. Шимова, Н. К. Соколовский, 2010).

Пахотные земли в Беларуси занимают площадь в 5506,4 тыс га. Распаханность территории достигает 26,5 % (табл. 3.29.). Обеспеченность пашней в расчёте на одного жителя республики составляет 0,58 га, что в 2,7 раза превышает среднемировой показатель (1,5 млрд га пашни в мире и 7 млрд населения).

Таблица 3.29 – Наличие сельскохозяйственных угодий по категориям землепользователей в Республике Беларусь

Общая площадь сельскохозяйственных земель, тыс. га	Пользователи земель				
	сельскохозяйственные организации	крестьянские, фермерские хозяйства	в пользовании граждан	из них	
				личные подсобные хозяйства	сады, дачи
Сельскохозяйственные земли					
8 874	7 667,1	127,5	902,4	686,3	53,1
Из них: пахотные земли					
5 506,4	4 702,8	93,4	666,5	625,5	31,8
Луговые земли					
3 223,7	2 920,2	31,1	163,6	10,1	0,1

К другой не менее важной категории сельскохозяйственных угодий относятся луговые земли или сенокосы и пастбища, используемые для сенокосения и выпаса животных. По данным Национального статистического комитета в составе сельскохозяйственных угодий под луговыми землями насчитывается 3 223,7 тыс. га или 36,3 %.

Динамика сельскохозяйственных угодий в Беларуси соответствует общемировой тенденции и направлена в сторону их сокращения. Происходит отчуждение земель под строительство автодорог, промышленное, жилищное строительство и т. д.

Существенным показателем интенсивного использования сельскохозяйственных угодий является структура посевных площадей, по которой можно судить о задачах, решаемых в области растениеводства

(табл. 3.30.). Например, в Беларуси, в 2011 году, посевные площади увеличились на 937 тыс. га в сравнении с их фактическими площадями в период 2006–2009 годов.

Увеличение произошло на 207 тыс. га за счёт зерновых и зернобобовых, на 66 тыс. га – технических, на 294,2 тыс. га – картофеля и на 292 тыс. га кормовых культур. Наблюдается расширение площадей сенокосов и пастбищ. Следовательно, структура сельскохозяйственных угодий не является застывшей, она претерпевает изменения и соотносится с требованиями времени и развитием агропромышленного производства.

Тем не менее, структура посевных площадей показывает, что основными культурами в Беларуси являются зерновые и зернобобовые, на долю которых приходится 46,2 % посевных площадей. Среди них ячмень занимает 36,2 %, пшеница 25 %, а вот площади, отводимые под рожь, сокращаются. Так, если в 2006–2009 годах посевная площадь ржи достигала 507,4 тыс. га, то уже в 2011 году она уменьшилась до 336 тыс. га или на 33,8 %. Наблюдается увеличение посевных площадей рапса в группе технических культур, из пропашных культур – картофеля, а также овощей.

Таблица 3.30 – Фактическая структура посевных площадей сельскохозяйственных организации Беларуси в 2011 году

Показатели	Структура посевных площадей	
	тыс. га	%
Вся посевная площадь	5 779	100
Зерновые и зернобобовые	2 672	46,2
в т. ч. рожь	336	12,6
пшеница	669	25,0
тритикале	423	15,8
ячмень	701	26,2
овёс	166	6,2
кукуруза на зерно	186	7,0
гречиха	42	1,6
зернобобовые	121	4,5
прочие зерновые	28	1,1
Технические, всего	500	8,7
в т. ч. лён	68	13,6
сахарная свекла	101	20,2
рапс	101	63,6
Картофель	345	6,0
Овощи	73	1,3
Кормовые культуры	2 189	37,8
в т. ч. кукуруза (зеленая масса)	795	36,3
корнеплодные	39	1,8
Сенокосы и пастбища	3 095	

Рассматривая структуру посевных площадей можно отметить, что в Беларуси основной группой культур являются зерновые и зернобобовые на долю которых приходится более 46 % площадей. На втором месте расположились кормовые культуры с удельным весом 38 %. Остальные культуры, а это технические, картофель и овощи занимают около 16 % посевных площадей. Из анализа структуры посевных площадей вытекает, что к основным задачам, решаемым растениеводством республики, относится производство зерна, кормов, картофеля, сахарной свеклы, льна и овощей.

Производимая в агросекторе продукция разнородна по своему составу, питательной ценности и другим характеристикам. Поэтому для её учёта, оценки продуктивности общепринято выражать в весовых единицах с площади угодий, в валовых объемах. Пищевую энергетическую ценность растениеводческой продукции выражают в калориях, кормовую питательность для животноводства – в кормовых единицах.

Энергетическую ценность кормов оценивают по количеству в них обменной энергии. Под обменной энергией понимается та энергия, которая поступает из желудочно-кишечного тракта в организм животных и используется в метаболизме организма.

Уровень поступления энергии в организм определяется количеством потребляемой пищи и концентрацией в ней энергии. Часть потребляемой с пищей энергии выделяется в форме непереваримых питательных веществ с калом, газами, образующимися в процессе брожения в желудочно-кишечном тракте, а также в форме органических соединений мочи. Количество энергии, оставшейся за вычетом из валовой энергии пищи энергии потерь с калом, мочой и газами, называется обменной энергией.

Количество валовой энергии, содержащейся в пище, корме или другом биологическом объекте, определяют путём перевода её в тепловую энергию, которую устанавливают по количеству тепла, образуемого при сжигании единицы массы навески. Количество образовавшегося тепла, отнесенного к единице навески, называют валовой энергией, или теплотой сгорания. Валовую энергию определяют с помощью калориметрической бомбы. Большинство обычных кормов для животных содержат приблизительно 4 418 ккал (18,5 МДж) валовой энергии в 1 кг сухого вещества.

Валовая энергия может использоваться для оценки энергетической продуктивности экосистем, но она не может служить показателем истинной ценности пищи, поскольку значительная часть питательных веществ, а с ними и энергии, не всасывается в пищеварительном тракте и выделяется с калом, теряя при этом часть валовой энергии.

В животноводстве переваримость кормов устанавливают в специальных опытах путём скармливания их животным. При этом переваримость питательных веществ и энергии определяют по формуле:

$$(\text{Потреблено с кормом} - \text{Выделено с калом}) \times 100 / \text{Потреблено с кормом}, \%$$

Во время проведения опытов проводят химический анализ кормов и учитывают количество съеденного корма, выделенных кала и мочи и исчисляют следующие показатели:

- 1) задано с кормом минус содержащее в остатках равно потреблено;
- 2) потреблено минус выделено с калом равно переварено.

После сжигания образцов корма, несъеденных остатков и кала в калориметрической бомбе, по разности энергии съеденного корма и выделенного кала определяют переваримую энергию. В качестве примера приведём показатели переваримости питательных веществ в опытах на бычках, в возрасте от 7 до 16 месяцев, полученные нами в физиологических опытах (табл. 3.31.).

Таблица 3.31 – Переваримость питательных веществ у бычков, %

Показатели	Коэффициенты переваримости
Сухое вещество	60,3–73,2
Органическое вещество	61,9–75,2
Сырой протеин	60,7–71,3
Сырой жир	62,2–70,5
Сырая клетчатка	47,7–68,0
Безазотистые экстрактивные вещества	67,3–81,7

Как и следует ожидать, самые низкие показатели переваримости имеет сырая клетчатка и самые высокие – группа углеводов. Одновременно в этих опытах определяют количественные показатели использования животными азота, фосфора, кальция и многих других, представляющих для исследователей интерес, питательных веществ и элементов. Затем, например, по среднесуточному балансу и использованию азота животными рассчитывается белковый обмен (табл. 3.32.). При положительном балансе в организме животных происходит накопление питательных веществ и элементов и, наоборот, при отрицательном балансе – расходование преобладает.

Как уже отмечалось, обменная энергия, или остаток валовой энергии корма за вычетом энергии кала, газов и мочи, в организме расходуется на поддержание жизненных систем и на синтез белка и жира.

Таблица 3.32 – Среднесуточный баланс и использование азота бычками

Показатели	Количество, г
Принято с кормом	136,7
Выделено:	
с калом	47,3
с мочой	63,9
Всего выделено	111,2
Переварено	89,4
Баланс ±	25,4
Усвоено, %	
от принятого	18,6
от переваренного	28,5

Энергия на поддержание жизни – это количество энергии, которое обеспечивает поддержание физиологических функций без изменения энергетического статуса организма. Количество поддерживающей энергии равно сумме выделяемой энергии с калом, газами, мочой и теплом. Поддерживающая энергия необходима для нормального протекания физиологических процессов на клеточном уровне, внутренней работы органов, поддержания температуры тела, выполнения двигательных процессов связанных с потреблением пищи.

Энергия, потребляемая сверх энергии на поддержание жизни, используется для синтеза питательных веществ тела и выделяемых из организма (молоко), выполнения работы. Примерная схема распределения и использования энергии корма показана в таблице 3.33.

Таблица 3.33 – Схема распределения и использования суточной энергии одним животным (по Л. Гоффманн, Р. Шимманн, 1978)

Масса тела, кг	Прирост массы, г	Валовая энергия	Энергия кала	Энергия метана	Энергия мочи	Обменная энергия	Теплота за счёт поддерживающего обмена	Теплота за счёт процессов синтеза	Отложение энергии
Овцы, ккал									
10	150	1 340	134	140	36	1 155	561	224	370
30	300	4 463	1 115	289	134	2 925	1280	731	915
50	200	4 683	1 170	330	141	3 042	1882	511	650
Бычки, ккал									
100	1 000	7 443	740	69	191	6 443	3 482	1 270	1 691
300	1 220	21 392	5 383	1 390	640	13 979	7 985	2 722	3 272
500	900	32 257	8 064	2 261	970	20 962	11 637	4 043	5 282

Из полученных показателей видно, что у овец обменная энергия корма составляет от 65 до 86,2 % от валовой, у бычков – от 65 до 86,5 %. Более высокие показатели обменной энергии наблюдаются у животных молодого возраста. Это происходит ввиду того, что молодняк усваивает питательные вещества и энергию корма лучше, чем животные старшего взрослого возраста. Вместе с тем, у овец живой массой 30 и 50 кг и у бычков живой массой 300 и 500 кг количество обменной энергии колеблется около 65 % от валовой энергии корма. На этом основании можно допустить, что у животных питающихся растительной пищей количество обменной энергии в корме составляет примерно 65 % от валовой энергии. Поэтому данный показатель предлагается использовать в качестве основного при расчётах валовой энергии кормов и рационов. Наконец, добавим, что обменная энергия расходуется на поддержание энергетического статуса организма у овец в количестве 67,7–78,6 %, у бычков – 73,8–76,6 % и на отложение энергии соответственно 21,4–32 % и 23,4–26,2 %.

Для оценки энергетической питательности кормов, в СССР, в 1922–1923 годах, под руководством профессора Е. А. Богданова, была разработана овсяная кормовая единица и официально введена к использованию в 1933 году. В качестве кормовой единицы приняли питательность 1 кг стандартного зерна овса, эквивалентной 1 414 ккал энергии жираотложения или отложению 150 г жира в теле вола на откорме. Недостатком овсяной кормовой единицы являлась её односторонность, так как она характеризовала преимущественно жираотложение и не отражала процессы образования молока, шерсти, беременности и др. Поэтому, в 1963 году, на смену овсяной кормовой единице, Пленум отделения животноводства ВАСХНИЛ утвердил энергетическую кормовую единицу (ЭКЕ), разработанную коллективом ученых во главе с И. С. Поповым. Выбор энергетической единицы был связан с необходимостью приближения её использования к практике и удобству использования овсяной кормовой единицы. По утверждению И. С. Попова (1966) обменная энергия – это энергия всосавшихся в пищеварительном тракте питательных веществ, равная калорийности корма минус калорийность кала и кишечных газов. Часть обменной энергии может теряться в недоокисленных конечных продуктах обмена, выделяемых в моче; остальная обменная энергия расходуется на выполнение механической работы, отложение жира и белка, являющиеся потенциальными источниками энергии. Количество обменной энергии служит показателем суммарного действия корма. За энергетическую кормовую единицу приняли 2 500 ккал обменной энергии (Г. А. Богданов, 1981).

Обменная энергия и по настоящее время является научно обоснованным критерием энергетической оценки кормов и установления энергетических потребностей животных. Энергетическую питательность кормов в обменной энергии определяют по переваримой энергии корма или рациона. Для этого И. С. Попов (1966) предложил использовать 1 г суммы переваримых питательных веществ корма или рациона для жвачных и свиней в качестве эквивалента 4,4 ккал (18,4 кДж) обменной энергии.

В Беларуси не прямое определение обменной энергии в кормах и рационах проводится с помощью уравнений (А. П. Шпаков и др., 1991):

Для крупного рогатого скота –  $ОЭ = 17,46 \text{ ПП} + 31,23 \text{ ПЖ} + 13,65 \text{ ПК} + 14,78 \text{ ПБЭВ}$ ;

Для овец –  $ОЭ = 17,71 \text{ ПП} + 37,89 \text{ ПЖ} + 13,44 \text{ ПК} + 14,78 \text{ ПБЭВ}$ ;

Для свиней –  $ОЭ = 20,85 \text{ ПП} + 36,63 \text{ ПЖ} + 14,27 \text{ ПК} + 16,96 \text{ ПБЭВ}$ ,

где  $ОЭ$  – обменная энергия;

$ПП$  – переваримый протеин, г;

$ПЖ$  – переваримый жир, г;

$ПК$  – переваримая клетчатка, г;

$ПБЭВ$  – переваримые безазотистые экстрактивные вещества, г.

Расчёт содержания обменной энергии в отдельных видах кормов можно выполнить на основании содержания в нем только некоторых питательных веществ, что даёт возможность не проводить химические анализы на другие питательные вещества. Например, содержание обменной энергии в кормах для КРС определяют по формулам:

В сене:  $ОЭ = 13,1 (1,0 - 1,05 \text{ СК})$ ;

В кукурузном силосе:  $ОЭ = 0,07 + 0,099 \text{ СВ}$ ;

В сенаже:  $ОЭ = 5,59 + 25,02 / \text{СК} + 0,202 \text{ СП}$ ;

В пастбищном корме:  $ОЭ = 15,0 - 0,18 \text{ СК}$ ,

где  $ОЭ$  – обменная энергия, МДж/кг;

$СК$  – содержание сырой клетчатки в сухом веществе, %;

$СВ$  – массовая доля сухого вещества, %; массовая доля сырого протеина в сухом веществе, %.

Для определения биологической ценности корма применяются биологические методы с использованием животных организмов. Животные дают более объективное представление о питательности исследуемого корма.

Наиболее распространенным во всем мире являются росто-массовые методы, основанные на учёте прибавки массы тела на единицу потребленного корма или белка за определенное время. К росто-массовым

показателям относятся коэффициент эффективности корма (КЭК), представляющий собой отношение прибавки массы тела животных (г) к количеству потребленного за определенное время корма и коэффициент эффективности белка (КЭБ), выражающий отношение прибавки массы тела (г) к количеству потребленного белка. КЭБ является основным международным показателем биологической ценности белковых продуктов.

В производственной практике специалистами животноводства энергетическая ценность кормов и рационов определяется с помощью справочных пособий. Данные пособий, с появлением новых научных данных и показателей химического анализа кормовых средств, постоянно уточняются. Справочники периодически издаются в республике, так как они необходимы в организации сбалансированного кормления сельскохозяйственных животных и птицы. Насколько они важны в практической работе, можно сделать вывод после анализа показателей таблицы 3.34.

Таблица 3.34 – Содержание энергетических кормовых единиц и обменной энергии в некоторых кормах для жвачных и свиней (по данным А. П. Шпакова и др., 1991)

Корм	К.е. в 1 кг натурального корма	Вид животных	Обменной энергии в 1 кг натурального корма, ккал	Обменной энергии в 1 к.е., ккал
1	2	3	4	5
Трава лугов и пастбищ бобово-разнотравно-злаковое	0,20	КРС свиньи	597 -	2 985 -
Трава культурных пастбищ (в среднем)	0,17	КРС свиньи	392 -	2 304 -
Трава тимopheевки	0,18	КРС свиньи	506 513	2 813 2 852
Трава вики	0,15	КРС свиньи	346 425	2 308 2 833
Трава кукурузы посевной	0,17	КРС свиньи	344 394	2 022 2 318
Трава клевера красного	0,21	КРС свиньи	563 614	2 683 2 922
Трава люцерны	0,21	КРС свиньи	613 802	2 920 3 820
Вика-овес	0,14	КРС свиньи	360 372	2 575 2 661
Сено естественных угодий	0,54	КРС свиньи	1 647 -	3 051 -
Сено посевное	0,41	КРС свиньи	1 380 -	3 366 -

Окончание таблицы 3.34

1	2	3	4	5
Сено посевное смешанное искусственного луга	0,38	КРС свиньи	1 416 -	3 726 -
Солома овсяная	0,28	КРС свиньи	1 239 -	4 426 -
Силос кукурузный	0,17	КРС свиньи	368 353	2 163 2 078
Картофель сырой	0,29	КРС свиньи	661 788	2 280 2 717
Свекла сахарная	0,24	КРС свиньи	675 764	2 815 3 184
Овес зерно	0,98	КРС свиньи	2 288 2 968	2 334 3 028
Пшеница зерно	1,16	КРС свиньи	2 677 3 085	2 308 2 659
Рожь зерно	1,18	КРС свиньи	2 715 2 796	2 301 2 369
Кукуруза зерно	1,28	КРС свиньи	2 815 3 116	2 199 2 434
Вика зерно	1,18	КРС свиньи	2 748 3 080	2 321 2 610
Рапс зерно	1,70	КРС свиньи	4 202 4 917	2 472 2 892

А они свидетельствуют о том, что содержание обменной энергии в одном и том же корме для разных видов животных различается. Например, из 1 к.е. кукурузного силоса крупный рогатый скот усваивает 2 163 ккал обменной энергии, свиньи на 85 ккал меньше и, наоборот, из 1 к.е. картофеля крупный рогатый скот может получить 2 280 ккал, свиньи – на 437 ккал больше. Разница обуславливается отличиями в строении пищеварительных систем животных, следовательно, в усвоении питательных веществ и энергии. Поэтому точное определение, знание и правильное использование показателей обменной энергии в кормах имеет большое значение в организации кормления животных. В экологических же исследованиях, когда требуется оценить, например, продуктивность экосистемы, такое детальное знание обменной энергии в отдельных видах и культурах растений не имеет столь существенного значения.

В Беларуси за энергетическую кормовую единицу приняты 10 МДж обменной энергии (2388 ккал), поэтому в своих дальнейших расчетах будем пользоваться данными показателями (А. П. Шпаков и др., 1991).

Таким образом, энергетическую питательность растений в обменной энергии можно считать одним из показателей перехода энергии с автотрофного уровня на следующий, более высокий, гетеротрофный уровень.

### 3.4.1. Производство энергии в растениеводческом секторе Беларуси

Для оценки производства энергии в растениеводческом секторе страны воспользуемся энергетическими кормовыми единицами и с их помощью определим объемы производства обменной и валовой энергии в растениеводческой продукции. Так как данные по содержанию валовой энергии в продукции растениеводства в систематизированном виде в литературе отсутствуют, воспользуемся имеющимися данными по обменной энергии и проведем вначале её расчёты.

По данным Национального статистического комитета, например, в 2011 году, валовой сбор растениеводческой продукции в натуральном выражении составил 100 518 тыс. т или 30 704 тыс. т кормовых единиц без учёта льноволокна (табл. 3.35.).

Средняя урожайность с 1 га сельскохозяйственных угодий составила 113,3 цн или 34,6 цн. кормовых единиц. Для сравнения, в период 2005–2009 годов фактическая продуктивность 1 га сельскохозяйственных угодий в республике находилась на уровне 33,6 цн кормовых единиц, то есть на 1,0 цн была ниже, чем в 2011 году. В 2011 году структура растениеводческой продукции, выраженная в кормовых энергетических единицах, была следующей: кормовые культуры – 55 %, зерновые и зернобобовые – 30 %, картофель и овощи – 9,2 % и технические культуры – 5,8 %.

Выход чистой первичной продукции зерновых и зернобобовых с единицы площади составил 1 721 г/м<sup>2</sup> (321 г/м<sup>2</sup> зерно + 1 400 г/м<sup>2</sup> солома), сахарной свеклы – 4 530 г/м<sup>2</sup>, картофеля – 2 260 г/м<sup>2</sup>, сенокосов и пастбищ – 1 000 г/м<sup>2</sup>. В целом по всей площади сельскохозяйственных угодий с 1 м<sup>2</sup> было получено по 1 133 г чистой первичной продукции.

Таблица 3.35 – Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Беларуси в 2011 году

Культуры	Валовой сбор		Урожайность		Обменной энергии с 1 м <sup>2</sup> площади, ккал
	тыс. т	тыс.т. к.е.	цн/га	э.к.е./га	
1	2	3	4	5	6
Зерновые и зернобобовые	8 375	9 212	32,1	3531	826
Технические культуры:					
зерно/льноволокно	41/46	69/-	6/7,5	1 020/-	238/-
сахарная свекла	4 485	1 076	453	10 872	2 542
рапс	379	644	12,8	2 176	509
Картофель	7 721	2 548	226	7 458	1 744

Окончание таблицы 3.35

1	2	3	4	5	6
Овощи	1 979	277	273	3 822	894
Кормовые культуры:					
кукуруза	25 232	6 308	320	8 000	1 870
корнеплоды	1 328	186	361	5 054	1 182
травы	16 260	3 252	120	2 400	561
Солома	3 768	942	140	3 500	818
Сенокосы и пастбища	30 950	6 190	100	2 000	468
Итого	100 518	30 704	113,3	34,6	

С учётом, что в Беларуси за 1 ЭКЕ принято 10 МДж (2 388 ккал) определили выход обменной энергии с 1 га сельскохозяйственных угодий. Оказалось, что если в период 2005–2009 годов с 1 га сельскохозяйственных угодий было получено по 8,0 Мккал (800 ккал с 1 м<sup>2</sup>) обменной энергии, то в 2011 году – по 8,26 Мккал (826 ккал с 1 м<sup>2</sup>). За период 2010–2011 годов прирост обменной энергии на 1 м<sup>2</sup> площадей угодий составил 26 ккал или по 13 ккал за год.

При оценке растениеводческой продукции в кормовых единицах установлено, что в 1 кг натурального корма содержалось в среднем 0,3 кормовых единиц или на 1 кормовую единицу приходилось 3,3 кг натурального корма. Отсюда следует, что в 1 кг натуральной растениеводческой продукции концентрировалось приблизительно по 716 ккал обменной энергии. В дальнейших расчётах было показано, что в годовой растениеводческой продукцией аккумулировано около 73,3 Тккал обменной энергии. Из которых на долю кормовых культур приходилось 40,3 Тккал, зерновых и зернобобовых культур – 22,0 Тккал, картофеля и овощей – 6,7 Тккал и технических культур (без льноволокна) – 4,3 Тккал. Среди культур самый высокий выход обменной энергии с 1 м<sup>2</sup> посевных площадей наблюдался у сахарной свеклы, затем, по мере убывания, расположились зеленая масса кукурузы, картофель, зерновые (зерно + солома) и корнеплоды.

По данным Ю. Одума (1986) в биосфере ассимилируется в чистой первичной продукции без вмешательства человека в среднем 1 000 ккал/м<sup>2</sup> энергии в год (колебания от 0,1 до 4 % от лучистой солнечной энергии). Для условий Беларуси это составляет около 910 ккал/м<sup>2</sup> в год. В переводе данной ассимиляции на площадь сельскохозяйственных угодий республики в количестве 8 874 тыс га, это должно составлять около 80,8 Тккал в год.

Выше было показано, что обменная энергия является частью валовой энергии растений, и она составляет приблизительно 65 % в валовой.

Поэтому с учётом данного показателя количество валовой энергии, содержащейся во всей производимой в Беларуси растениеводческой продукции (без льноволокна), должно быть около 113 Тккал. В течение летнего производственного периода в аграрном секторе республики производят около 46 тыс. т льноволокна. При условии, что теплотворная способность 1 кг льноволокна равна теплотворной способности 1 кг сухих дров (3 900 ккал/кг), то к валовой энергии растениеводческой продукции необходимо добавить ещё 179,7 Гккал энергии 46 тыс. т льноволокна. В общем итоге, во всей производимой продукции из растений, следует ожидать около 113,2 Тккал валовой энергии.

Данный объем валовой энергии в растениеводческой продукции получен на площади сельскохозяйственных угодий в количестве 8 874 тыс. га. Меньшим площадям соответствует меньший выход валовой энергии. С площади сельскохозяйственных угодий в 1 га её выход составил 12,7 Мккал, с 1 м<sup>2</sup> – 1 276 ккал. Поскольку на территорию Беларуси поступает в год в среднем 91,0 тыс. ккал/м<sup>2</sup> солнечной энергии, следовательно, количество сконцентрированной валовой энергии в растениеводческой продукции составляет 1,4 % от количества солнечной.

Разница между фактической валовой или чистой первичной продукцией агроценозов и лучистой солнечной энергией, которую могут ассимилировать естественные агроценозы (без вмешательства человека), составляет 32,4 Тккал (113,2 – 80,8).

Можно использовать в расчётах другой подход. Если допустить, что выход обменной энергии с 1 м<sup>2</sup> сенокосов и пастбищ Беларуси, это то количество обменной энергии, которое могут ассимилировать наши агроценозы в естественных условиях без воздействия на них человека и перенести данную ассимиляцию на все площади агроценозов в количестве 8 874 тыс. га, то это должно достигать примерно 41,5 Тккал. С условием, что данная обменная энергия в валовой занимает около 65 %, следовательно, количество валовой энергии в производимой растениеводческой продукции может оцениваться примерно в 64 Тккал. При таком подходе разница между естественной ассимиляцией и фактическим содержанием энергии в валовой продукции растениеводства увеличивается до 49,2 Тккал (113,2 – 64,0).

Полученные разницы могут быть обусловлены энергетической субсидией или дотацией человека энергии в сельскохозяйственную деятельность.

### **3.4.2. Почвенно-экологические возможности производства чистой первичной продукции агроценозами республики**

Интенсификация использования агроценозов является основным направлением производства продукции растениеводства. Это особенно наглядно видно по постепенному наращиванию в республике объемов производимого зерна, сахарной свеклы, рапса и других культур. С ростом населения в мире и улучшением его благосостояния потребность в пище остаётся не только высокой, но и будет в перспективе только возрастать. В этой связи важным моментом требований к агроценозам Беларуси остается не только обеспечение собственного населения продуктами питания, но и наращивание производства экспортной продукции для получения валютной выручки, необходимой для импорта топливно-энергетических ресурсов. Известно, что Беларусь относится к числу стран, имеющих бедные топливно-энергетические ресурсы. Экономическое состояние страны во многом определяется и зависит от импорта источником энергии. Поэтому особое внимание уделяется развитию тех отраслей экономики, которые могут давать валютные поступления.

Заметная роль в данном вопросе отводится сельскому хозяйству. В стране проводится планомерная работа по переводу всех секторов агропроизводства на интенсивный путь развития и прежде всего земледелия. С учётом необходимости интенсификации земледелия П. И. Никончик (2010) из Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию, на основании почвенных обследований гранулометрического состава, агрохимических свойств, фактических посевных площадей, их структуры и урожайности, в период 2006–2009 годов, предложил за основу ведения растениеводства принять почвенно-экологические возможности страны. Почвенно-экологические возможности предполагают проводить планирование производственной деятельности на земле снизу, то есть с учётом плодородия каждого поля, хозяйства, района, области и, наконец, всей республики. При планировании сверху, когда показатели доводятся до исполнителей без учёта местных условий, интенсификация земледелия даёт сбои и экономически может себя не оправдывать.

На основании агроэкономических требований автор предлагает перспективную структуру посевных площадей для трёх уровней интенсификации земледелия (табл. 3.36.).

Таблица 3.36 – Перспективная структура посевных площадей сельскохозяйственных организаций Беларуси

Культура	Удельный вес, %
Вся посевная площадь	100
Зерновые и зернобобовые	53,5
в т.ч. колосовые	43,3
из них: озимая рожь	8,9
озимая пшеница	3,9
озимое тритикале	7,4
яровое тритикале	0,8
ячмень	10,4
овес	3,3
кукуруза на зерно	4,1
гречиха	0,7
просо	0,4
зернобобовые	7,2
Технические, всего	11,8
в т.ч. лён	1,5
сахарная свекла	2,0
рапс	8,3
Картофель	1,9
Овощи	0,4
Кормовые, всего	32,4
в т.ч. корнеплоды	0,4
кукуруза	9,3
однолетние травы	5,2
многолетние травы	17,5
промежуточные	10,3

Перспективная структура посевных площадей состоит из 53,5 % зерновых и зернобобовых, 11,8 % технических культур (лён, сахарная свекла, рапс), 1,9 % картофеля, 0,4 % овощей и 32,4 % кормовых культур для удовлетворения в кормах потребностей животноводства. Урожайность зерновых культур при первом уровне интенсификации принимается за 40 цн/га, при втором – 45 цн/га и при третьем – 50 цн/га, картофеля соответственно 220, 300 и 320 цн/га, льноволокна – 10, 12 и 15 цн/га, сахарной свеклы – 440, 500 и 550 цн/га, семян рапса – 25, 30 и 32 цн/га, кормовых корнеплодов – 450, 600 и 700 цн/га, зеленой массы многолетних трав на пашне – 250, 400 и 450 цн/га, однолетних трав – 200, 250 и 300 цн/га, промежуточных культур – 130, 160 и 180 цн/га, сенокосов и пастбищ – 150, 200 и 270 цн/га. По мнению автора, третий, самый высокий уровень интенсификации, составляет 80–85 % от урожайности научных учреждений, поэтому рекомендуется в качестве возможного.

При такой структуре посевных площадей и урожайности валовой сбор (без льноволокна) чистой первичной продукции растениеводства достигает 130 814 тыс. т при первом уровне интенсификации, 176 191 тыс. т при втором и 209 566 тыс. т при третьем (табл. 3.37.). Соответственно трём уровням интенсификации выход энергетических кормовых единиц приближается к 41 800 тыс. т, 52 117 тыс. т и 60 438 тыс. т. При этом количество чистой первичной продукции с 1 м<sup>2</sup> сельскохозяйственных угодий увеличивается до 1 475 г на первом уровне интенсификации, до 1 987 г на втором и до 2 363 г на третьем против 1 133 г в базовом году (2011 г.), а выход ЭКЕ обменной энергии соответственно, – до 0,48, 0,59 и 0,68 против 0,35 к.е. в базовом году.

Таблица 3.37 – Посевные площади и возможные валовые сборы сельскохозяйственных культур при трёх уровнях интенсификации земледелия

Культура, угодья	Посевная площадь, тыс. га	I уровень		II уровень		III уровень	
		Валовой сбор, тыс. т	ЭКЕ, тыс. т	Валовой сбор, тыс. т	ЭКЕ, тыс. т	Валовой сбор, тыс. т	ЭКЕ, тыс. т
Вся посевная площадь	5 779						
Зерновые и зернобобовые	3 092	12 368	13 605	13 914	15 305	15 460	17 006
Технические культуры	682						
в т.ч. лён семена/волокно	86	69/86	115/-	86/103	143/-	95/129	158/-
сахарная свекла	116	5 104	1 225	5 800	1 392	6 380	1 531
рапс	480	1 200	2 040	1 440	2 448	1 536	2 611
Картофель	110	2 420	798	3 300	1 089	3 520	1 162
Овощи	23	414	58	460	64	506	71
Кормовые культуры	1 872						
в т.ч. корнеплоды	23	1 035	145	1 380	193	1 610	225
кукуруза	537	17 184	4 296	24 165	6 041	24 702	6 175
однолетние травы	301	6 020	1 204	7 525	1 505	9 030	1 806
многолетние травы	1 011	25 275	5 055	40 440	8 088	45 495	9 099
Промежуточные	595	7 735	1 547	9 520	1 904	10 710	2 142
Солома		5 565	1 391	6 261	1 565	6 957	1 739
Сенокосы и пастбища	3 095	46 425	9 285	61 900	12 380	83 565	16 713
Итого	8 874		41 800		52 117		60 438

Содержание обменной энергии во всей продукции растениеводства на первом уровне интенсификации определяется в количестве 99,8 Тккал, на втором уровне – 124,5 Тккал и на третьем – 144,3 Тккал. В сравнении с базовым годом это больше на 26,5 Тккал

(136 %) при первом уровне интенсификации, при втором – на 51,2 Тккал (170 %) и при третьем – на 71,0 Тккал (197 %).

Ожидаемый выход валовой энергии в растениеводческой продукции должен составить на первом уровне интенсификации около 153,8 Тккал, на втором – 191,5 Тккал и на третьем – 222,5 Тккал с учётом валовой энергии льноволокна.

Ранее было показано, что в базовом году количество валовой энергии во всей продукции растениеводства определено в объеме 113,2 Тккал, которые были собраны по 1 276 ккал с 1 м<sup>2</sup> угодий. Следовательно, при интенсификации агропроизводства на третьем уровне возможно удвоение валовой первичной или чистой энергии в сравнении с базовым годом.

Если исходить из того, что растения в естественных условиях Беларуси, без дотации энергии, ассимилируют на 1 м<sup>2</sup> площади угодий около 910 ккал валовой энергии, то уже при дотации энергии на первом уровне интенсификации ассимиляция возрастает до 1 730 ккал, втором – до 2 162 ккал и третьем – до 2 507 ккал. В целом, с учётом всех площадей растениеводческого сектора, разница между естественной ассимиляцией и фактическим содержанием валовой энергии в годовой продукции при первом уровне интенсификации достигает 73,0 Тккал, при втором уровне – 110,7 Тккал и при третьем уровне – 141,7 Тккал.

Данная разница в валовой энергии эквивалентна 9,7 млрд. м<sup>3</sup> природного газа на первом уровне интенсификации, 13,8 млрд м<sup>3</sup> на втором уровне и 17,7 млрд. м<sup>3</sup> на третьем уровне. В пересчёте на условное топливо это составляет 10,9 Мт у.т. для первого уровня интенсификации, 15,8 Мт у.т. для второго уровня и 20,2 Мт у.т. для третьего.

Количество дополнительно необходимой энергии может быть обеспечено путём вливаний её в агросектор через производственную деятельность человека.

### **3.5. Энергетика лесной экологической системы**

#### **3.5.1. Характеристика лесного фонда Беларуси**

Среди природных богатств большую роль играют лесные биогеоценозы, представляющие собой источник многих видов продуктов. Их рациональное использование позволяет повысить эффективность лесного хозяйства и получать дополнительные средства для его устойчивого развития.

Леса образуют уникальные природные ландшафты на территории страны и относятся к важнейшим экологическим системам Республики

Беларусь, которые во многом определяют экологическую стабильность во всей Европе. Наряду с другой естественной растительностью (луга, болота, кустарники) они составляют около 67 % территории.

Леса образуют самую крупную экологическую систему, структура которой зависит от физико-географических условий среды, видового состава и биологических особенностей растений. Являясь главным источником и аккумулятором органического вещества, лес оказывает решающее воздействие на энергетический обмен в биосфере, выступает носителем колоссальной энергии. Особенно велика его роль в стабилизации кислородного баланса атмосферы в планетарном масштабе. Установлено, что 1 га средневозрастного леса ежегодно поглощает 4,6–6,5 т углекислого газа и выделяет при этом 3,5–5,0 т кислорода.

Лес является одной из основ хозяйственной деятельности человека, источником получения материальных ресурсов (древесины, пищевых, лекарственных и технических ресурсов, продукции охотничьего промысла), базой для развития лесного хозяйства, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, отдыха и туризма, других отраслей народного хозяйства. Лесные ресурсы включают стволовые запасы древесины, разнообразные недревесные ресурсы: технические (живицу, пробку и др.), кормовые, охотничье-промысловые, пищевые (грибы, плоды, ягоды, орехи и др.), лекарственные растения, и выполняют общественно полезные и защитно-ресурсоохранные функции (водоохранные, климаторегулирующие, полезащитные, противоэрозионные и др.), в том числе рекреационные и эстетические.

Лесной фонд Беларуси, как совокупность всех лесов страны натурального и искусственного происхождения, включает покрытые лесом земли, а также другие земли, предназначенные для нужд лесного хозяйства. По данным Национального статистического комитета общая площадь лесного фонда составляет 9,47 млн га, в том числе лесопокрытая (без прогалин, высепок, гарей) – 8,12 млн га ее территории (табл. 3.38.). За последние десятилетия общая площадь лесного фонда увеличилась за счет искусственного и естественного облесения малопродуктивных и неудобных для сельскохозяйственного производства земель.

Таблица 3.38 – Характеристика лесного фонда Республики Беларусь

Показатели	Единица измерения	Всего по Республике Беларусь	В т.ч. по Минлесхозу
Общая площадь лесного фонда	млн. га	9,47	8,1
Лесные земли	млн. га / %	8,63 / 91,2	7,46 / 92,1
Покрытые лесом земли	млн. га / %	8,12 / 85,8	7,03 / 86,4
Общий запас насаждений	млн. м <sup>3</sup>	1 669,3	1 451,2
в т.ч. спелых и перестойных	млн. м <sup>3</sup> / %	235,8 / 14,1	195,3 / 13,5

Лесистость территории считается оптимальной для Беларуси и составляет 39,1 %. По прогнозам в ближайшие годы она может превысить 40 %. Однако распределение лесов по территории страны весьма неравномерно, лесистость отдельных административных районов варьирует от 10 % (Несвижский р-н) до 62 % (Лельчицкий р-н). Лесные ресурсы Беларуси хорошо изучены, и по разным оценкам специалистов, запасы древесины достигают 1,7 млрд. м<sup>3</sup>, в том числе возможные для эксплуатации – 235,8 млн. м<sup>3</sup>. Ежегодный общий прирост белорусских лесов оценивается примерно в 31 млн. м<sup>3</sup> в год, или в пересчёте на 1 га лесопокрытой территории около 3,8 м<sup>3</sup>.

Площадь земель лесного фонда, занятая под водными объектами составляет 72 тыс. га. Это край более 10 тыс. живописных озёр, которые имеют сравнительно чистую воду и могут использоваться для рекреационных целей. Из озёр берут начало многие реки.

Если на земном шаре в среднем на человека приходится не более 0,6 га леса и 54 м<sup>3</sup> ресурсов древесины, причем большие различия между континентами обусловлены как размещением лесов, так и концентрацией населения, то на одного жителя республики приходится 0,9 га покрытых лесом земель и более 180 м<sup>3</sup> древесного запаса. В Беларуси одновременно с увеличением общей площади лесного фонда наблюдается и устойчивый рост площадей приспевающих, спелых и перестойных насаждений. За двадцатилетний период площадь спелых древостоев увеличилась более чем в два раза. По данным В. Ф. Багинского и др. (2007) за 60 лет, предшествующих 2001 году, лесистость республики увеличилась почти вдвое (1944 год – 18 % в 2001 году – 38 %) и достигла максимального значения за более чем столетний период (табл. 3.39.).

Таблица 3.39 – Динамика лесистости территории Беларуси

Годы	Лесистость в процентах
1800	45–50
1860	44
1900	37
1913	33
1918	22
1936	27
1940	30
1944	18
1955	31
1975	34
1985	34
1992	34
2001	38
2005	38
2010	39

В результате планового регулирования объемов рубок леса, в первую очередь, рубок главного пользования, общий запас насаждений увеличился почти в 2 раза. Если в 1989 году доля спелых лесов составляла всего 2,3 %, то сегодня уже 14,1 %. Ежегодно увеличивается расчетная лесосека по рубкам главного пользования лесом (научно обоснованная норма изъятия ресурсов спелой древесины). На 2010 год расчётная лесосека была утверждена в размере 7,6 млн. м<sup>3</sup>., на 2011 год – 8,3 млн. м<sup>3</sup>., на 2012 год – 8,7 млн. м<sup>3</sup>, на 2013 год – 9,3 млн. м<sup>3</sup>, на 2014 год – 11 млн. м<sup>3</sup>.

В состав природной флоры Беларуси входят 28 видов деревьев, 42 вида кустарников, свыше 820 видов травянистых растений. В лесах республики 50,2 % лесонасаждений занимает сосна, 23,2 % – береза, 9,2 % – ель, 8,5 % – ольха черная, 2,1 % – осина и 3,4 % – прочие породы. Мягколиственные древесные породы (ольха, береза, осина) произрастают преимущественно в пониженных местах с избыточным увлажнением на площади 2,9 млн. га.

В лесах Министерства лесного хозяйства стабильно возрастает объем лесных культур, созданных селекционным посевным и посадочным материалом. Все леса в Беларуси являются исключительной собственностью государства.

Леса Беларуси в соответствии с их экологическим, экономическим и социальным значением, местоположением и выполняемыми функциями делят на две группы. Первую группу составляют леса, выполняющие преимущественно водоохранные, защитные, санитарно-гигиенические и оздоровительные функции. Их доля в лесном фонде страны составляет 49,8 %. Вторую группу образуют хозяйственные леса, которые наряду с экологическим имеют эксплуатационное значение (в структуре лесного фонда занимают 50,2 %). Важной составной частью лесных ресурсов являются недревесные ресурсы (пищевые, лекарственные, технические, кормовые и др.). Расширяется использование рекреационных ресурсов белорусских лесов. Рекреационное лесопользование в настоящее время проводится на площади 1,3 млн. га. (16,0 % всей лесопокрытой площади); в перспективе планируется увеличить до 2,5 млн. га.

Основные функции лесопользования и лесовоспроизводства в Республике Беларусь выполняет лесное хозяйство – отрасль народного хозяйства, которая обеспечивает потребности страны в древесине и других продуктах леса, сохранение и рациональное использование всего многообразия ресурсов лесного фонда, усиление экологических функций лесов. В соответствии с этим в круг деятельности лесохозяйственных органов входят: организация и регулирование всех видов

пользования с учетом сохранения средозащитных, климаторегулирующих и оздоровительных функций леса; охрана и защита лесов от пожаров, вредителей и болезней; государственный надзор за использованием лесных ресурсов; проведение комплекса лесохозяйственных мероприятий по восстановлению, выращиванию и уходу за лесом, повышению плодородия лесных земель, улучшению качества и повышению продуктивности лесов. В структуре экономики страны доля лесного хозяйства составляет около 0,6 % ВВП.

В белорусских лесах разрешены следующие виды лесных пользований: заготовка древесины; подсочка (заготовка древесных соков и живицы); заготовка второстепенных лесных материалов (пней, коры, бересты, новогодних елок и др.); побочные лесные пользования (размещение ульев и пасек, сбор лесных семян, других компонентов и продуктов жизнедеятельности леса); пользование участками лесного фонда для нужд охотничьего хозяйства; проведение научно-исследовательских и учебно-опытных работ; проведение оздоровительных, рекреационных, туристических и спортивных мероприятий.

В настоящее время лесопользование в Беларуси осуществляется по принципу непрерывности и неистощительности; среднегодовые заготовки древесины составляют 10,0–14 млн. м<sup>3</sup> в год, из них в порядке ведения рубок главного пользования (в спелых древостоях) – 4,3–4,5 млн. м<sup>3</sup> (40 %), рубок ухода за лесом и санитарных рубок (в молодняках, средневозрастных и приспевающих насаждениях) – 5,4 млн. м<sup>3</sup> (48 %) и прочих рубок – 1,0–1,3 млн. м<sup>3</sup> древесины (12 %).

Расчётные и статистические данные объемов заготовок древесины в Беларуси совпадают лишь в последние десятилетия (табл. 3.40.). Это обусловлено демографической ситуацией – уменьшением численности сельского населения, которое для отопления деревенского дома использовало более 18 м<sup>3</sup> дров в год – газификацией, изменением порядка заготовки, вывоза и продажи лесопродукции.

Таблица 3.40 – Объемы заготовок древесины в Беларуси, млн. м<sup>3</sup>/год

Годы	Статистические данные о лесозаготовках по всем видам пользований	Расчётный общий объём лесопользования
1975	10	13
1985	11	12
1992	10	10
2001	12	12
2005	14	14

Предусматривается дальнейшее увеличение лесопользования не только в настоящее время, но и в перспективе. Планируется довести объемы рубок леса до 19 млн. м<sup>3</sup> в период 2016–2020 годов. В последние годы расчетная лесосека по рубкам главного пользования использовалась лишь на 70–80 %. Недоосвоение происходит в основном по мягколиственным породам, мелкотоварной древесине и в труднодоступных местах, где заготовки оказываются невыгодными.

Среднегодовой объем лесопользования последних лет составлял всего 1,3–1,4 м<sup>3</sup> древесины с 1 га покрытой лесом площади, что в 2,6 раза меньше ежегодного среднего прироста древесины – 3,6 м<sup>3</sup>/га.

Благодаря проводимой государственной политике по рациональному использованию лесов ресурсы древесины в лесах Беларуси в настоящее время увеличиваются. Наиболее точным показателем, показывающим уровень накопления или исчерпания запасов лесных насаждений, является средний прирост. Прирост древесины в последние десятилетия стабилен и составляет около 30 млн м<sup>3</sup>/год и достиг 3,6 м<sup>3</sup> с 1 га лесопокрытой площади (табл. 3.41.)

Исключением был примерно 50-летний период от 20-х до середины 70-х годов прошлого века. До этого периода в белорусских лесах средний прирост превышал объемы вырубки, поэтому шло накопление биомассы, а естественный отпад в древостоях, после его разложения, повышал почвенное плодородие лесных земель. В результате 50-летнего истощительного лесопользования была нарушена возрастная структура древостоев, и почти не стало спелых насаждений. Изменения к лучшему произошли только к середине 70-х годов, когда был исключён переруб расчётной лесосеки. В настоящее время количество спелых древостоев в лесах увеличивается. По прогнозам к 2020 году возрастная структура лесов должна существенным образом улучшиться, что позволит увеличить использование лесных ресурсов без ущерба для будущих запасов древесины.

Таблица 3.41 – Средний прирост на 1 га покрытой лесом площади, м<sup>3</sup> (по В. Ф. Багинскому, Л. Д. Есимчик, 1996)

Годы	Средний прирост
1945–1950	2,3
1951–1955	2,4
1956–1960	2,5
1961–1965	2,7
1966–1970	2,9
1971–1975	3,0
1976–1980	3,3
1981–1985	3,6
1986–1990	3,6
1991–1995	3,6

Ведение лесного хозяйства предполагает, как вырубку, так и восстановление лесов. В порядке лесовосстановления в разные периоды на территории Беларуси создавались искусственные насаждения (лесные культуры). Их площадь в настоящее время составляет около 3 млн. га, или 36,9 % покрытых лесом земель. Объемы лесовосстановления находятся в пределах 40–45 тыс. га, в том числе создания лесных культур – 30–35 тыс. га в год. Масштабы лесовосстановительных работ по прогнозу на текущую пятилетку намечается значительно увеличить – ежегодно пополнять белорусские леса молодняками на 70 тыс. га.

Лесные земли – природный комплекс, включающий землю со всеми компонентами, тесно связанной с ней (растительность, животные и т. д.). Истинную ценность земель лесного фонда можно оценить только с учётом всех полезностей, к которым относятся как древесные и недревесные ресурсы, так и его средозащитные ресурсы.

В Беларуси осуществляется кадастровая оценка земель лесного фонда. С этой целью ведется Государственный лесной кадастр Республики Беларусь, который является информационной системой, включающей экономические, экологические и социальные сведения о лесном фонде. Объекты Государственного лесного кадастра, образующие лесной фонд, – леса и покрытые ими земли, а также лесные земли, не покрытые лесом, и нелесные земли.

В Государственном лесном кадастре один раз в пять лет отражается эколого-экономическая оценка лесных ресурсов, основанная на научных нормативах комплексной продуктивности земель лесного фонда и методике эколого-экономической оценки лесных угодий, которые были разработаны ГНУ «Институт леса НАН Беларуси» в 1994–2010 гг. и постоянно им актуализируются. Например, предложено 143 норматива комплексной продуктивности земель лесного фонда, из которых 111 – для оценки покрытых лесом земель, 29 – для оценки не покрытых лесом земель и 3 – для оценки нелесных земель (В. Ф. Багинский и др., 2007). Нормативы состоят из описаний древесных, недревесных и средозащитных ресурсов леса, в которых отражена продуктивность одного гектара основных лесообразующих пород в различных типах леса.

В основу методики эколого-экономической оценки лесных угодий положены расчетные таксовые цены на различные виды лесных ресурсов. При оценке средозащитных ресурсов леса использована система коэффициентов отдельных функций леса.

По данным И. В. Ермониной (2014) первая эколого-экономическая оценка лесных ресурсов была проведена в 2008 году.

Общая их стоимость с учётом «весомых» (древесные и недревесные) и «невесомых» (средозащитных) ресурсов леса составила 84,1 млрд дол. США, стоимость лесных ресурсов 1 га покрытых лесом земель – 10,6 тыс. дол. США, 1 га общей площади лесного фонда – 9,0 тыс. дол. США. На 1 января 2013 года стоимость древесных и недревесных ресурсов леса в республике оценивалась в 11,7 млрд дол. США.

По данным Т. Н. Белоусова и А. С. Рахуба (2014), предложивших «Методические рекомендации по экономической оценке экосистемных услуг леса» на примере ГЛХУ «Крупский лесхоз» было показано, что экономическая ежегодная удельная оценка древесных пород составляет 1 308,1 тыс. руб/га ( $\approx 139$  дол. США), ассимиляционного потенциала 1 га – 4 310,1 тыс. руб/га ( $\approx 461$  дол. США) и депонирования диоксида углерода – 788,8 тыс. руб/га ( $\approx 84$  дол. США). Полученные результаты рекомендуются к использованию при разработке механизма компенсации экоуслуг леса, а также при их структурировании и определении приоритетности для данной территории.

### 3.5.2. Чистая первичная продукция леса

Образование органического вещества в экосистеме леса Беларуси происходит благодаря поступлению солнечной энергии на автотрофный уровень в количестве  $0,91 \text{ Мккал/м}^2$  в год. Лесной фонд республики занимает площадь территории в количестве 9 468,6 тыс. га. Следовательно, на данную территорию в течение года приходится около 86 164 Тккал солнечной энергии. Но, ввиду того, что среди земель лесного фонда к лесопокрытым относятся только 8 120 тыс. га, на данную площадь поступает примерно 73 892 Тккал солнечной энергии. Тем не менее, такое огромное количество энергии эквивалентно сжиганию  $9,2$  триллионов/ $\text{м}^3$  или 9 200 млрд  $\text{м}^3$  природного газа.

Солнечная энергия, поступающая на автотрофный уровень, не вся аккумулируется в первичной продукции растений, а только её небольшое количество – около 0,1 %. Следовательно, с учётом этого количества можно определить, что в первичной продукции лесных растений или в годовом их приросте на всей лесопокрытой территории трансформируется в древесине около 73,9 Тккал солнечной энергии. Что в переводе на условное топливо составляет 10,55 Мт у.т.

Далее, зная прирост древесины, требуется определить, в каком количестве древесины аккумулируется данное количество солнечной энергии. Чтобы установить это для этого необходимо рассмотреть калорийность древесины.

Калорийность древесины напрямую зависит от теплотворной способности древесины. В свою очередь, теплотворная способность древесины зависит от породы, возраста дерева, условий произрастания, места в стволе и т. д. Различают высшую, или абсолютную, теплотворную способность, выражающую количество тепла, выделяемое при полном сгорании 1 кг древесины, рабочую теплотворную способность древесины с учетом влажности и зольности древесины и удельную теплотворную способность, представляющую отношение рабочей теплотворной способности к объемному весу древесины. Удельная теплотворная способность дает практическую характеристику теплотворной способности древесины.

Высшая теплотворная способность (ВТС) древесины определяется как сумма теплотворных способностей отдельных химических элементов, получаемых при их свободном сгорании. Для древесины приближенно она может быть определена по формуле Д. И. Менделеева:  $Q = 81C + 300H - 26O$ , где C, H и O – содержание в древесине углерода, водорода и кислорода в процентах.

Состав древесного вещества для любой породы дерева: 49,5 % углерода, 6,3 % водорода, 44,1 % кислорода. Соответственно, получают:  $Q(\text{ВТС}) = 81 \times 49,5 + 300 \times 6,3 - 26 \times 44,1 = 4\,752,9$  ккал/кг.

Точное определение высшей теплотворной способности древесины производится в лаборатории калориметрическим путем.

Химический состав древесинного вещества практически всегда одинаков у древесины всех пород деревьев. Древесинное вещество (материал стенок древесных клеток) – это главная теплотворная составляющая часть древесины, которая горит с выделением тепла. В него входят, примерно – 60 % целлюлозы, 30 % лигнина, 7–9 % сопутствующих углеводородов и 1–3 % минеральных веществ. По некоторым литературным данным теплота сгорания абсолютно сухой древесины разных пород сравнительно мало различается и составляет 4 818–5 066 ккал/кг (20 160–21 200 кДж / кг). С увлажнением теплота сгорания древесины сильно снижается. Под абсолютно сухой древесиной подразумевается влажность такого образца дерева, при которой он, находясь в сушильном шкафу с температурой сушки 102–103 °С, не изменяет величину своей массы более чем на 1 % в течение трёх суток. Высшая (абсолютная) теплотворность древесины определяется путём полного сжигания в калориметре исследуемого образца топлива с последующей конденсацией водяного пара и охлаждением всех продуктов горения к исходной температуре. За образец принимается 1 кг абсолютно сухой древесины

В зависимости от того, в массовых или объёмных единицах измерения производят учёт топлива, удельная теплотворность древесины

может быть массовой или объёмной. Единицы для измерения массовой удельной теплотворности: Дж/кг, ккал/кг. Единицы для измерения объёмной удельной теплотворности: Дж/дм<sup>3</sup>, ккал/дм<sup>3</sup>.

Так, например, свежесрубленная древесина дуба имеет объёмный вес 1 000 кг/м<sup>3</sup>, березы – 900 кг/м<sup>3</sup>, сосны – 800 кг/м<sup>3</sup> (табл. 3.42.). Для практических целей, больший интерес представляет объёмная удельная теплотворность древесины. Поскольку традиционно, дрова учитываются в объёмных единицах измерения (складометрах и кубометрах), то именно объёмная теплотворность древесины выходит на передний план и становится решающим фактором при определении качества дров, как вида топлива.

Таблица 3.42 – Ориентировочный вес 1 м<sup>3</sup> древесины разных пород в кг

Порога дерева	Состояние влажности древесины			
	12–18 %	18–23 %	23–45 %	свежесрубленная
Акация, бук, граб, дуб, ясень	700	750	800	1 000
Береза, ильм, карагач, каштан, лиственница	600	650	700	900
Ива, ольха, осина, сосна	500	550	600	800
Ель, кедр, липа, пихта, тополь	450	500	550	800

Теплотворность древесины называется низшей или рабочей, если не учитывается теплота конденсации водяного пара, образующегося в процессе горения. Низшая (рабочая) теплотворность древесины определяется путём полного сжигания в калориметре исследуемого образца без последующего охлаждения всех продуктов горения к исходной температуре и без конденсации водяного пара. При этом, исследуемый образец не сушат и сжигают его «как есть». Перед лабораторными исследованиями просто фиксируют влажность образца и затем, обязательно указывают – при какой влажности древесины получен результат по определению её теплотворности. Низшая теплотворность изменяется в зависимости от степени влажности древесины, поскольку влажность древесины очень переменчивая величина.

Объёмная удельная теплотворность древесины зависит от её плотности, то есть от концентрации древесинного вещества в единице объёма топлива. Средняя плотность древесины влажностью 12 % разных пород деревьев находится в пределах 400–810 кг/м<sup>3</sup>. Наиболее низкие показатели предела плотностей древесины наблюдаются у сосны от 310 до 370 кг/м<sup>3</sup> и наиболее высокие – от 690 до 1 030 кг/м<sup>3</sup> у дуба (табл. 3.43.).

Видовая структура произрастающих лесов различается. Однако, благодаря проводимому учёту лесонасаждений в Беларуси она установлена. С учётом того, что в лесах республики 50,2 % лесонасаждений занимает сосна, 23,2 % – берёза, 9,2 % – ель, 8,5 % – ольха черная, 2,1 % – осина и 3,4 % – прочие породы средневзвешенная плотность 1 м<sup>3</sup> древесины влажностью 12 % может составлять примерно 548 кг, а в переводе на абсолютно сухое вещество – 482 кг. В данном количестве абсолютно сухого вещества древесины содержание энергии определяется в количестве 2,291 Мккал/м<sup>3</sup> (482 x 4753).

Таблица 3.43 – Плотность древесины разных пород дерева

Порода дерева	Плотность древесины (кг/дм <sup>3</sup> )	Предел плотности древесины (кг/дм <sup>3</sup> )
Дуб	0,810	0,690–1,03
Ясень	0,750	0,520–0,950
Рябина (дерево)	0,730	0,690–0,890
Яблоня	0,720	0,660–0,840
Бук	0,680	0,620–0,820
Акация	0,670	0,580–0,850
Вяз	0,660	0,560–0,820
Лиственница	0,660	0,470–0,560
Клён	0,650	0,470–0,560
Берёза	0,650	0,510–0,770
Груша	0,650	0,610–0,730
Каштан	0,650	0,600–0,720
Кедр	0,570	0,560–0,580
Сосна	0,520	0,310–0,760
Липа	0,510	0,440–0,800
Ольха	0,500	0,470–0,580
Осина	0,470	0,460–0,550
Ива	0,460	0,490–0,590
Ель	0,450	0,370–0,750
Верба	0,450	0,420–0,500
Орех лесной	0,430	0,420–0,450
Пихта	0,410	0,350–0,600
Бамбук	0,400	0,395–0,405
Тополь	0,400	0,390–0,590

В последние годы средний прирост лесов на 1 га лесопокрытой территории в Беларуси составляет 3,6 м<sup>3</sup>/год. Следовательно, на площади леса в 1 га в годовом его приросте в количестве 3,6 м<sup>3</sup> концентрируется примерно 8,25 Мккал солнечной энергии. На площади леса в 1 м<sup>2</sup> это не превышает 825 ккал. Данное количество связанной

в древесине энергии составляет 0,09 %от поступающей на автотрофный уровень солнечной энергии.

Республика Беларусь имеет лесопокрытую территорию в количестве 8,12 млн. га, на которой общий ежегодный прирост лесов оценивается в 29,2 млн. м<sup>3</sup> (8,12 x 3,6). Имея среднюю калорийность 1 м<sup>3</sup> древесины и её годовой прирост можно установить, что в ежегодном приросте лесов на всей лесопокрытой территории содержание энергии находится на уровне 67 Тккал (29,2 x 2,291).

Известно, что лес растет в течение длительного времени, на протяжении 80–100 и более лет. И если не изымать древесину, то благодаря ежегодному приросту происходит накопление биомассы лесов, а в ней и энергии. По подсчётам лесохозяйственных организаций республики в настоящее время общий запас лесонасаждений оценивается в количестве 1 669,3 млн. м<sup>3</sup>. В таком объеме биомассы лесонасаждений может содержаться 3 824,36 Тккал накопленной энергии, что равнозначно 57 годовым её приростам.

По данным R. Whittaker (1975) и Р. Х. Уиттекер (1980) чистая первичная продукция естественных биоценозов вечнозеленых лесов умеренного пояса в среднем составляет 1 300 г/м<sup>2</sup> (колеблется от 600 до 2 500 г/м<sup>2</sup>), листопадных лесов умеренного пояса – 1 200 г/м<sup>2</sup> (колеблется от 600 до 2 500 г/м<sup>2</sup>). Для условий Беларуси чистая первичная продукция леса в среднем составляет 1 735 кг/га или 1 735 г/м<sup>2</sup>.

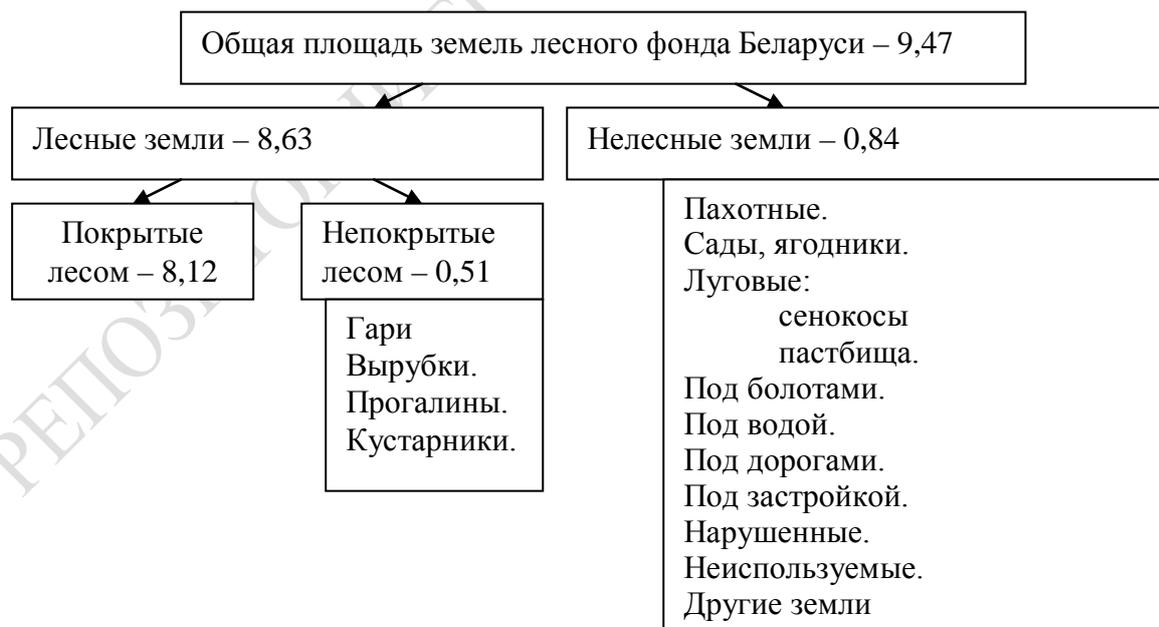


Рисунок 8 – Структура земель лесного фонда Беларуси, млн. га

Как видно из схемы на рисунке 8, в землях лесного фонда Беларуси, покрытые лесом земли составляют 8,12 млн га или 85,7 %, гари,

вырубки, прогалины и кустарники – 0,51 млн. га или 5,4 %, нелесные земли – 0,84 млн. га или 8,9 %. На площадях непокрытых и нелесных земель для производства первичной продукции представляют интерес пахотные земли, сады, ягодники, луговые земли, под болотами и под водой. Количество пахотных земель, под садами, ягодниками и луговыми землями насчитывается около 40 тыс. га, под болотами примерно 544 тыс. га и под водой – 73 тыс. га.

Приняв за базовые данные R. Whittaker (1975) и Р. Х. Уиттекера (1980) о том, что чистая первичная продукция естественных биоценозов болот составляет в среднем  $2\,000\text{ г/м}^2$  (колеблется от 800 до  $3\,500\text{ г/м}^2$ ), озёр и рек –  $250\text{ г/м}^2$  (колеблется от 100 до  $1\,500\text{ г/м}^2$ ), то для лесной экосистемы нашей страны это будет выглядеть следующим образом.

Чистая продукция болот, находящихся в составе земель лесного фонда, составит 10 880 тыс. т (544 тыс. га), озёр и рек – 182,5 тыс. т (73 тыс. га). Чистая продукция пахотных земель, под садами, ягодниками и луговыми землями, при средней урожайности  $1\,000\text{ г/м}^2$ , составит примерно 40 тыс. т (40 тыс. га). На этих трёх составляющих, входящих в лесную экосистему, формируется около 11 002 тыс. т чистой первичной продукции. При условии, что в 1 г биомассы биосферы концентрируется около 2 ккал энергии, в данном количестве первичной энергии может содержаться примерно 21,7 Тккал.

Таким образом, общая ассимиляция солнечной энергии в биомассе прироста лесов на лесопокрытой территории, в биомассе чистой продукции болот, озёр и рек, а также пахотных земель, входящих в лесную экосистему Беларуси, определяется в количестве 88,7 Тккал (67 + 21,7).

## 3.6. Энергетика водно-болотной экологической системы

### 3.6.1. Водные ресурсы

Биосферную оболочку Земли, образуют живые организмы, обитающие вместе с окружающей их средой, в таких её составных частях как: атмосфера – газообразная часть биосферы, литосфера – твердая, гидросфера – жидкая. При этом водная часть биосферы представляет собой наиболее широкую арену жизни.

Вместе с атмосферой и литосферой гидросфера относится к важнейшей составной части биосферы. Гидросфера объединяет все воды земного шара, включая океаны, моря и поверхностные воды суши. Водные массы на поверхности Земли образуют тонкую геологическую оболочку, которая занимает большую часть поверхности Земли

и образует Мировой океан (361 млн. км<sup>2</sup>, или 70,8 % всей поверхности планеты). Общий объем гидросферы равен 1,4 млрд км<sup>3</sup>, а ее доля по отношению ко всей массе Земли составляет около 0,02 %. Подавляющее количество воды гидросферы сосредоточено в морях и океанах (96,5 %), остальной объем распределяется в основном между подземными водами (2,5 %), льдами и снегами, покрывающими арктические и антарктические области, а также горными ледниками (1,7 %). Поверхностные воды суши (реки, озера, болота) и атмосферные воды составляют лишь доли процента от общего объема воды гидросферы (О. С. Шимова, Н. К. Соколовский, 2010).

Считают, что в гидросфере произошло зарождение жизни на Земле: вода способствовала образованию сложных химических соединений, которые обусловили возникновение органической жизни, а затем – формирование высокоорганизованных животных организмов.

Из общей площади поверхности нашей планеты, равной приблизительно 510,2 млн. км<sup>2</sup>, около 71 %, приходится на долю водного зеркала, а если принять во внимание и подземные воды, распространенные почти повсеместно, то окажется, что водная оболочка практически покрывает всю Землю. Кроме того, в отличие от атмосферы и литосферы гидросфера заселена во всей своей толще, часто измеряемой сотнями и тысячами метров.

Население гидросферы, или гидробиос, представленное водными организмами, или гидробионтами, их популяциями и сообществами, играет в жизни человека чрезвычайно важную роль, непрерывно возрастающую по мере освоения водоемов. Одни из гидробионтов широко используются промыслом или полезны в иных отношениях, другие приносят вред, будучи патогенными для человека и домашних животных или создавая помехи народному хозяйству, в частности водоснабжению, судоходству и эксплуатации гидротехнических сооружений. Поэтому по мере освоения пресных и морских водоемов все более необходимым становилось изучение их населения с целью повышения его положительной и снижения отрицательной роли в жизни человека. Задачу такого изучения населения водоемов взяла на себя возникшая в конце прошлого века наука гидробиология.

Вода представляет собой бесцветную жидкость без запаха, вкуса и цвета. В природных условиях всегда содержит растворенные соли, газы и органические вещества, количество которых меняется в зависимости от происхождения воды и окружающих условий. При концентрации солей до 1 г/л вода считается пресной, до 24,7 г/л – солоноватой, свыше – соленой.

Вода обеспечивает существование живых организмов на Земле и развитие процессов их жизнедеятельности. Она входит в состав

клеток и тканей любого животного и растения, в среднем составляя около 90 % массы растений и 75 % массы животных и человека (А. И. Киеня, Ю. И. Бандажевский, 1997).

Вода как физико-химическое тело оказывает непрерывное влияние на жизнь гидробионтов. Она представляет организмам опору, приносит им пищу и кислород, уносит продукты метаболизма, переносит половые продукты. Благодаря (подвижности воды в гидросфере возможно существование прикрепленных животных, которых как известно, нет на суше, и осуществляется пассивное расселение гидробионтов. Поэтому физико-химические свойства воды представляют собой один из важнейших факторов абиотической среды для обитателей пелагиали и бентали. Для бентосных организмов первостепенное значение приобретают физико-химические особенности населяемого ими грунта.

Если говорить о химическом составе и строении воды, то известно, что молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода, но так как первые имеют 3 изотопные формы, а вторые – 6, то существует 36 разновидностей воды, из которых в природе встречаются 9. Молекула воды имеет два отрицательных и два положительных заряда, расположенных по вершинам тетраэдра таким образом, что первые оказываются на одном полюсе, а вторые – на другом. Расположением зарядов определяется дипольный характер воды и хорошо выраженная поляризованность молекул. Благодаря этой особенности, растворенные в воде электролиты легко диссоциируют на ионы в результате их притягивания своеобразными электромагнитами – дипольными молекулами воды. С помощью водородных связей, образующихся между атомами кислорода и водорода смежных молекул, возникают агрегаты последних, повышающие структурную упорядоченность воды и заметно меняющие ее свойства. Так, во время замерзания воды каждая из молекул, за счет образования водородных связей, соединяется с четырьмя другими, и возникает характерная для льда структура с относительно рыхлой «упаковкой» молекул. Этим объясняется снижение удельного веса воды после замерзания. С повышением температуры структура воды постепенно разрушается. Молекулы воды и их обломки могут сближаться, заполнять свободные пространства и благодаря этому увеличивать плотность жидкости. При дальнейшем нагревании структура воды разрушается полностью, молекулы располагаются рыхло, и удельный вес жидкости снижается. Имеются данные о том, что специфические функции в живом органе вода может выполнять только в структурированном состоянии, которое полностью исчезает после нагревания до 40 °С. Но именно такая температура является летальной для многих живых организмов.

С другой стороны, есть ряд наблюдений о стимулирующем действии талой воды на гидробионтов, которая отличается наибольшей структурированностью.

В отношении термических и оптических свойств воды можно отметить следующее. По сравнению с почвой и воздухом вода отличается гораздо большей термостабильностью, что благоприятно для существования жизни. Сохранению температурного постоянства воды способствует ее высокая теплоемкость, равная 1 кал/г. По этой причине даже значительные поступления или потери тепла не ведут к резким изменениям температуры воды и, например, максимальные колебания ее в Мировом океане не превышают 30–40 °С, в то время как в почве и воздухе они могут достигать 120–140 °С. Повышению термостабильности воды в естественных условиях способствует ее аномальное свойство уменьшать свою плотность с понижением температуры от 4 до 0 °С. Расширяясь при замерзании, вода превращается в лед, который, будучи более легким, чем вода, плавает на ее поверхности и образует теплоизоляционный слой, предупреждающий промерзание водоемов. Таким образом, находясь в воде, гидробионты обычно застрахованы от замерзания, которое часто вызывает гибель наземных организмов. Поддержанию термостабильности воды способствует ее крайне высокая теплота парообразования (539 кал/г) и плавления (80 кал/г). Когда вода подвергается нагреванию, испарение возрастает и за счет этого повышение температуры задерживается. Количество тепла, отдаваемого гидросферой за год, вследствие испарения (около  $2 \cdot 10^{19}$  кал) примерно в 400 раз превышает всю ту техническую энергию, которую люди вырабатывают на Земле за такое же время ( $5 \cdot 10^{16}$  кал). Когда вода охлаждается ниже 0 °С, образуется лед с выделением большого количества тепла, что препятствует резкому понижению температуры. Вода обладает сравнительно низкой теплопроводностью, что сильно ограничивает распространение температурных изменений, возникших на одном участке, в другие зоны водоема. Появляющаяся слоистость, или температурная стратификация, предупреждает, например, прогревание до дна даже сравнительно мелких водоемов в жаркое время года. Образованию температурной стратификации способствует также свойство воды уменьшать свою плотность с понижением температуры от 4 до 0 °С. Зимой подледные холодные воды не погружаются вглубь, плавая на более теплых: летом прогретые воды не опускаются ко дну, где находятся более холодные и потому более плотные воды. Таким образом, аномальные свойства воды существенно тормозят выравнивание температурных градиентов. Климат и погода на Земле определяются содержанием

водяного пара в атмосфере. Благодаря большой теплоемкости воды океаны и моря служат аккумуляторами тепла, способными изменять погоду и климат на планете. Океан, растворяя газы атмосферы, является регулятором воздуха.

В производственной деятельности человека вода широко применяется как материал, входящий в состав различных видов продукции и технологических процессов; используется в качестве теплоносителя; служит для целей обогрева.

К водоёмким относятся многие производства химической и нефтехимической промышленности, отрасли электроэнергетики, черной и цветной металлургии, отрасли лесной, легкой и пищевой промышленности. Широко используется вода в строительстве и промышленности строительных материалов, сельском хозяйстве. Реки, каналы, озера – дешевые пути сообщения, а также места отдыха и восстановления здоровья людей, занятия спортом, туризмом.

Экономическое понятие «водные ресурсы» включает все пригодные для хозяйственного использования запасы поверхностных и подземных вод, почвенной и атмосферной влаги. Ресурсы поверхностных вод определяются в основном суммарным стоком в средний по водности год. Распределены они и используются по территории Земли и отдельным регионам неравномерно.

К континентальным водоемам относятся естественные и искусственные углубления суши, заполненные водой. Естественными водоемами считаются реки, озера и болота. Искусственными водоемами каналы, водохранилища и пруды. Большая часть континентальных водоемов пресноводна. Пресные водоемы обеднены флорой по сравнению с морями и океанами, поэтому только 13 классов растений обитают в пресноводных континентальных водоемах. Из растений в континентальных водоемах больше всего бактерий, сине-зеленых, диатомовых и зеленых водорослей. Часто встречаются цветковые растения. Жизнь стоячих вод зависит от площади поверхности и глубины водоема, региональных климатических условий и химического состава воды.

Реки обладают общей для них особенностью – водная масса в них перемещается от истока к устью за счет уклона русла в сторону моря. Реки текут за счет силы тяжести Земли или гравитационного притяжения. Течение реки идет по руслу или углублению в суше. Русло может быть пойменное и коренное. Различаются они тем, что по пойменному руслу река течет при самом большом уровне воды, например, во время паводка, в то время как по коренному руслу река течет даже в самое сухое время года с наименьшим уровнем воды. В реке различают следующие части: прибрежную – рипаль, срединную –

медиаль и участок с наибольшим течением – стержень. От истока к устью река делится на верхнее, нижнее в среднее течение. Верхнее течение наиболее бурное, среднее становится спокойным и многоводным за счет притоков, и самое медленное нижнее течение. Вода постоянно размывает ложе, а за счет сил Кориолиса правый берег подмывается и становится крутым, в то время как левый намывается и становится пологим. В южном полушарии картина меняется на противоположную, там подмывается левый берег. За счет боковой эрозии река часто меняет очертания берегов и образует излучины. Иногда русло снова выпрямляется, в таких случаях отшнуровавшееся прежнее русло называется старицами, если же старицы сохраняют с новым связь, то получают либо затоны, либо протоки. При впадении в море русло может несколько раз разойтись на рукава и образовать дельту. Иногда образуется обширный участок, напоминающий узкий морской залив - эстуария. Движение воды в реке, подъем уровня во время дождей и таяния снегов, различные климатические условия и различные минеральные породы дна реки приводят к тому, что условия для жизни в реках далеко не стабильны. К тому же минерализация воды сильно меняется в течение года и заметно снижается во время паводков. Газовый режим рек тоже различен в зимнее и летнее время. Особенно ухудшается газовый режим подо льдом в зимнее время. Все перечисленные выше факторы ведут к тому, что население рек характеризуется значительным видовым разнообразием. Большинство организмов живет в толще воды и на дне. Фитобентос в реках представлен диатомовыми, зелеными и сине-зелеными водорослями.

Республика Беларусь не имеет непосредственного выхода к морям и океанам, на её территории имеются только континентальные водоёмы. Среди них главными являются реки. Ресурсы поверхностных вод Беларуси оцениваются в  $58 \text{ км}^3/\text{год}$ , по этому показателю она занимает восьмое место среди стран СНГ. Большая часть речного стока ( $34,0 \text{ км}^3$ ) формируется в пределах Беларуси. Местный сток изменяется в соответствии с водностью года от 61 до  $24 \text{ км}^3/\text{год}$ . Удельная обеспеченность стоком речных вод в Беларуси несколько выше, чем в среднем по странам СНГ, и составляет  $279,4 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$  на  $1 \text{ км}^2$  (О. С. Шимова, Н. К. Соколовский, 2010).

Реки являются значительной частью ресурсов пресной воды. Вследствие непрерывной возобновляемости и легкодоступности именно речные воды наиболее пригодны для использования человеком. В развитии человеческого общества их роль чрезвычайно велика, так как хозяйственная деятельность без них практически невозможна. Реки служат путями сообщения, их используют для создания оросительных систем,

они являются источниками механической энергии, водоснабжения и, особенно в последнее время, служат незаменимыми поставщиками пресной воды для промышленности.

По континентам ресурсы речных вод распределены неравномерно: в Европе и Азии, где проживает 70 % населения мира, сосредоточено лишь 39 % мировых запасов речных вод. СНГ по общему объему речного стока значительно богаче всех крупнейших государств мира, но показатель удельной водообеспеченности (на единицу площади) этих государств в среднем в полтора раза ниже мирового. В среднем территория СНГ по водообеспеченности оценивается как удовлетворительная.

Большое значение для функционирования рек имеют атмосферные осадки, которые образуются в результате испарения влаги из океана и суши. При этом непосредственное питание рек осуществляется дождями, при таянии снегового покрова, тальми водами, а также подземными источниками, которые в значительной мере обязаны своим образованием атмосферным осадкам.

Снежная зима, характерная для большей части территории нашей страны, является причиной того, что большинство рек получают в основном снеговое питание, и паводок у них наступает весной. Это обуславливает очень сложный состав паводковых вод, так как в течение долгих зимних месяцев из атмосферы в бассейн реки поступают с осадками самые различные вещества. Пылевидные промышленные выбросы, продукты сгорания угля и нефти, облака вулканической пыли и т.п. непосредственно попадают в водоемы или оседают на сушу и постепенно смываются в водоемы. А на территориях со снежным покровом все эти осевшие частицы накапливаются и в половодье в течение короткого времени сносятся в реки и озера, изменяя в них состав воды. Хотя подобное изменение в основном непродолжительно, оно усложняет работу водоочистных сооружений, требует специальных мероприятий в рыбном хозяйстве и т. д.

Реки снегового питания, как правило, имеют низкое солесодержание (так называемый малый ионный сток), вода в них мягкая, маломинерализованная. Во многом это объясняется типом промытых подзолистых грунтов, по которым они протекают, а также полноводностью.

При обильных дождевых выпадениях, в отличие от снеговых, чаще и резче колеблются уровни рек, причем пики этих показателей многочисленны, но кратковременны. Соответственно изменяется и содержание в речной воде минеральных, а также природных органических веществ и ядохимикатов, смываемых с полей дождевыми потоками.

Территория Беларуси является водораздельной для бассейнов Балтийского и Черного морей. На её территории насчитывается всего

20 800 рек, общей протяженностью около 90,6 тыс. км. Крупнейшие реки, протяженностью более 500 км, – Днепр и его притоки Припять, Березина, Сож; Неман и его приток Виляя; Западная Двина, Западный Буг (табл. 3.44).

Таблица 3.44 – Крупнейшие реки Беларуси

Название	Общая длина (км)	Белорусская часть (км)
Днепр	2145	690
Западная Двина	1020	328
Неман	937	459
Западный Буг	831	169
Припять	761	495
Сож	648	493
Березина	613	613
Виляя	510	276
Птичь	421	421
Щара	300	300
Свислочь	297	297

По обеспеченности водными ресурсами Республика Беларусь находится в сравнительно благоприятных условиях. Около 55 % годового стока приходится на реки бассейна Черного моря и, соответственно, 45 % – Балтийского.

Ресурсы поверхностных вод включают также озера и водохранилища. Большая часть запасов пресных вод стран СНГ сосредоточена в озерах, которых насчитывается около 2,8 млн. Суммарная их площадь составляет около 2 % территории. В целом на нашей планете запасы пресных озерных вод оценивают в 176 000 км<sup>3</sup>.

Озера представляют собой углубления в форме котловин, заполненных водой. Они могут быть образованы как в земной коре, так и во льдах. Существует множество процессов, которые могут привести к образованию озера. В зависимости от своего происхождения озера подразделяются на: тектонические, карстовые, эоловые, ледниковые и термокарстные. В некоторых случаях от моря отшнуровываются озеровидные водоемы – лиманы. Лиман может образоваться и другим способом, если реку, впадающую в море, запрудит песчаная коса, намытая прибоем. Котловину озера делят на мелководную литораль, или прибрежное мелководье, сублитораль или свал, и дно, идущее под большим уклоном. Сублитораль эта та область, куда заходит растительность. Вся остальная часть дна называется профундалью. Профундаль можно найти только у очень глубоких озер. Из озер могут брать начало реки, в этом случае они называются сточными. Как

обычно сточные озера пресноводны, в то время как бессточные осолены. Однако существуют не только пресные и солоноватые озера, есть еще соленые и пересоленные. Пресноводные озера по биологической населенности разделяются на эвтрофные, мезотрофные, олиготрофные и дистрофные (трофор - пища). Эвтрофные озера (высококормные) неглубокие (до 15 метров), вода в них содержит много минеральных солей. В ней обильно развиваются зеленые, сине-зеленые водоросли.

Многие современные озера были образованы в результате отступления ледников в период последнего оледенения. Таково происхождение Ладожского, Онежского в России, а также пяти Великих Американских озер в США. Глубочайшие озера возникли там, где образовались провалы в результате разломов и опускания земной коры. Самое глубокое озеро на планете – Байкал (1 620 м), затем африканское озеро Танганьика (1 470 м). Большую глубину имеют «круглые озера», располагающиеся в кратерах потухших вулканов и карстовых воронках. Нередко живописные, чистые и глубокие озера образуются в горах в результате горных обвалов (например, озеро Рица на Кавказе в Абхазии, Сарезское озеро на Памире). Дата рождения Сарезского озера установлена совершенно точно – 8 февраля 1911 года. В этот день в верхнем течении реки Мургаб в воду обрушились миллиарды кубометров скальных глыб. Образовалась естественная набросная плотина высотой 600 м и началось формирование озера. Через три года оно стабилизировалось и получило постоянный сток путем фильтрации вод через тело плотины.

У большинства озер запасы воды крайне медленно возобновляются: в среднем 1,5 % в год от общего запаса, а у Байкала – около 0,3 %. Состояние водоёмов озер во многом зависит от интенсивности смыва с полей соединений фосфора и азота – составной части удобрений, от поступления сточных вод, содержащих минеральные и органические загрязнения, а также от отложения остатков растений и животных. В результате этих процессов озера загрязняются, падает их биологическая продуктивность, изменяется режим. Озера либо превращаются в болота, либо погибают. Немалую роль при этом играет продолжительный сброс ядовитых промышленных стоков. Естественные же процессы формирования озер, особенно бессточных, обычно приводят к их постепенному перерождению в болота.

В пределах границ Беларуси насчитывается 10,8 тыс. озер. Их суммарная площадь составляет почти 2 тыс. км<sup>2</sup> или около 1 % территории страны, а общий объем воды – около 6 км<sup>3</sup>. Наиболее глубокие, разнообразные по очертаниям и живописные озера находятся в Белорусском Поозерье. Самое большое озеро Нарочь занимает площадь около 80 км<sup>2</sup> (табл. 3.45.).

Водохранилища относятся к искусственным водоемам с полным объемом задержанных водных масс более 1 млн. м<sup>3</sup>, созданным с использованием водонапорных сооружений для накопления и сохранения воды, регулирования стока в соответствии с потребностями различных отраслей народного хозяйства.

Таблица 3.45 – Основные характеристики наиболее крупных озер Беларуси

Название озёр	Площадь, км <sup>2</sup>	Глубина, м	
		максимальная	средняя
Нарочь	79,6	24,8	8,9
Освейское	52,8	7,5	2,0
Червоное	40,8	2,9	0,7
Лукомское	37,7	11,5	6,6
Дривяты	36,1	12,0	6,1
Выгонощанское	26,0	2,3	1,2
Нещердо	24,6	8,1	3,4
Свирь	22,3	8,7	4,7
Снуды	22,0	16,5	4,9
Черное	17,3	3,0	1,3
Езерище	16,8	11,5	4,4
Мядель	16,2	24,6	6,3
Лисно	15,7	6,1	2,6
Селява	15,0	17,6	6,3
Мястро	13,1	11,3	5,4
Струсто	13,0	23,0	7,3
Ричи	12,8	51,9	10,2
Лосвидо	11,4	20,2	7,2
Лепельское	10,2	33,7	7,3

Водохранилища создаются для использования гидроэнергии, для суходоходных систем и для мелиоративных целей. Обычно для создания водохранилища ставится плотина на реке, и разлившиеся воды заливают часть суши. В водохранилищах часто размываются берега из-за мелководья и появления больших волн от ветра. Самые большие по площади это равнинно-речные водохранилища, но они же и самые мелководные. Горно-речные водохранилища обладают меньшей площадью, но они зато глубоководны. Самая большая глубина водохранилища у плотины и самая меньшая у верхнего речного участка. Учитывая то, что водохранилище несет на себе признаки как речного, так и озерного типа, флора и фауна их тоже занимает промежуточное положение.

На этапе становления экосистемы водохранилища в условиях слабого антропогенного воздействия гидрохимический режим нового

водохранилища незначительно отличается от речного и формируется под действием выщелачивания почв и пород в зависимости от степени подготовки ложа и площади обводнения.

Показатели продуктивности фитопланктона (численность, биомасса, содержание хлорофилла, скорость фотосинтеза) в первые годы после зарегулирования возрастают в соответствии с изменением проточности и колебаниями уровня, за счет поступления органических и биогенных веществ. Максимум биологической продуктивности достигается на третий год существования водохранилища. Трофический статус водоема соответственно меняется от мезотрофного к эвтрофному, а качества воды снижается от II класса к III, от «чистой» до «удовлетворительной чистоты».

На территории Беларуси сооружено около 160 водохранилищ различного хозяйственного назначения. Суммарный полный объем воды, которая задерживается водохранилищами, достигает 3,0 км<sup>3</sup>, а полезный – 1,24 км<sup>3</sup>. Общая площадь водного зеркала акватории водохранилищ составляет 740 км<sup>2</sup> или около 0,4 % территории (табл. 3.46.). Самое крупное из них – Вилейское (63,8 км<sup>2</sup>). С созданием водохранилищ озерность Беларуси увеличилась с 0,6 до 1,4 %.

Таблица 3.46 – Основные характеристики наиболее крупных водохранилищ

Название водохранилища	Площадь зеркала водоема, км <sup>2</sup>
<b>Бассейн реки Западная Двина</b>	
Хоробровка	31,97
Езерищенское	16,90
<b>Бассейн реки Западный Буг</b>	
Беловежская Пуца	3,32
Луковское	5,40
<b>Бассейн реки Неман</b>	
Вилейское	63,80
Зельвенское	11,90
<b>Бассейн реки Днепр</b>	
Заславское	26,86
Осиповичское	11,87
Светлогорское	14,10
Чигиринское	21,19
<b>Бассейн реки Припять</b>	
Краснослободское	23,65
Любанское	22,50
Погост	16,16
Селец	20,70
Солигорское	23,10

К числу искусственных водоемов относятся и пруды, которые аккумулируют местный сток для хозяйственно-бытового водоснабжения и иных целей. Их полный объем не превышает 1 млн. м<sup>3</sup>.

Пруды значительно меньше водохранилищ и служат для рыборазведения, полива и водоснабжения. Помимо этого, есть биологические очистительные пруды, в которых идет очистка промышленных и бытовых сточных вод за счет существующей в этих прудах флоры и фауны. Пруды бывают плотинные, когда ставится плотина на реке или в овраге, помимо этого могут быть копанными. Питание прудов водой идет либо за счет атмосферных осадков, либо за счет ручьев, рек или же грунтовых вод. Вода прудов содержит множество бактерий, до нескольких десятков миллионов в 1 мл. В толще прудовой воды живут одноклеточные зеленые и диатомовые водоросли. Из животных в воде можно встретить инфузорий, коловраток и низших рачков. Прибрежная зона прудов сходна с водохранилищами, но в ней больше червей трубочников, жуков и брюхоногих моллюсков. В пруды из рек могут попадать карась, сазан, карп и линь. Но чаще всего в прудах разводят карпов, толстолобиков, амуров, щуку. На рыбозаводах имеются специальные пруды для разведения молоди осетров, севрюги и других ценных рыб. Для рыбоводства с успехом используют и биологические очистные пруды.

Прудовой фонд Беларуси насчитывает более 1 500 единиц в колхозах и совхозах. Полный объем задержки водных масс в прудах составляет более 0,2 км<sup>3</sup>, площадь водного зеркала – 140 км<sup>2</sup>. Кроме того имеется 19 рыбных хозяйств с полным объемом задержки воды 0,3 км<sup>3</sup> и площадью 179 км<sup>2</sup> (О. С. Шимова, Н. К. Соколовский, 2010).

К особенностям водоемов со стоячей водой следует отнести донные осадки. Донные осадки (сапрпель) – отложения на дне водоемов, которые состоят из органических остатков, смешанных с минеральными осадками. В отличие от гумуса почв, который постоянно участвует в круговороте веществ в экосистеме, донные осадки – достаточно консервативное образование, в круговороте участвует лишь самая верхняя их часть, слой толщиной не более 5 см, а весь остальной детрит (мертвая часть отложений) практически исключается из круговорота. Это, кстати, объясняет феномен самоочищения водоемов: загрязняющие вещества, попав на дно с умершим планктоном, консервируются там и не вовлекаются в круговорот. Значительное накопление органического вещества на дне озер происходит только там, где создается анаэробная зона, в которой бактерии расходуют весь имеющийся кислород и скорость минерализации органического вещества резко снижается. Вероятность возникновения дефицита кислорода

в воде тем выше, чем продуктивнее экосистема. На дне водохранилищ, созданных на реках, интенсивно загрязняемых городами и промышленными предприятиями, могут быть «законсервированы» огромные массы токсичных осадков.

Следующим наиболее ценным ресурсом пресных вод являются подземные воды. В республике естественные ресурсы пресных подземных вод оцениваются в 18,1 км<sup>3</sup>/год (49,6 млн. м<sup>3</sup>/сут.). Они распространены по всей территории Беларуси на глубинах от 100 до 450 м. Значительные ресурсы подземных вод находятся в бассейне Днепра с притоками Березина и Сож – 34,4 %; на бассейн Немана с Вилией приходится 28,2 %, Западной Двины и Припяти – 33,7 %. Наименьшие запасы обнаружены в бассейне Западного Буга и Нарева – 3,7 % суммарных ресурсов пресных подземных вод Беларуси. Всего разведано более 250 месторождений пресных подземных вод с запасами 6,5 млн м<sup>3</sup>/сут, из них для промышленного освоения подготовлено около 200 месторождений с эксплуатационными запасами около 4,6 млн м<sup>3</sup>/сут. (О. С. Шимова, Н. К. Соколовский, 2010).

Из национальных статистических источников известно, что общая площадь водных объектов в Беларуси составляет 415,2 тыс. га (2 % территории). Исключив из этого количества площади водных зеркал озёр, составляющих 200 тыс. га, водохранилищ – 74 тыс. га, прудов – 14 тыс. га, водоемов рыбхозов – 17,9 тыс. га, на площади рек приходится 109,3 тыс. га. При такой площади и общей протяженности рек республики в 90,6 тыс. км можно установить, что их средняя ширина составляет около 12,1 м.

К ресурсам поверхностных вод следует отнести также болота. В Беларуси имеется более 9,0 тыс. болот. До периода осушения площади болот достигали 2,5 млн. га. В результате осушения площади болот сократились на 1,35 млн. га (54 %) и которые стали использоваться в народном хозяйстве. Под болотами в настоящее время сохраняется около 1,15 млн. га. Если данную площадь разделить на численность болот, то их средний размер составляет около 127,8 га.

В результате исследований и измерений установлено, что мощность пласта торфа в болотах колеблется от 0,3 до 10 м, а его влажность достигает 80 % и выше. Среди болот Республики Беларусь наиболее распространены низинные занимающие 81,2 % от всех площадей с мощностью торфа от 1 до 2 метров, поэтому для определения запаса воды в болотах республики можно принять в расчёт толщину торфа 1 м и влажностью 80 % в качестве средних величин. При таких условиях в толще болотной системы республики, занимающей площадь 1,15 млн. га, может аккумулироваться не менее 9,2 км<sup>3</sup> количества воды.

Таким образом, водные ресурсы из всех основных источников в Беларуси формируются приблизительно на уровне  $94,8 \text{ км}^3$ , и которые состоят из воды рек –  $58 \text{ км}^3$ , воды озёр –  $6 \text{ км}^3$ , воды водохранилищ –  $3 \text{ км}^3$ , воды прудов –  $0,2 \text{ км}^3$ , воды рыбхозов –  $0,3 \text{ км}^3$ , пресных подземных вод –  $18,1 \text{ км}^3$  и воды болот –  $9,2 \text{ км}^3$ . В целом по Беларуси возобновляемые ресурсы пресных поверхностных и подземных вод оцениваются как достаточные для удовлетворения потребностей страны, как в настоящий период развития экономической жизни, так и в предстоящей перспективе.

### **3.6.1.1. Производство чистой первичной продукции в водной системе**

Неотъемлемой частью современных гидроэкологических исследований является изучение структуры и функционирования водных экосистем во взаимосвязи с окружающей средой, оценка их экологического состояния, определение трофического статуса и качества воды, изменяющихся под влиянием природных и антропогенных факторов. Фитопланктону принадлежит ведущая роль в функционировании экосистем крупных пресных водоемов. В процессе фотосинтеза водоросли создают основной фонд автохтонного органического вещества, которое вместе с поступающим в водоем аллохтонным органическим веществом обеспечивает энергетическую основу функционирования биологических сообществ (Г. Г. Винберг, 1960). Изучение фотосинтетической продукции фитопланктона необходимо для оценки биологической продуктивности водоемов, для выяснения общих закономерностей биотической трансформации вещества и энергии в водных экосистемах. Исследованиям первичной продукции фитопланктона озер и водохранилищ посвящено большое число работ. Показатели первичной продукции служат индикаторами перестройки структуры и метаболизма сообществ, антропогенного эвтрофирования водоемов, «цветения» воды. На данных по первичной продукции строится современная система трофической классификации вод.

Среди множества задач, решаемых гидробиологией, к одной из главных относят разработку теории биологической продуктивности водоемов и её применение для повышения эффективности хозяйственного использования водных резервуаров (Ю. И. Сорокин, 1963).

Первичная продукция водоемов – результат жизнедеятельности населяющих его растительных организмов – существенно отличается от всех других видов биологической продукции тем, что представляет

собой новообразование органических веществ из минеральных, требующее затраты определенного количества энергии. Первичная продукция наряду с поступающими в водоем аллохтонными органическими веществами составляет материальную и энергетическую основу всех последующих этапов продукционного процесса в водоеме. В этом смысле все последующие стадии продукционного процесса, или звенья пищевых цепей гетеротрофных организмов, представляют собой этапы разрушения, минерализации или деструкции органических веществ, сопровождающиеся потреблением кислорода и рассеянием энергии.

Исследования по проблеме биологической продуктивности водоемов и по настоящее время остаются особенно актуальными в связи с необходимостью использования крупных водохранилищ. Развитие рыбного промысла в морях и необходимость освоения неисчерпаемых пищевых и сырьевых ресурсов океана также требуют изучения глубоких закономерностей продукционного процесса. Наконец, исследования закономерностей биологического продуцирования водоемов и развитие методов изучения биотического круговорота имеют важное значение, как научная база для работ по созданию замкнутых водных экологических систем, превращающих с большой эффективностью лучистую энергию в химическую энергию органических веществ – источников питания. Такие работы в настоящее время широко развернуты во многих странах для решения задач получения высокой продукции растительного и животного белка на небольших площадях.

В основе процесса биологического продуцирования в большинстве водоемов лежит первичная продукция фотосинтеза фитопланктона. Поэтому изучение первичной продукции составляет важнейшую область гидробиологических исследований. Многие исследователи биологическую продуктивность в целом не сводят к одной только первичной продукции, или наоборот – только к накоплению конечного продукта. Считают, что биологическая продуктивность – это результат жизнедеятельности всех организмов, населяющих водоем. Конечный эффект продукционного процесса зависит не только от величины первичной продукции, но, также и от условий ее реализации в пищевых цепях, от того, какие промежуточные звенья, в каком числе и в какой степени участвуют в превращениях энергии, накопленной в продуктах фотосинтеза. Поэтому для познания закономерностей биологической продуктивности водоемов требуется проведение сложного комплекса фаунистических, экологических и физиологических работ (Ю. И. Сорокин, 1963).

В настоящее время гидробиологию наиболее принято рассматривать как науку, изучающую жизнь в гидросфере в экологическом

плане. Выделение гидробиологии в самостоятельную дисциплину обусловлено особенностями водной среды, накладывающей характерный отпечаток на жизнь ее обитателей, а также необходимостью применения в отношении водного населения приемов экологического изучения, отличающихся от тех, какие используются на суше. Будучи наукой экологической, гидробиология изучает водное население в единстве с его средой, как живой компонент «блоков» биосферы–биогеоценозов, или экосистем. На первых этапах своего существования гидробиология наибольшее внимание уделяла экологическому изучению отдельных организмов. Такое аутоэкологическое направление сохранилось и в современной гидробиологии, но уже занимает подчиненное положение. На первый план выдвинулись демэкологические и синэкологические исследования, то есть изучение популяций гидробионтов и гидробиоценозов как целостных систем, как надорганизменных форм живой материи, обладающих определенной структурой, функциями и характером взаимодействия с окружающей средой. Применительно к отдельным организмам гидробиология ограничивается изучением их взаимодействия с окружающей средой, то есть выяснением их функциональной роли в природе без анализа морфологии и физиологии самих организмов (поскольку этим занимаются специальные науки). Иной подход потребовался к демэкологическим и синэкологическим исследованиям, так как специальных наук, изучающих морфологию и физиологию надорганизменных систем, нет. Поэтому при демэкологических и синэкологических исследованиях гидробиологи изучают не только функциональную роль популяций и биоценозов в природе, но также выясняют их структуру и внутрисистемные взаимосвязи. Недостаточная изученность надорганизменных систем связана с тем, что концепция иерархии уровней организации живой материи, представляющая собой крупнейшее завоевание современной биологии, довольно четко сформировалась только в самое последнее время. Вместе с тем сейчас стало совершенно ясно, что главный путь к управлению живой природой лежит через познание закономерностей существования и взаимодействия надорганизменных систем, для чего необходимо их изучение в структурном и функциональном отношении. По этой причине оно стало центральной задачей современной экологии и соответственно гидробиологии. Комплексное изучение экосистем как блоков биосферы представляет собой задачу особой науки – биогеоценологии.

Изучая живые организмы гидросферы, исследования в гидробиологии направлены на то, как получить от них пользу наибольшей, а вред – наименьшим. Другими словами, она разрабатывает научные

основы биологически рационального пользования водоемов гидросферы.

Другое направление использования гидробиологических знаний – научное обоснование прогнозов возможных изменений состояния биологических параметров гидросферы, без которых немислимо перспективное планирование эксплуатации водоемов. Третье направление практического использования результатов гидробиологических исследований представляют собой работа по регулированию состава и численности водного населения, работа по активной перестройке фауны и флоры водоемов в интересах человека, а также охрана водных экосистем от нежелательных воздействий, угроза которых непрерывно возрастает по мере развития цивилизации. Специфический метод гидробиологии как науки экологической состоит, прежде всего, в количественном учете живых организмов водоемов, их структуры и функциональной роли отдельных видов в биоценозах. Применительно к отдельным организмам количественный учет позволяет составить представление об их аутоэкологических особенностях. Например, на основании различия в численности особей на смежных участках разного грунта нередко можно судить о том, какому из них организмы отдают предпочтение, то есть какой из них в наибольшей степени удовлетворяет их жизненные потребности. Аналогичным путем, используя результаты количественного учета гидробионтов, выясняют их отношение к другим элементам своего окружения. Определяя численность и биомассу (суммарный вес) особей, встречающихся в изучаемом участке водоема, судят о структуре популяций и биоценозов, их динамике во времени и пространстве. Подводные телевидение, фотографирование и эхолокация, а также визуальные наблюдения, выполняемые с помощью аквалангов, подводных лодок и батискафов, дополняют арсенал средств, с помощью которых получают представление о структуре популяций и биоценозов водных организмов.

Для оценки функциональной роли водного населения в природе в гидробиологии весьма часто используется энергетический принцип. С этой целью определяют количество энергии, поступающей на вход живых систем, рассеиваемой ими в процессе жизнедеятельности и накапливаемой в образуемом органическом веществе. Учет мощности энергопотока, проходящего через организмы, популяции и биоценозы, основывается на использовании многих биохимических, биофизических, физиологических и других методов (определение величины фотосинтеза, дыхания, калорийности органического вещества, темпа и характера его деструкции, трансформации энергии в процессе питания и др.). Современные средства математического анализа, включая

компьютерную технику, используются для создания схем, моделирующих основные процессы, протекающие в популяциях и биоценозах гидробионтов. Конечная практическая задача гидробиологии сводится к нахождению тех форм отношения людей к населению гидросферы, при которых польза от последнего была бы наибольшей, а вред – наименьшим. Прежде всего, это связано с повышением биологической продуктивности водоемов, получением из них наибольшего количества биологического сырья, в частности используемого для обеспечения людей пищей. Вторая не менее важная задача гидробиологии состоит в поиске мер обеспечения людей чистой водой, поскольку потребность в ней с ростом цивилизации непрерывно увеличивается, а имеющиеся природные запасы истощаются, особенно в результате загрязнения водоемов. Немаловажное значение имеет гидробиология в разработке биологических основ борьбы с водными организмами, создающими помехи в навигации, промышленности, сельском хозяйстве, а также вредными в медицинском или ветеринарном отношениях. Гидробиологи принимают участие в проектировании искусственных водных экосистем, используемых для обеспечения людей кислородом и пищей в космических кораблях и создаваемых для очистки питьевых и сточных вод, или в некоторых других целях. В соответствии с необходимостью решения того или иного вопроса в гидробиологии сформировались отдельные, хорошо отграничивающиеся друг от друга направления. Продукционная гидробиология изыскивает пути получения устойчивых высоких урожаев биологического сырья с водных угодий, пути расширенного воспроизводства сырьевой базы промысла и биологически рациональной организации последнего. Санитарная гидробиология изучает процессы загрязнения и самоочищения водоемов, токсическое действие отдельных веществ на гидробионтов, их популяции и биоценозы, (водная токсикология) биологические основы водоснабжения и очистки сточных вод, меры борьбы с цветением и зарастанием водоемов. Изучением создаваемых гидробиосом помех при эксплуатации различных гидротехнических сооружений, промышленных установок и водоводов занимается техническая гидробиология. Навигационная гидробиология решает круг проблем, связанных с мореплаванием. Задача сельскохозяйственной гидробиологии сводится к выяснению роли и регуляции водного населения на участках возделывания полуводных культур, в частности риса. Особое медико-ветеринарное направление в гидробиологии сложилось в связи с необходимостью снижения численности гидробионтов, имеющих патогенное или паразитологическое значение, – переносчиков малярии, промежуточных хозяев различных гельминтов,

личинок ряда кровососов (комаров, мошек) и др. В последнее время в гидробиологии стало развиваться направление, связанное с космонавтикой, которое разрабатывает проблему обеспечения космонавтов кислородом и пищей за счет культивирования водорослей в биологических реакторах с самонастраивающимся или протекающим по определенной программе режимом. Специфические объекты, метод и задачи исследования хорошо отграничивают гидробиологию от других смежных с нею дисциплин, но вместе с тем она тесно контактирует с ними. На аутоэкологической ступени своих исследований гидробиология в первую очередь опирается на данные таких наук, как систематика, морфология, физиология, которые в свою очередь не могут успешно развиваться в отрыве от экологии водных организмов. Популяции и биоценозы водных организмов изучают в тесном контакте с гидрологическими науками и гидрогеологией, соответственно занимающихся исследованием морей, озер, рек и подземных вод комплексно, со всех точек зрения, в том числе и в биологическом аспекте. Гидрология заимствует у гидробиологии сведения, необходимые для объяснения массовых явлений, проходящих в водоеме с участием его населения. Гидробиология пользуется данными гидрологии о состоянии абиотической среды при изучении закономерностей существования гидробионтов, их популяций и биоценозов. Исследуя водные биоценозы в рамках экосистем, гидробиология сближается с геохимией и биогеоценологией, изучающей жизнь и ее проявления в биосфере. Геохимическая характеристика круговорота веществ в природе и данные о структуре биосферы помогают гидробиологии правильнее понять закономерности существования биоценозов, знание функциональной роли которых в природе в свою очередь необходимо для развития геохимии и биогеоценологии. Поскольку современная жизнь выдвигает задачу комплексного хозяйственного использования водоемов как национального богатства, гидробиологам приходится контактировать в своей работе с представителями самых разнообразных учреждений (инженерных, экономических, санитарных и др.).

Гидробиология как экологическая наука, прежде всего, исходит из представления о том, что организмы и другие живые системы не могут существовать без окружающего их внешнего мира. Внешний мир остается объективной реальностью вне зависимости от присутствия или отсутствия в нем тех или иных живых тел. Среда – это совокупность тех элементов внешнего мира, с которыми особи вида связаны прямыми приспособительными отношениями. Например, растворенный в воде кислород – элемент среды рыб, адаптированных к его потреблению, но не водных млекопитающих, хотя косвенно влияет

на них. Из большого числа природных тел и явлений, составляющих внешний мир, только некоторая их часть образует среду особей того или иного вида. Среда организмов двух или нескольких видов может совпадать или различаться в неодинаковой степени. То же самое справедливо в отношении среды одного организма на разных стадиях развития. В случае исчезновения из водоема организмов он перестает быть для них средой. Вместе с тем водоем может рассматриваться в качестве возможной среды для отсутствующих в нем организмов, в частности тех, которые предполагаются в качестве объектов акклиматизации. Зная жизненные потребности акклиматизируемых организмов и свойства водоема, можно составить правильное представление о последнем как благоприятной или неблагоприятной среде для предполагаемых к вселению гидробионтов. Следует отметить, что многие экологи понимают под средой все элементы внешнего мира, прямо или косвенно влияющие на организм. Элементы среды, оказывающие то или иное непосредственное влияние на существование населения, называются факторами воздействия, или просто факторами. По своей природе они могут быть разделены на абиотические – физико-химические воздействия мертвой среды, биотические – воздействия одних элементов населения на другие и антропогенные – влияния человека на живую природу (как сознательные, так и невольные), сопутствующие развитию цивилизации. В одних случаях факторы среды могут иметь небольшую амплитуду изменчивости (например, температура, соленость и плотность воды морских глубин), в других – значительно большую (те же самые свойства морской воды, но не в глубине, а у поверхности). Различные виды могут существовать только в определенном пределе изменчивости отдельных элементов среды.

Для гидробиолога популяции и биоценозы представляют интерес, прежде всего, как системы, производящие нужные человеку организмы и определяющие качество потребляемой им воды. С этой точки зрения наиболее важной характеристикой надорганизменных систем служат их продукционные свойства – эффективность трансформации исходной энергии и количество полезных продуктов, образующихся в процессе круговорота веществ и способных изыматься из него без разрушения систем, в пределах их саморегуляционных возможностей. Сопоставление энергии, проходящей через популяцию или биоценоз, с той, которая запасается в продуктах, интересующих человека, дает представление об эффективности этих систем как производителей биологического сырья. Энергия, рассеиваемая популяциями или биоценозами, характеризует величину их минерализационной деятельности, которая лежит в основе биологического самоочищения водоемов.

В известных пределах термодинамический принцип вполне может быть применен к решению обеих основных задач гидробиологии – повышению биологической продуктивности водоемов и обеспечению чистоты природных вод. Использование в гидробиологии энергетического принципа, впервые в широком масштабе осуществленное Р. Линдемманом в 1942 году, заслуживает особого внимания, так как позволяет в единых сопоставимых единицах выражать результаты биологических процессов, протекающих в водных экосистемах. Помимо этого, энергетический подход с использованием понятий и терминов термодинамики усиливает количественный подход к решению биологических задач и облегчает широкое применение современных средств математики для анализа получаемых результатов.

Известно, что водную систему пресных вод разделяют на водоёмы стоячих и проточных вод. Водоёмы стоячих вод более разнообразны, так как в них шире пределы изменения условий, определяющих состав гидробиоты и ее продукцию. Условия зависят от глубины водоема, химического состава воды, степени зарастания водоема. В водоёмах проточных вод большую роль играет скорость течения и различен состав гидробиоты на перекатах и плесах.

В функционировании пресноводных и наземных экосистем выделяют три главных отличия:

- круговорот углерода в экосистеме водоема протекает быстро – всего за несколько месяцев, в то время как в экосистеме степи он составляет 3–5 лет, а леса – десятки лет;

- биомасса продуцентов в водной экосистеме всегда меньше, чем их биологическая продукция за весь вегетационный период. В наземных экосистемах – наоборот, биомасса больше, чем продукция (в лесу – в 50 раз, на лугу и в степи – в 2–5 раз);

- биомасса планктонных животных больше биомассы растений (водорослей). В наземных экосистемах биомасса растений всегда больше биомассы фитофагов, а биомасса фитофагов – больше биомассы зоофагов.

Следует добавить, что водные экосистемы более динамичны, чем наземные. Они меняются в течение суток – зоопланктон к ночи собирается ближе к поверхности водоема, а в период, когда вода просвечивается солнцем и прогревается, опускается в глубину. Меняется характер экосистем по сезонам года. Во второй половине лета при высоком содержании элементов питания озера «цветут» – там массово развиваются микроскопические одноклеточные водоросли и цианобактерии. К осени биологическая продукция фитопланктона снижается, а макрофиты опускаются на дно.

Изменяются экосистемы озер от года к году в зависимости от особенностей климата и соответственно количества воды, которая поступает в озеро весной и летом (и от ее качества, то есть содержания в ней элементов минерального питания, органических веществ, твердых минеральных частиц и др.). В сухие годы озера мелеют, состав рыбного населения обедняется при заморах.

В водных экосистемах выделяют три группы организмов: продуцентов – фитопланктон и фитобентос, консументов – зоопланктон и зообентос – и редуцентов – бактериопланктон и бактериобентос. Питаясь друг другом, живые организмы образуют цепи питания, по которым передается энергия, заключенная в пище. Основу цепи питания или трофической пирамиды составляют первичные продуценты. В водной экосистеме это водоросли, которые дают органическое вещество для формирования второго трофического уровня – беспозвоночных консументов, которые, в свою очередь, являются пищей для рыб – верхнего звена трофической пирамиды водных объектов.

Экосистемы подвержены непрерывным изменениям. Внутри экосистем постоянно протекают процессы разрушения и новообразования благодаря циклическим и поступательным изменениям. К циклическим или периодическим относятся суточные, сезонные, многолетние изменения в биоценозе, при которых биоценоз возвращается к исходному состоянию.

Суточные циклы связаны с изменением освещенности, температуры, влажности и других экологических факторов в течение суток и наиболее резко выражены в условиях континентального климата. Суточные ритмы проявляется в изменении состояния и активности живых организмов. Сезонная цикличность связана с изменением экологических факторов в течение года и наиболее сильно выражена в высоких широтах, где велик контраст зимы и лета. Сезонная изменчивость проявляется не только в изменении состояния и активности, но и количественного соотношения отдельных видов.

Многолетняя изменчивость связана с флуктуациями климата или другими внешними факторами, солнечным циклом и др.

К поступательным изменениям относятся смены одного сообщества на другое. Результатом поступательного изменения является сукцессия, приводящая к смене биоценозов или экосистем. Сукцессии различают первичные и вторичные. Первые характеризуют становление и развитие экосистем во вновь образуемых прудах, водохранилищах, вторые – постепенное изменение длительно существующих экосистем (зарастание прудов и образование болот и др). Сукцессионные изменения происходят до тех пор, пока не сформируется стабильная

экосистема, производящая максимальную биомассу на единицу энергетического потока. На основе конкурентных взаимодействий видов в ходе сукцессии происходит постепенное формирование более устойчивых комбинаций, соответствующих конкретным абиотическим условиям среды.

Крайне слабо или вовсе не выражена сукцессия в реках. Основная масса продуктов вегетации и обмена речных биоценозов уносится течением и не изменяет исходных условий.

Поступательные и циклические изменения в экосистемах сопровождаются изменением суммарной биомассы экосистемы. В результате роста и размножения гидробионтов в водоемах происходит непрерывное новообразование биомассы, которое называют биологической продуктивностью, а органическое вещество, создаваемое в экосистемах в единицу времени, – биологической продукцией.

Различают первичную и вторичную биологическую продукцию сообщества. К первичной продукции относится биомасса, созданная продуцентами за единицу времени. Её делят на валовую и чистую. Валовая первичная продукция – это суммарная продукция фотосинтеза, созданная растениями. Это вся химическая энергия в форме произведенного органического вещества. Если изъять ту часть энергии, которая тратится растениями на дыхание (40–70 % валовой продукции) и расходуется на поддержание жизнедеятельности растений, то оставшаяся часть валовой первичной продукции составляет чистую первичную продукцию, которая в дальнейшем используется консументами и редуцентами. Она легко поддается учёту. Для этого достаточно собрать, высушить и взвесить растительную массу водоёма.

Биологическая продуктивность водоема зависит в первую очередь от фотосинтетической деятельности автотрофных организмов и различна в разных водоемах. По уровню продуктивности природные водоемы разделяют на дистрофные (непродуктивные), олиготрофные (малопродуктивные), мезотрофные (среднепродуктивные) и эвтрофные (высокопродуктивные). Разделение или классификация водоемов по их продуктивности (трофности) применяется для всех природных водоемов. Во многом трофический уровень водных экосистем зависит от содержания в воде биогенов – растворенных минеральных веществ, являющихся удобрением для водных растений, к которым относятся, прежде всего, соединения фосфора и азота.

Дистрофные водоемы, как правило, с небольшим количеством питательных веществ, бедные растительным планктоном, обычно с водой, окрашенной в желтый или коричневый цвет. Олиготрофные водоёмы – водоёмы с невысоким уровнем первичной продукции.

Максимальная первичная продукция олиготрофных водоёмов составляет  $0,1-0,3 \text{ г С/м}^2$  в сутки или  $1,0-3,0 \text{ ккал/м}^2$ . К олиготрофным водоёмам относят обычно озёра и горные реки с холодной, насыщенной кислородом, бедной биогенными элементами, прозрачной водой. Пресные олиготрофные водоёмы ценны как источник чистой воды. Мезотрофные водоёмы – водоёмы со средним уровнем первичной продукции, к которым относятся некоторые озёра и водохранилища. Максимальная первичная продукция мезотрофных озёр  $0,3-2,0 \text{ г С/м}^2$  в сутки или  $3,0-20,0 \text{ ккал/м}^2$ . Фитопланктон в мезотрофных водоёмах развит хорошо, состав гидробионтов отличается разнообразием.

Эвтрофные водоёмы – водоёмы с высоким уровнем первичной продукции. В море это обычно прибрежные воды и зоны апвеллинга, богатые биогенными элементами. К эвтрофным, а часто и к высокоэвтрофным относят зоны эстуариев и лиманов, где концентрация биогенных элементов особенно высока. Первичная продукция таких вод составляет до  $5 \text{ г С/м}^2$  в сутки или до  $50,0 \text{ ккал/м}^2$ . Из континентальных водоёмов эвтрофны неглубокие озёра, водохранилища и пруды с развитой прибрежной растительностью, в которых часть образующегося органического вещества накапливается в донных отложениях и, окисляясь, вызывает недостаток кислорода в придонных слоях воды и заморы. Фитопланктон развит хорошо и количественно богат. В эвтрофных водоёмах часто возникает «цветение» воды, вызываемое массовым развитием сине-зелёных и других водорослей.

В Мировом океане величина первичного продуцирования в различных участках колеблется от нескольких миллиграммов до десятых долей грамма углерода в день на  $1 \text{ м}^2$  и в основном определяется степенью перемешиваемости вод (вынос в поверхностный слой биогенов). Перемешиваемость, в свою очередь, сильно зависит от выраженности вертикальных плотностных градиентов. Поэтому в ряде случаев величина первичной продукции находится в обратной зависимости от разности плотностей воды по вертикали, хотя иногда, высокая перемешиваемость вод может тормозить развитие водорослей (вынос за пределы фотического слоя). Условия и величина первичного продуцирования в разных районах Мирового океана сильно варьируют. И. Райтер по продуктивности выделяет три зоны Мирового океана: открытые районы, прибрежные воды и апвеллинги. Чистая продукция этих вод в среднем равна (соответственно)  $50, 100$  и  $300 \text{ г С/м}^2$  ( $500, 1\ 000$  и  $3\ 000 \text{ ккал/м}^2$ ) в год. По более детализированной схеме выделяют пять зон: олиготрофные воды центральной части субтропических халистических областей ( $70 \text{ мг/С м}^2$  в сутки, всего  $3,8$  млрд. т С в год), переходные зоны между субтропическими и субполярными

зонами, а также периферия экваториальных дивергенций ( $140 \text{ мг/С м}^2$ , всего 4,2 млрд. т), воды экваториальных дивергенций и океанических районов субполярных зон ( $200 \text{ мг/С м}^2$ , всего 6,3 млрд. т), прибрежные воды ( $340 \text{ мг/С м}^2$ , всего 4,8 млрд. т) и неритические воды ( $1 \text{ г/С м}^2$ , всего 3,9 млрд. т). Суммарная величина чистой первичной продукции Мирового океана оценивается неодинаково. И. Райтер принимает ее равной 15–18 млрд т в год. О. И. Кобленц-Мишке и др. оценивают ее в 15–18 млрд. т (валовую – в 25–30 млрд. т), А. А. Ничипорович – в 27 млрд. т сухого вещества, то есть около 13–14 млрд. т углерода, Е. Стеман-Нильсон – в 18–23 млрд. т углерода. В одной из последних сводок величина чистой первичной продукции Мирового океана оценивается в 55 млрд. т сухого вещества, для суши – в 115 млрд. т. Таким образом, на суше она примерно в 2 раза, а в пересчете на единицу площади в 5 раз выше, чем в гидросфере, хотя по фитомассе континенты превосходят Мировой океан примерно в 7–10 тыс. раз. В последнее время валовая первичная продукция Мирового океана оценивается более высоко. На основании изучения динамики концентрации кислорода в эвфотической зоне В. Н. Иваненков получил величину 60–70 млрд. т С, по данным о биомассе и продукции зоопланктона В. Б. Цейтлин определяет ее в 80 млрд. т С, ту же величину (70–90 млрд. т С) Ю. И. Сорокин считает минимальной, исходя из данных по деструкции органического вещества в Мировом океане.

В пересчете на  $1 \text{ м}^2$  средняя за год валовая продукция для Мирового океана в целом по оценкам разных авторов колеблется в пределах от 50 до 250 г. Поскольку годовое падение радиации на Мировой океан равно  $18 \cdot 10^{23} \text{ Дж}$  ( $429,8 \cdot 10^{18} \text{ ккал}$ ) (Гюнтер и др., 1982), степень ее использования на фотосинтез лежит в границах 0,03–0,12 %. В пересчете на ФАР эти величины можно удвоить. Для сравнения следует отметить, что коэффициент использования ФАР естественным растительным покровом суши, в среднем равен 0,86 %.

Заметно выше, чем в Мировом океане, темп продуцирования органического вещества в наземных водоемах. Первичная продукция водоемов, поверхность которых освещается в сходной степени, может различаться в десятки и сотни раз. Скорость фиксации солнечной энергии определяет продуктивность биоценозов. Продуктивность – скорость прироста биомассы. Ее обычно относят к определенному периоду и площади, например, к году и гектару. Она зависит от видового состава растений в водоеме, их количества, оптических свойств воды, концентрации биогенов, температуры. Поскольку с продвижением вглубь освещенность снижается, а концентрация биогенов возрастает, вертикальное распределение первичной продукции имеет два

максимума. Один максимум наблюдается вблизи поверхности за счет оптимума освещенности, второй – на некоторой глубине, где имеется много биогенов и необходимый минимум освещенности.

В эвтрофных озерах мира среднесуточная чистая продукция составляет 600–8 000 мг/С м<sup>2</sup>, в мезотрофных – 250–1 000, в олиготрофных – 50–300, в ультраолиготрофных – менее 50 мг/С м<sup>2</sup>. Высокий уровень первичного продуцирования в континентальных водоемах объясняется большим поступлением биогенов с суши и перемешиваемостью воды. Благодаря циркуляции, часто охватывающей в те или иные сроки всю водную массу озер, происходит значительная мобилизация биогенов из донных отложений. Содержание соединений фосфора в грунтах эвтрофных озер может достигать нескольких сотен граммов на 1 м<sup>2</sup> дна и в десятки раз превышать их количество, растворенное в столбе воды на 1 м<sup>2</sup> дна. Еще больше в грунтах соединений азота. Поэтому взаимодействие между водной толщей и донными отложениями, протекающее в озерах, гораздо интенсивнее, чем в Мировом океане, сказывается дополнительным фактором, благоприятствующим существованию фитопланктона и увеличению его продукции. В очень глубоких озерах первичная продукция становится заметно меньшей, особенно если поверхностный сток по сравнению со всей водной массой озера невелик. Довольно четко прослеживается повышение первичной продукции озер с продвижением к экватору. Чистая годовая продукция тропических озер составляет 30–2 500 г С/м<sup>2</sup>, среднеширотных – 2–950, арктических – 1–35, антарктических – 1–10 г С/м<sup>2</sup>. В северных озерах она составляет 3–10 г С/м<sup>2</sup>, в средней полосе – 50–100 и в южных районах – до 200–300 г С/м<sup>2</sup> за год. При одной и той же прозрачности воды с продвижением в высокие широты глубина эвфотического слоя резко снижается и уменьшается отношение максимальной скорости фотосинтеза в единицах объема воды к фотосинтезу под единицей поверхности. Например, при равной прозрачности воды в озерах Круглое (Заполярье) и Баторин рассматриваемое соотношение для первого водоема примерно в 5 раз ниже, чем для второго; сходная картина прослеживается и при сравнении северных озер Зеленецкого, Акулькино и Круглого с белорусскими озерами Нарочь и Мясро. В реках и водохранилищах вследствие низкой прозрачности воды первичная продукция обычно ниже, чем в эвтрофных и мезотрофных озерах. Например, в Рыбинском водохранилище она равна 50 г С/м<sup>2</sup>, в Волгоградском – 100, в Киевском – 167 г С/м<sup>2</sup> в год. В некоторых мутных водохранилищах суточная продукция не превышает 20–30 мг С/м<sup>2</sup> за сутки, нередко понижаясь до нескольких миллиграммов.

По мнению некоторых исследователей, оценка первичной продукции водоемов во многом зависит от методов ее определения, поэтому часто бывает заниженной.

Водные растения образуют особую экологическую группу гидрофитов. Многие виды водных растений имеют ограниченный ареал распространения, большинство из них приурочены к водоёмам одинакового режима. Среди растений, свободно плавающих в водоёмах, распространены пузырчатка, водокрасы, элодея канадская, сальвинии, роголистники, ряски и др. Водные растения, прикрепленные ко дну водоёма, могут быть не связаны с воздушной средой (заникеллия и наяда) или выносить на поверхность только цветки и соцветия (лютики водяные, урути, валлиснерия спиральная). Ряд прикрепленных растений (большинство кувшиновых, плавающий рдест, водяной орех или чилим, водная форма горца земноводного) имеют плавающие листья. К земноводным и прибрежным растениям относятся частуха подорожниковая, сусак зонтичный, стрелолист обыкновенный, тростник обыкновенный, хвощ приречный, виды рода рогоз, многие виды камыша, осок, болотниц.

В водоёмах с пологими берегами растительность располагается поясами. У самого берега – пояс земноводных растений; затем – тростниково-камышовый пояс, пояс кувшинок, пояс рдестов и т. п. Многие водные растения (рогоз, камыш, осоки) образуют обширные заросли. Во всех природных зонах большие площади занимают заросли тростника обыкновенного, особенно велики они в дельтах южных рек.

Водные растения ослабляют волнение воды, гасят скорость течения, препятствуют перемещению ила и минеральных частиц, регулируют газовый состав воды, участвуют в торфонакоплении. Пресноводная растительность способствует естественной очистке водоёмов. Заросли водных растений – места обитания и кормовые угодья многих птиц и промысловых зверей.

Большое значение в жизни водоёмов имеют водоросли. В триаде организмов, осуществляющих круговорот веществ в природе (продуценты – консументы – редуценты), фитобентос вместе с автотрофными бактериями и высшими растениями составляют звено продуцентов, за счет которого существуют все остальные бесхлорофилльные нефотосинтезирующие организмы нашей планеты. Основной вклад в общую продукцию органического углерода на Земле принадлежит водорослям, обитающим в воде, где их место и роль в биоценозах сравнимы с таковыми высших растений на суше. Согласно оценкам разных ученых вклад фитобентоса в общую продукцию органического углерода на нашей планете составляет от 26 до 90 %.

Фитобентос (от греч. *phyton* – растение, *bénthos* – глубина) – совокупность растительных организмов, обитающих на грунте и в грунте морских и материковых водоёмов. По размерам фитобентос делят на крупные (макробентос), средние (мезобентос) и мелкие (микробентос). Применяется также термин мейобентос – мелкий фитобентос без бактерий.

В состав растительного бентоса пресных водоемов входят бактерии, диатомовые и зеленые (харовые и нитчатки) водоросли, а также многочисленные прибрежные растения, располагающиеся в направлении от берега ясно выраженными поясами. Первый пояс состоит из полупогруженных растений (тростника, камыша, рогоза, осок и др.); второй – из погруженных растений с плавающими на поверхности воды листьями (кувшинки, кубышки и др.); третий пояс – из погруженных растений, у которых обычно только цветки поднимаются над водой (большой частью рдестов, элодеи и др.). В подавляющем большинстве это микроскопические формы. Повсеместно распространенные пресноводные макрофиты – кладофора сборная (*Cladophora glomerata*), водяная сеточка (*Hydrodictyon reticulatum*), энтероморфа кишечница (*Enteromorpha intestinalis*), а также самые крупные из них – харовые водоросли, или лучицы. Водяная сеточка обычно предпочитает воды с достаточно высоким содержанием азота. Харовые образуют плотные заросли в прудах и озерах с известковой водой. Наиболее распространенные виды среди последних – хара зловонная (*Chara foetida*) и нителла заостренная (*Nitella mucronata*). Из часто встречающихся сине-зеленых водорослей, образующих крупные колонии, следует назвать носток сливовидный (*Nostoc pruniforme*) и глеотрихию плавающую (*Gloeotrichia natans*).

На мелководье фитобентос образован высшей водной растительностью и водорослями, в глубоководной части представлен одними водорослями. К микрофитобентосным организмам относятся водоросли, приспособленные к существованию в прикрепленном или неприкрепленном состоянии на дне водоемов и на разнообразных предметах, живых и мертвых организмах, находящихся в воде. Преобладающими бентосными водорослями континентальных водоемов являются представители отдела *Bacillariophyta*, тогда как синезеленые и зеленые значительно уступают диатомовым по видовому разнообразию.

Не меньшее значение имеет также то, что в водной среде фитобентос являются продуцентами свободного кислорода, необходимого для дыхания водных организмов, как животных, так и растений. Аэробный тип дыхания преобладает в энергетике водных экосистем, а содержание кислорода в воде нередко намного ниже нормального, что

определяет важнейшую роль фитобентоса как продуцентов органической пищи и кислорода в водных экосистемах. От их жизнедеятельности в значительной степени зависит общая биологическая продуктивность водоемов и их рыбопродуктивность. Являясь источником пищи и кислорода, заросли фитобентоса в Мировом океане служат пристанищем и защитой для многочисленных видов животных, местом нереста рыб.

Фитобентос, кроме того, играют большую роль в общем балансе кислорода. Вклад наземной растительности не дает длительной чистой прибавки к глобальному балансу кислорода, так как на суше высвобождаемый при фотосинтезе кислород расходуется примерно в таком же количестве микроорганизмами, разлагающими органический опад. В водоемах же разложение отмерших организмов идет в основном на дне анаэробным путем. Водоемы служат регулятором баланса кислорода атмосферы. Этому способствует и то, что содержание кислорода в самом верхнем слое воды, активно участвующем в обмене, может быть в 2–3 раза выше, чем в воздухе.

Фитобентос является источником разнообразных химических соединений, выделяемых в окружающую среду, в том числе биологически активных веществ. Оказывая регуляторное воздействие на развитие других организмов, он участвует в процессах формирования гидробиоценозов, влияют на органолептические показатели воды, на формирование качества природных вод. Обогащая воду кислородом, необходимым для жизнедеятельности аэробных бактерий, водных грибов и других организмов – активных агентов самоочищения загрязненных естественных вод, многие виды фитобентоса вместе с тем принимают непосредственное участие в утилизации некоторых органических соединений, солей тяжелых металлов, радионуклидов. С другой стороны, при массовом развитии фитобентос может быть причиной вторичного биологического загрязнения и интоксикации природных вод.

Движение воды оказывает многообразное действие на различные стороны жизни бентосных водорослей. Во-первых, усиливается поглощение водорослями биогенных веществ за счёт того, что в местах с постоянным течением или волнами вода непосредственно около водорослей непрерывно обновляется с большой скоростью. Одновременно фотосинтез усиливается в два раза, а дыхание – на 30–50 %. Движение воды предотвращает оседание на скалы и камни илистых частиц, которые мешают закреплению зачатков водорослей.

Существует определённая связь между размерами водорослей, размером частиц грунта, к которым они прикрепляются, и интенсивностью движения воды. На песке и иле способно расти относительно

небольшое число макроскопических водорослей. Как правило, чем крупнее взрослое слоевище водоросли и чем сильнее движение воды, тем больших размеров должны быть камни, на которых они растут.

Интенсивному развитию бентосных водорослей способствует умеренное содержание в воде биогенных веществ. Источниками биогенов в воде служат береговые стоки и донные отложения, особенно велика роль последних как аккумуляторов органических остатков. В донных отложениях в результате жизнедеятельности бактерий и грибов происходит минерализация органических остатков; сложные органические вещества переходят в простые неорганические соединения, доступные для использования фотосинтезирующими растениями. Наиболее благоприятны для развития бентосных водорослей места с отложением органических остатков на небольших глубинах с достаточным освещением, твёрдыми грунтами и слабым движением воды. Здесь продукты минерализации быстро вовлекаются в процесс фотосинтеза, а слабое движение воды способствует их переносу от донных отложений в заросли водорослей и способствует обогащению придонной воды кислородом, что препятствует появлению в ней сероводорода, губительного для живых организмов.

Многообразное влияние на жизнь бентосных водорослей оказывает температура. Наряду с другими факторами она определяет скорость роста, темп и направление развития бентосных водорослей, момент закладки у них органов размножения. Температура воды влияет и на глубину произрастания бентосных водорослей. При уменьшении температуры интенсивность дыхания ослабевает быстрее, чем интенсивность фотосинтеза. Это приводит к тому, что компенсационная точка устанавливается при меньшей освещённости, то есть на большей глубине. Температура оказывает влияние на поширотное географическое распространение водорослей. В первую очередь её действие проявляется косвенным путём – в ускорении или замедлении темпов роста и развития отдельных видов, что ведёт к вытеснению одних водорослей другими.

Количество водорослей, а, следовательно, и составляющая ими биомасса значительно колеблется в течение года и в разных водоемах, особенно в планктоне. Если в  $1 \text{ см}^3$  воды содержится только 3 водоросли, что соответствует бедному фитопланктону, то уже в  $1 \text{ м}^3$  получается 3 млн. особей.

Даже в арктических морях с неблагоприятными температурными условиями, весной в  $1 \text{ м}^3$  воды верхних слоев моря насчитывается от 20 до 30 млн. особей планктонных водорослей. Естественно, в больших пресноводных хорошо прогреваемых водоемах развитие планктонных водорослей происходит еще более интенсивно, поэтому

«цветение» воды в них в летнее время представляет собой обычное явление. Так, например, по наблюдениям на водохранилищах, при летнем «цветении» воды сине-зелеными водорослями в  $1 \text{ см}^3$  ее нередко содержится 1 млн. клеток, а это значит, что в  $1 \text{ м}^3$  уже 1 000 млрд. клеток. В случаях особо сильного «цветения», как это наблюдается, например, в каскаде днепровских водохранилищ, в прибрежной и мелководной зонах водоемов могут возникать скопления водорослей, подобные густой каше. «Цвести» могут не только пруды, озера и другие пресные водоемы, но и моря, преимущественно в бухтах и заливах, подчас на огромных пространствах. В разгар лета в Азовском и Балтийском морях вода «цветет» сине-зелеными водорослями, поэтому море производит впечатление темно-зеленого луга. В Азовском море, когда осенью «зацветает» вода диатомеями, море кажется тихим болотом с темно-коричневой водой и характерным болотным запахом.

О способности водорослей создавать органическую массу судят по её биомассе – количеству органического вещества в живых организмах на единицу поверхности или объема жизненной среды. Определение биомассы растительного планктона в различных водоемах показало, что, например, в арктических морях она может достигать 6–14 г на  $1 \text{ м}^3$  воды, в Каспийском море – в среднем 1–3 г на  $1 \text{ м}^3$ , в предустьевой зоне – 100 и даже 140 г на  $1 \text{ м}^3$ . В Азовском море в летние месяцы водоросли могут давать необычайную вспышку – до 270 г на  $1 \text{ м}^3$ . Для донных водорослей было найдено, что в Баренцевом море у Мурманского побережья заросли ламинарий дают от 4,5 до 15 кг сырой массы на  $1 \text{ м}^2$ , а в отдельных случаях – до 30 кг на  $1 \text{ м}^2$ . Сходные цифры показывают заросли ламинарий в Белом и Японском морях, в Черном море биомасса бурой водоросли цистозейры только местами достигала 6–7 кг, в редких случаях – до 13 кг, в среднем же для разных участков её заросли составляли только около 3 кг на  $1 \text{ м}^2$ .

В пресных водоемах биомасса донных водорослей обычно меньше и только в случаях массовых её разрастаний сухая масса может составлять около 300 г (приблизительно 3 кг сырой массы) на  $1 \text{ м}^2$ .

Практический интерес представляет величина продукции водорослей за год, или количество органического вещества, производимого ими в водоемах в течение года. Показатели биомассы не могут этого показать, так как водоросли все время нарождаются и отмирают, их поедают животные, а биомасса отражает лишь определенный момент. Поэтому годовую продукцию пересчитывают, по аналогии с урожаями наземных растений, на 1 га водной поверхности.

Годовая продукция планктонных водорослей в морях и пресных водоемах оказалась довольно близкой, тогда как продукция донных

водорослей резко различной. Так, например, в богатом жизнью Баренцевом море годовая продукция растительного планктона (в сырой массе) определяется в 30–50 т. на 1 га, а донных бурых водорослей (фукусовых) – в 120–231 т (в среднем 192 т) на 1 га. В Черном море продукция донных водорослей несколько ниже, в защищенных местах – 100–170 т на 1 га.

Плодородные наносы почвы, высокая сумма годовичных температур, обилие влаги способствуют поддержанию очень высокой продуктивности фитоценозов в дельтах южных рек, в лагунах и эстуариях. Она достигает 20–25 т с 1 га в год в сухом веществе, что значительно превосходит первичную продуктивность еловых лесов (8–12 т). Сахарный тростник за год успевает накопить до 78 т фитомассы на 1 га. Даже сфагновое болото при благоприятных условиях обладает продуктивностью 8–10 т, что можно сравнить с продуктивностью елового леса.

В продуктивных пресных озерах годовая продукция растительного планктона (в сырой массе) может достигать 26,5 т/га, донных растений – до 4,3 т/га. Подобных примеров можно было бы привести еще немало, но уже из сказанного ясно, что водная толща дает богатый урожай водорослей, не уступающий, а подчас и превосходящий продуктивность суши.

Основное значение водорослей в жизни природы вытекает из их физиологических особенностей как зеленых растений: подобно высшим зеленым растениям на суше, водоросли в воде являются основными созидателями органического вещества. В воде имеются еще и другие автотрофы – хемосинтезирующие бактерии и высшие растения, но удельный вес их по сравнению с водорослями весьма незначителен. По новейшим данным водоросли в Мировом океане ежегодно создают чуть более 1/4 всех органических веществ планеты, а их «урожайность» оценивается в 1,3–2,0 т сухого вещества на 1 га поверхности воды за год (130–200 г/м<sup>2</sup>) или 543–836 ккал/м<sup>2</sup>.

По данным О. Е. Токарь и Б. Ф. Свириденко (2003) средняя годовая продукция органического вещества гидромакрофитных сообществ на р. Ишим определена в 305 г/м<sup>2</sup> или 1 416 ккал/м<sup>2</sup> в год. По этому показателю растительность в целом оценивается как умеренно продуктивная. В других исследованиях было установлено, что ассимиляция энергии в экосистеме эвтрофного озера в среднем за вегетационный период составляет около 1 537 ккал/м<sup>2</sup>, в продукции фитомассы 1 425 ккал/м<sup>2</sup> (Г. Г. Винберг, 1969).

При изучении проблемы зарастания водоёмов показано, что мелководные искусственные водоёмы зарастают под влиянием целого ряда абиотических факторов, таких как глубина водоёма, степень его

прозрачности, скорость течения и т. д. Влияние всех этих факторов в различных типах водоёмов неодинаково. Одной из причин зарастания является накопление фитомассы, а также накоплению органических донных отложений и бентоса на дне мелководий.

По данным В. А. Новикова (2013), сравнивающего фитомассу водных растений воронежского водохранилища, было показано что чистые сомкнутые заросли тростника южного, по данным на 1989 год, среди растений водоёма обладали наибольшей фитомассой – 1 150,5 г/м<sup>2</sup> (воздушно-сухая масса) или 4 809 ккал/м<sup>2</sup>. Достаточно высокими показателями характеризовались также сообщества рогоза узколистного – 727 г/м<sup>2</sup> или 3 039 ккал/м<sup>2</sup>, а среди настоящих водных растений – телорез алоэвидный: 805,5 г/м<sup>2</sup> или 3 367 ккал/м<sup>2</sup>, широко распространённый на территории верховий водохранилища. Запасы этих трёх видов на 2013 год значительно возросли и составили соответственно 3 221,4; 2 036,72; 2 255,4 г/м<sup>2</sup> или 13 465; 8 513; 9 427 ккал/м<sup>2</sup>. В водоёме наблюдается увеличение площадей, занятых зарослями водно-воздушной растительности и общее повышение запасов фитомассы, так как именно эти растения являются её основными продуцентами. За счёт увеличения площадей зарастания усиливаются процессы заболачивания.

По данным И. Ф. Рассашко (2005) продуктивность планктона водоёмов составляет примерно 600 г/м<sup>2</sup> сухого вещества или 2 506 ккал/м<sup>2</sup>, а продуктивность водной растительности – 1 000 г/м<sup>2</sup> в год или 4 176 ккал/м<sup>2</sup> в год. Ю. И. Сорокин (1963) с помощью радиоуглеродного метода изучал первичной продукции Рыбинского водохранилища. Последняя оказалась равной 600 ккал/м<sup>2</sup> в год, что соответствует уровню продуктивности мезотрофных озёр. В начале исследований предполагалось, что водоем будет эвтрофным. Такой уровень продукции сам по себе недостаточен для обеспечения высокой кормности водоема. Оказалось, что такое положение усугубляется весьма неблагоприятными формами накопления и условиями реализации первичной продукции, характерными для Рыбинского водохранилища. Анализ кривой динамики продуцирования показал, что значительная часть органического вещества продуцируется в виде крупных колониальных форм сине-зеленых водорослей, плохо поедаемых зоопланктоном. Другим отрицательным фактором является интенсивное ветровое перемешивание водной толщи до дна, ведущее к почти полной минерализации первичной продукции в толще воды. Отсюда слабая заиленность дна и недостаточная седиментация легкоусвояемого органического вещества из водной толщи. Вследствие малой толщины зоны фотосинтеза (1,5–2 м) ветровое перемешивание легко увлекает основную массу фитопланктона за пределы зоны фотосинтеза.

В среднем 2/3 жизнедеятельного фитопланктона находится вне зоны фотосинтеза. В штормовую же погоду, (которая преобладает в водохранилище до 70 % штормовых дней), световое голодание испытывает 80–90 % всей массы фитопланктона.

Результаты исследований позволили сделать заключение, что хемосинтезирующие бактерии окисляют в водоемах конечные продукты анаэробного распада органических веществ в иловых отложениях и, тем самым, завершают полную их минерализацию. В ходе этого процесса в водоеме происходит новообразование бактериального белка из углерода  $\text{CO}_2$ . Следовательно, трофическая роль хемосинтеза в водоемах состоит в использовании энергии, заключенной в конечных продуктах анаэробного распада органических веществ в иловых отложениях для синтеза бактериальной биомассы, являющейся пищей для водных беспозвоночных. Посредством хемосинтеза осуществляется энергетическая взаимосвязь между процессами, происходящими в иловых отложениях и в водной толще. Поскольку хемосинтезники усваивают  $\text{CO}_2$  за счет энергии, заключенной в продуктах распада органических веществ, созданных при фотосинтезе, продукция хемосинтеза является вторичной. Хемосинтез лишь способствует более полной реализации химической энергии, связанной при фотосинтезе, в процессах биологического продуцирования водоемов. Поэтому оценивая трофическую роль хемосинтеза в водоемах, необходимо учитывать, что с его помощью оформленная белковая пища для беспозвоночных может создаваться в те периоды и в тех слоях воды, где отсутствует ее новообразование за счет фотосинтеза. Выяснение трофической роли хемосинтеза, позволяет понять многие трудно объяснимые явления в водоемах, такие, например, как вспышки развития зоопланктона зимой или ранней весной до развития фитопланктона, концентрирование зоопланктона в том или ином горизонте водной толщи, и т. д.

### **3.6.2. Болота Беларуси**

Сельскохозяйственные угодья, создаваемые человеком, отнюдь не самые продуктивные экосистемы на земном шаре. Наивысшую удельную продуктивность дают болотистые экосистемы – влажные тропические джунгли, эстуарии и лиманы рек и обычные болота умеренных широт. На первый взгляд, они производят бесполезную для человека биомассу, но именно эти экосистемы очищают воздух и стабилизируют состав атмосферы, очищают воду и служат резервуарами для рек и почвенных вод и, наконец, являются местами размножения

для огромного числа рыб и других обитателей вод, используемых в пищу человеком. Занимая 10 % площади суши, они создают 40 % производимой на суше биомассы.

Болота – это участки суши, покрытые в определенные периоды времени небольшим слоем воды и более или менее высыхающие в другое время. Согласно другому определению, болото – переувлажненный участок поверхности земли, характеризующийся накоплением в верхних горизонтах мертвых неразложившихся растительных остатков, превращающихся затем в торф. При слое влажного торфа более 0,3 м – болото, менее 0,3 м – заболоченные земли. Болота умеренных и высоких широт – это своеобразные «ловушки» органического углерода, в которых происходит его накопление и захоронение в виде не полностью разложившихся остатков растительности, образующих торф. Переувлажненные земли более характерны для тропических районов, и торф в них не накапливается. Болота, расположенные вдоль русел рек и особенно в устьях, во время паводков принимают избыточную воду, обогащенную илом и биогенами. При движении воды по болотам ил и связанные с ним биогены оседают, а вода очищается по мере просачивания в грунтовые воды. Таким образом, важнейшей ролью болот является фильтрация воды перед тем, как она попадает в озера, заливы, эстуарии, грунтовые воды. Болота, обогащенные биогенами, представляют собой самые продуктивные экосистемы, в которых обитают стаи водной дичи и многие другие животные. Общая площадь болот и переувлажненных земель на планете составляет примерно 3 млн. км<sup>2</sup>. Больше всего болот в Южной Америке (почти половина) и Евразии, совсем мало – в Австралии. Болота и заболоченные территории есть во всех географических зонах, но особенно много их в тайге. В нашей стране болота занимают около 9,5 % территории, причем особую ценность представляют торфяные болота, аккумулирующие в себе значительные запасы теплоты. Болота не пригодны для сельского хозяйства, строительства, судоходства. Поэтому «бросовые земли» длительное время пытались «улучшать», что привело к многим ошибкам как в нашей стране, так и во многих других странах.

Болота Беларуси – избыточно увлажнённые участки земли со специфической растительностью, в результате жизнедеятельности и отмирания которой образуется торф.

Торф – это слабо разложившиеся растительные остатки, которые накапливаются в болотной экосистеме. Под микроскопом можно идентифицировать остатки растений по видам, сформировавшим торф. Болота разных типов формируют торф разной степени богатства минеральными и органическими веществами. Наиболее богат

минеральными веществами торф низинных болот, наиболее беден – верховых.

Болото – это постоянно переувлажненный участок суши, имеющий слой торфа не менее 30 см, покрытый специфической болотной растительностью. Почвенный покров на болотах образуется под влиянием торфообразования и оглеения (заболачивания). Образуются болота в результате переувлажнения атмосферными осадками, поверхностными или грунтовыми водами, а также в результате зарастания озер и речных стариц.

Белорусским болотам принадлежит особая роль в поддержании экологического равновесия: в естественном состоянии они служат аккумуляторами влаги и перераспределения стока, поддерживают качество поверхностных вод, утилизируют углерод и продуцируют кислород, являются местообитаниями ценных лекарственных растений, ягодников и т. д. (Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович, 2004; Т. И. Кухарчик, 1996).

В Беларуси под болотами, как уже отмечалось, находится 2,5 млн га (вместе с осушенными) – 14,1 % площади страны, с запасом торфосырца 30,4 млрд м<sup>3</sup>; наибольшая мощность торфяного пласта 10,5 м (болото Ореховский Мох). Под залежью торфа на некоторых болотах имеются месторождения сапропеля. Распределены болота на территории страны неравномерно. В зависимости от условий водного питания и характера растительности болота подразделяются на верховые, переходные и низинные. Верховые болота развиваются в местах, где преобладает атмосферное питание (Полоцкая низина, Друть-Березинское междуречье и др.). В местах, где преобладает грунтовое водное питание, болотные массивы почти полностью низинные (Гродненская и большая часть Брестской областей). В других районах соотношения распределения низинных и верховых болот различны (Минская и Могилёвская области). Самые большие болота в Брестской области – Выгонощанское болото, Поддубичи, Великий лес, Обровское болото.

Верховые болота исключительно атмосферного питания. Наиболее распространены в северной части Беларуси и занимают 15,8 % площади всех болот. Размещаются преимущественно на водоразделах в замкнутых бессточных понижениях и там же имеют наибольшие запасы торфяных залежей. Мощность торфяного пласта 2–4, реже 9–10 м, степень разложения торфа 5–50 %. Имеют выпуклую поверхность. Видовой состав растительности ограничен: из древесных пород – сосна; из кустарничков – багульник, вереск, голубика, клюква; из трав – пушица влагалищная, росянка круглолистная, морошка, распространён сплошной покров из сфагновых мхов. Среди таких болот преобладают лесные, на которых распространены сосново-пушицево-кустарничково-

сфагновые ассоциации (например, Осиновское болото). Безлесные болота встречаются только отдельными участками в более обводнённых понижениях. Образуются сфагновый, пушицевый, сосново-пушицевый и другие виды торфа. В торфяной залежи очень часто верховой торф подстилается низинным, переходным.

Верховые болота образуются преимущественно на водораздельных территориях при условии питания атмосферными осадками. Торф здесь формируется в условиях бедного минерального питания и высокой кислотности. Они очень богаты органическим веществом, зольность – около 2 %; содержание азота менее 1,5 %. Основными растениями – торфообразователями верховых болот служат мхи, главным образом сфагновые. В силу особенностей своего состава верховой торф может быть использован для получения кормовых добавок для кормления скота, торфяного воска и некоторых других продуктов химической промышленности. Верховые болота не подлежат мелиорации для сельскохозяйственных целей. Они имеют природоохранное значение особенно в верховьях малых рек. Крупные массивы верховых болот находятся на территории заповедников (Березинского, Припятского, Беловежской пуши). На них организованы гидрологические заказники (Ельня, Заозерье), а также клюквенные заказники (Букчанский, Заболотье, Фалицкий мох и др.) Наибольшее распространение верховые болота имеют в Витебской и Минской областях.

Низинные болота, как правило, грунтового питания. В Беларуси занимают 81,2 % площади всех болот. Особенно много их в Брестской, Гродненской и Минской областях. Располагаются на плоских бессточных понижениях, встречаются на месте прежних озёр в бассейнах Припяти и Немана. Мощность торфяного пласта в среднем 1–2, иногда до 6 м, степень разложения торфа 20–40 % и выше. Имеют вогнутую или плоскую поверхность, богатый видовой состав болотных растений и растительных ассоциаций. Из древесных пород растут сосна, берёза, ольха, изредка ель; из кустарников – разные виды ив (часто ива пепельная), берёза низкая; из травянистых растений – таволга, вахта, сабельник, хвощ и др. Подразделяются на лесные, травянисто-кустарниковые, травянистые. В Полесье распространены берёзовые низинные болота, на которых растут берёза пушистая, ива, крушина; в травяном покрове – осоки с незначительной примесью болотного разнотравья. Образуются осоковый, тростниковый, тростниково-осоковый, древесно-осоковый и другие виды торфа, торфотуфы и другие болотные отложения. Многие низинные болота частично или целиком осушены и используются под сельскохозяйственные угодья.

Низинные болота образовались в понижениях рельефа в результате выхода на поверхность богатых минеральными веществами грунтовых вод или путем зарастания озер и стариц рек. Торф низинных болот содержит после сжигания большое количество золы (6–18 %), он отличается пониженной кислотностью. Торфообразующими растениями служат различные осоки, а также кустарники ивы, тростники, камыши, рогоз и другие цветковые растения. Эти свойства торфа в сочетании с высоким содержанием в нем азота обусловили широкое использование низинных болот в сельском хозяйстве после их мелиорации и дальнейшего освоения. В результате осушения торф подвергается минерализации, происходит сокращение его влажности, увеличение удельного веса, зольности и степени разложения. При использовании такого торфа в сельском хозяйстве он быстро разрушается. Для сохранения торфа строят осушительно-увлажнительные мелиоративные системы, а осушенные торфяно-болотные почвы стараются максимально использовать под посевы многолетних трав и зерновых культур и лишь в малой степени под пропашные и огородные культуры. Низинные болота распространены по всей территории, но наиболее крупные массивы их представлены на территории Полесья.

Переходные болота относятся к мезотрофным болотам смешанного питания. Наиболее распространены в центральной части Беларуси. Составляют 3 % площади всех болот. Растительность – сфагновые (покрывают сплошным ковром) и гипновые мхи, травы (осоки, сабельник болотный), кустарнички (багульник, голубика, болотный мирт, клюква), кустарники (ивы, берёза низкая), деревья (сосна, берёза пушистая). Подразделяются на лесные и безлесные. Лесные болота заняты чистыми сосновыми и берёзово-сосновыми лесами, безлесные – преимущественно осоково-сфагновыми, осоково-гипново-сфагновыми и разнотравно-осоково-сфагновыми ассоциациями. Нижние слои переходных болот складываются из низинного, верхние – из торфяно-осоково-сфагнового и древесно-осоково-сфагнового торфов.

Переходные болота формируются при смешанном питании грунтовыми водами и атмосферными осадками. Они занимают промежуточное положение между низинными и верховыми болотами и часто встречаются в сочетании с теми и другими. Продуктивность торфов переходного типа невысокая, поэтому их использование в сельском хозяйстве ограничено. Частично торф переходного типа применяют для подстилки скота. В связи с особенностями химического состава этот торф может использоваться для производства торфяного воска. Значительные площади переходных болот находятся на территориях заповедников и заказников, а также в рекреационных зонах. Распространены по всей территории Белоруссии.

Болота республики – разновидность земельных угодий, имеют большое климатическое и метеорологическое (резервуары воды) значение, особенно на водоразделах, у истоков рек, в районах с песчаными почвами. На Выгонощанском и Диком болотах образованы гидрологические заказники. Неосушенные низинные болота используются как естественные сенокосы, черноольховые леса на них высокопродуктивны. Осушенные низинные болота используются под сельскохозяйственные культуры, сенокосы, для добычи торфа. На верховых и переходных болотах растёт много ягодных (клюква, брусника) и лекарственных растений (багульник, росьянка и др.).

Торфяные болота в естественном состоянии представляют собой потенциальный земельный и лесной фонд, играют положительную роль в круговороте воды, влияют на режим грунтовых вод, на сток рек, местный климат. Для защиты и оздоровления окружающей среды из торфа возможно изготовление сорбентов для поглощения тяжелых и цветных металлов, радиоактивных отходов, отработанных поверхностно-активных веществ, нефти и нефтепродуктов, токсичных газов и др.

Анализ состояния и направлений использования площадей торфяного фонда показывает, что около 65 % их активно используется в народном хозяйстве. В последние годы снижается использование торфяных болот для строительства на них новых предприятий по добыче торфа и сокращается использование торфа как топлива для промышленных нужд.

В 1960-х годах в республике торфяные болота занимали около 14,2 % всей территории или около 2,9 млн. га. В результате крупномасштабного осушения в период с 1950 по 1990 гг. более 54 % (1,2 млн. га) торфяных болот были осушены. В настоящее время около 7 % (1,7 млн. га) территории страны (в мире – в среднем 3,4 %) по-прежнему сохранены в состоянии, близком к естественному (Т. И. Кухарчик, 1996).

Торф – это главное болотное сырьё. Если до времен мелиорации торфяные разработки насчитывали около 5,7 млрд. тонн, то теперь они оцениваются в 4 млрд. тонн.

Болота относятся к саморегулирующимся системам. Если болото оставить в естественном состоянии и не подвергать никаким воздействиям, то оно может вести себя весьма активно и отвоевывать, и вбирать в себя всё новые территории. Известно, что верховые болота содержат до 98 % влаги и являются настоящими накопителями воды. Таким количеством не могут похвастаться другие водоемы, в которых воды может быть в разы меньше, чем в болотных хранилищах.

Особое внимание исследователей привлекает сфагновый мох. Сфагновый мох способен удерживать объем влаги в 30–40 раз превышающий его собственный.

Согласно программе «Торф» утвержденной Постановлением Совета Министров № 94 от 23 января 2008 года к 2020 году добычу торфа в Беларуси планируется увеличить в два раза – до 4,3–4,4 млн. т.

Программа «Торф» предусматривает поэтапное до 2020 года осушение до 50 тыс. га, что составляет всего лишь 2 % от имеющихся в Беларуси болот. При этом осушаться будут лишь территории, где водный режим ранее уже был нарушен из-за мелиорации прилегающих территорий. Не предусматривается отрывать территории от заказников и других охраняемых зон.

После осушения и добычи торфа предприятия обязаны вернуть земли землепользователю в состоянии пригодном для дальнейшего использования. В последние годы это чаще всего под повторное заболачивание.

Программа «Торф» предполагают увеличение доли торфа, предназначенного для комплексной переработки, например, с целью получения мелиорантов, сорбентов, биостимуляторов, а не в качестве топлива. В последние годы болота приобрели особую значимость в связи с проблемой парникового эффекта. В условиях роста концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере более ценными считаются те биогеоценозы, которые способны больше взять и удержать в себе углерода. А этим свойством обладают именно болота.

Республика Беларусь остаётся уникальным заповедником болот. Теперь, главным является сохранение этого природного комплекса для населения страны и извлечение из него пользы.

Несмотря на то, что площадь одних только торфяных болот во всем мире составляет более  $1 \cdot 10^6$  км<sup>3</sup>, в настоящее время возникла серьезная проблема охраны болот. С этой целью, а также для изучения перспективы их рационального использования в 1967 году в рамках ЮНЕСКО была создана специальная международная организация, объединяющая ученых из разных стран. Во всём мире темпы осушения болот настолько высоки, что во многих местах это грозит их полным исчезновением. Однако такой исход совершенно недопустим. В этом убеждают и экономические аспекты: например, по американским данным, одна лишь сдача в аренду охотничьих угодий на болотах, с хижинами и шалашами, дает большую прибыль, чем превращение этих болот в сельскохозяйственные территории. Обычно на болотах в изобилии водятся сотни видов птиц, ценные пушные звери (нутрии, ондатры). Нередко болота представляют собой великолепные

ягодники: там без всякого применения человеческого труда и удобрений растут клюква, морошка и другие не менее ценные растения.

Болота являются единственным источником и кладовой неограниченного богатства – торфа. На торфе работают электростанции. Торф – важнейшее химическое сырье для получения минерально-аммиачных удобрений, спиртов, кислот, красителей. Лекарствами, приготовленными из торфа, лечат глазные болезни, ожоги, воспалительные процессы.

Трудно переоценить роль болот в природном равновесии. Особенно велико значение так называемых верховых болот. В них, как в огромной губке, накапливается избыток влаги, расходующийся в течение лета на питание ручьев и рек, на поддержание влажности воздуха. Там, где верховые болота непродуманно поторопились осушить, сразу снизился уровень грунтовых вод, обмелели реки, превратились в бесплодные солончаки заливные луга.

Словом, болота как природные объекты представляют собой большую ценность. Круговорот воды в болотах в десятки раз медленнее по сравнению с реками или проточными озерами, и отравление, гибель болот вместе со всем их неповторимым растительным и животным миром может наступить быстро и необратимо.

Неограниченную пользу приносит не только рациональное освоение природных богатств болот, но и изучение процессов, протекающих в них. Бесструктурные, водонепроницаемые пластичные слои почвы болотного дна (их называют глеевыми) образуются в природных условиях при активном участии микроорганизмов. Это подсказало ученым пути повышения накопительной способности искусственных водоемов. На основании изучения природных процессов глееобразования был предложен простой и дешевый биохимический метод, позволяющий значительно уменьшить влагопроницаемость искусственных водоемов и снизить потери воды. На почве дна котлованов или канав бульдозером распределяли отходы сельскохозяйственного производства, богатые клетчаткой: солому, сорняки, ботву картофеля и т.п., насыпали слой грунта толщиной 15–20 см и заливали эту площадь водой. В таком своеобразном слоистом экране растительное вещество служит питательной средой для анаэробных бактерий. В процессе жизнедеятельности, отнимая кислород от почвенных частиц, эти бактерии изменяют структуру почвы и способствуют образованию водонепроницаемого слоя. Уже через два месяца появляется глеевый слой толщиной до 5 см, а через три года – до 35 см, и просачивание воды в грунт практически прекращается. Так бактерии помогают сохранить сотни миллионов кубометров воды.

### 3.6.2.1. Производство чистой первичной продукции в лесоболотной системе

Изучение обменных процессов и биологического круговорота веществ в болотных биогеоценозах (как раздел комплексного биогеоэкологического исследования) впервые было начато на Северном стационаре Института леса АН СССР в Вологодской области в 60-х годах прошлого века. Позднее исследования в этом направлении были продолжены в Томской области, в Западной Сибири, в Карелии, Мурманской области, БССР и других областях.

Накопленный материал позволяет с большей уверенностью подходить к установлению особенностей круговорота веществ в биогеоценозах болот различных типов, а также делать более достоверные обобщения и выводы.

В болотистых лесах основным лимитирующим фактором является избыточная влажность почвы и связанный с этим дефицит кислорода. Здесь сильнее сказывается влияние степени заболоченности почвы и богатство ее азотом и зольными элементами.

Переувлажнение почвы ингибирует деятельность фотосинтезирующего аппарата древесных растений. Переходя к оценке первичной биологической продуктивности лесоболотных биогеоценозов, следует сказать, что под первичной продуктивностью подразумевается скорость накопления всей растительной массы в течение одного года на площади 1 га, то есть годичный прирост массы всех ярусов растительности. При этом учитывается чистая первичная продуктивность, без учета части продукции, потребленной гетеротрофными организмами.

На болотах различных типов, безлесных и лесных, величина годичного прироста сильно колеблется, что связано со свойственным тому или иному типу богатством торфяной почвы, степенью обводненности болота и с составом растительности. Вместе с тем свыше половины болотно-торфяного фонда относится к верховому типу и значительная часть – к переходному. ознакомиться с имеющимися в литературе данными. Имеющаяся в литературе опубликованная сводка по годичному приросту и отпаду фитомассы показывает, что в годичном приросте фитомассы лесоболотных фитоценозов низинного и переходного типов на первом месте стоит масса древесного яруса (40–50 % всего прироста); на втором – прирост трав и кустарничков (30–32 %); на третьем – прирост массы мхов (19–29 %). В приросте массы болотных фитоценозов верхового типа наблюдается обратное соотношение: сфагново-моховой ярус дает 48 %, болотные кустарнички и травы – только 20 %. Почти в такой же пропорции распределяется и масса годичного отпада (табл. 3.47.).

Таблица 3.47 – Средний годичный прирост и отпад фитомассы в лесоболотных биогеоценозах (в пересчете на абсолютно сухое вещество)\*

Тип болота	Прирост				Отпад				Истинный прирост, ц/га
	Древо-стой	Травы, кустарнички	Мхи	Всего	Древо-стой	Травы, кустарнички	Мхи	Всего	
Низинный	35,4	22,8	13,7	71,9	28,9	21,3	7,0	57,2	14,7
	49	32	19	100	50	38	12	100	
Переход-ный	24,6	18,5	17,7	60,8	19,2	18,2	12,3	49,7	11,1
	41	30	29	100	39	36	25	100	
Верховой	9,2	14,8	22,1	46,4	7,9	13,4	12,4	33,7	12,7
	20	32	48	100	23	40	37	100	

\* Числитель- ц/га, знаменатель – %.

В общей площади болот Беларуси на долю низинных болот приходится 81,2 %, переходных – 3 % и верховых – 15,8 %. С учётом такого распределения площадей болотной системы средневзвешенный прирост абсолютно-сухой фитомассы на болотах республики оценивается в количестве 67,5 цн/га или 675 г/м<sup>2</sup>. Составляющими сухой фитомассы являются 30,93 цн/га или 46 % сухого вещества древостоев, 21,44 цн/га или 32 % сухого вещества травы и кустарничков и 15,13 цн/га или 22 % сухого вещества мхов. В данном случае выход сухой фитомассы древостоев с 1 м<sup>2</sup> площади болот достигает 309 г, травы и кустарничков – 215 г и мхов – 151 г.

Для перевода данной урожайности болот в натуральное вещество примем, что свежесобранный прирост древостоев имеет естественную влажность 55 %, прирост травы и кустарничков – 80 % и прирост мхов – 95 %. С учётом этого средневзвешенный прирост фитомассы всей растительности получается в количестве 478,5 цн/га или 4785 г/м<sup>2</sup>. Данное количество прироста фитомассы состоит из 68,7 цн/га или 687 г/м<sup>2</sup> фитомассы древостоев, 107,2 цн/га или 1072 г/м<sup>2</sup> фитомассы травы и кустарничков и 302,6 цн/га или 3026 г/м<sup>2</sup> фитомассы мхов. В приросте натуральной фитомассы на долю древостоя приходится 14,4 %, трав и кустарничков – 22,4 % и мхов – 63,2 %.

Как видно из показателей таблицы общий прирост фитомассы или чистая продукция лесоболотных биоценозов состоит из отпада и истинного прироста. Отпад поступает в мартмассу болот, а истинный прирост пополняет органическое вещество живой фитомассы. Из 67 цн/га прироста абсолютно сухой фитомассы в отпад уходит 53,2 цн/га (78,8 %) или по 532 г/м<sup>2</sup>. В свою очередь отпад состоит из отпада древостоя в количестве 25,3 цн/га, что составляет 48 % от его

общего количества, и, соответственно, отпада травы и кустарничков – 19,9 цн/га и 37 % и мха – 8 цн/га и 15 %. В пересчёте на 1 м<sup>2</sup> площади болот количество отпада прироста древостоя составляет 253 г, трав и кустарничков – 199 г и мхов – 80 г.

После перевода сухого вещества отпада в натуральное установлено, что оно определяется в количестве 293 цн/га (2 935 г/м<sup>2</sup>), из которое состоит из 34 цн/га (340 г/м<sup>2</sup>) или 11,6 % отпада древостоя, 99,5 цн/га (995 г/м<sup>2</sup>) или 33,9 % отпада трав и кустарничков и 160 цн/га (1600 г/м<sup>2</sup>) или 54,5 % отпада мхов.

Как было показано фитомасса прироста состоит из отпада и истинного прироста. После вычета из общего прироста фитомассы отпада на средневзвешенный истинный прирост лесоболотных биоценозов остаётся 14,3 цн/га сухого вещества или в расчёте на 1 м<sup>2</sup> площади по 143 г. Соотношение в общем приросте сухой фитомассы доля массы отпада и прироста имеют вид как 3,7 : 1 или в удельном выражении как 78,8 : 21,2 %. А вот в годовичном истинном приросте фитомассы на долю древостоя приходится 39,5 %, травы и кустарничков – 10,5 % и мхов – 50 %. В количественном выражении это определяется соответственно как 5,67 цн/га (56,7 г/м<sup>2</sup>), 1,50 цн/га (15 г/м<sup>2</sup>) и 7,13 цн/га (71,3 г/м<sup>2</sup>).

С учётом показателей влажности, натуральная фитомасса истинного прироста лесоболотных биоценозов оценивается в 162,5 цн/га и которая состоит из 12,6 цн/га фитомассы древостоя или 7,8 %, 7,3 цн/га фитомассы травы и кустарничков или 4,5 % и 142,6 цн/га фитомассы мхов или 87,7 %. Количество натуральной фитомассы истинного прироста с 1 м<sup>2</sup> площади болот получается в среднем по 1 625 г. и который состоит из 126 г прироста древостоя, 73 г травы и кустарничков и 1 426 г прироста мхов.

По данным Н. П. Косых и др. (2002), изучавших биологическую продуктивность растительных сообществ лесостепи Западной Сибири, запасы мортмассы низинных болот изменяются от 1 500 до 2 800 г/м<sup>2</sup>, в рядах составляют около 4 000 г/м<sup>2</sup>. Запасы живой фитомассы минимальны в рядах, увеличиваются до 4 000–6 200 г/м<sup>2</sup> в низинных болотах. Чистая первичная продукция в рядах лесостепи составляет около 600–700 г/м<sup>2</sup> в год и определяется главным образом растительным сообществом экосистемы. Основной вклад в продукцию дают подземные органы кустарничков и мхи. Максимальная разница в продукции проявляется между разными местообитаниями.

В более поздних исследованиях этими же авторами изучена биологическая продуктивность болот лесотундры Западной Сибири (Н. П. Косых и др., 2008). Было установлено, что общие запасы

растительного вещества в разные годы на болотах лесотундры колеблются в пределах 13 000–32 000 г/м<sup>2</sup>. Во всех экосистемах болот преобладает мертвое растительное вещество, или мортмасса образующая 70–90 % общих запасов. Мортмасса состоит из неразложившихся остатков мхов, лишайников или погребенных в нем отмерших в разное время растительных остатков сосудистых растений. Состав мортмассы сильно варьирует в разных экосистемах болот и зависит от видового состава растительного сообщества. Запасы надземной мортмассы, состоящие из ветоши, сухостоя и подстилки сосудистых растений, составляют от 22 до 123 г/м<sup>2</sup> в зависимости от видового растительного состава. Живое растительное вещество, или фитомасса, болотных экосистем изменяется в несколько раз от 800 до 3 100 г/м<sup>2</sup> в зависимости от типа растительности, экосистемы и рельефа. Чистая первичная продукция болотных экосистем севера варьирует от 150 до 600 г/м<sup>2</sup> в год в зависимости от растительного сообщества, водно-минерального питания и климатических условий года.

В условиях Беларуси О. В. Созинов и др. (2006) изучали биологическая продуктивность мохово-травяно-кустарничкового покрова ландшафтного заказника «Мартишки» в Гродненской области. Объект исследования представлял собой типичный верховой болотный массив прибалтийского типа с выпуклостью поверхности над прилегающими минеральными берегами до 4 м и более. Изучение структуры и продуктивности фитоценозов болота проводилось на экологическом профиле протяженностью 2 300 м на 9-ти постоянных пробных площадях. Нивелировочная съемка, лесоводственно-таксационные, эколого-фитоценологические и лабораторные исследования выполнялись в соответствии с общепринятыми в геоботанике, лесоведении, почвоведении и математической статистике методами. В результате исследований установлено, что основными факторами, определяющими формирование фитомассы растений, являются характер и уровень увлажнения, уровень грунтовых/поверхностных вод, степень освещенности местобитания, уровень развития древесного яруса. Общая продуктивность (во воздушно-сухой фитомассе) травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов возрастает при увеличении уровня олиготрофности биотопов с 541,92 до 1 616,52 г/м<sup>2</sup>. При этом максимальная продуктивность наземной фитомассы у мхов колеблется от 742,4 до 1 333,8 г/м<sup>2</sup>, популяций сосудистых растений – с 382,5 до 565,7 г/м<sup>2</sup>. Доля воздушно-сухого вещества цветковых растений на эколого-ценологическом градиенте относительно стабильна и составляет 40–60 %.

Для получения данных о калорийности прироста фитомассы лесоболотных биоценозов нами было определено, что в 1 кг абсолютно

- сухого вещества фитомассы содержится 4 753 ккал энергии или 4,75 ккал/г. После выполнения необходимых расчётов установлено, что калорийность 1 г прироста натуральной фитомассы включает 0,67 ккал, соответственно фитомассы отпада – 0,86 ккал и фитомассы истинного прироста – 0,42 ккал (табл. 3.48.). При этом истинный прирост фитомассы лесоболотных биоценозов в абсолютно-сухой массе оценивается в количестве 143 г/м<sup>2</sup>, в натуральном виде – в количестве 1 625 г/м<sup>2</sup>. Калорийность сухого вещества общего прироста состоит на 46 % из калорийности сухого вещества древостоя, на 32 % – травы и кустарничков и на 22 % – мхов. В калорийности сухого вещества отпада 47 % приходится на сухое вещество древостоя, 37 % – на травы и кустарнички и 26 % – на мхи. В сухом веществе истинного прироста было обнаружено 40 % сухого вещества древостоя, 10,5 % – травы и кустарничков и 49,5 % – мхов.

Таблица 3.48 – Показатели фитомассы общего прироста, отпада и истинного прироста лесоболотных биоценозов

Показатель	Древостой	Травы и кустарнички	Мхи	Итого
Общий прирост фитомассы (абс. –сух. в-во), г/м <sup>2</sup>	309	215	151	675
Калорийность прироста, ккал	1 468	1 022	718	3 208
Прирост натуральной фитомассы, г/м <sup>2</sup>	687	1 072	3 026	4 785
Калорийность 1 г натуральной фитомассы, ккал	2,13	0,95	0,24	0,67
Отпад (абс. сух. в-во), г/м <sup>2</sup>	253	199	80	532
Отпад натуральной фитомассы, г/м <sup>2</sup>	340	995	1 600	2 935
Калорийность 1 г натуральной фитомассы отпада, ккал	3,5	0,95	0,24	0,86
Истинный прирост(абс. сух. в-во), г/м <sup>2</sup>	56,7	15,0	71,3	143
Истинный прирост натуральной фитомассы, г/м <sup>2</sup>	126	73	1 426	1 625
Калорийность 1 г фитомассы истинного прироста, ккал	2,14	0,97	0,24	0,42

Удельная калорийность абсолютно сухой фитомассы общего прироста состоит из сухой массы отпада (79 %) и сухой массы истинного прироста (21 %) (рис. 9). Калорийность истинного прироста примерно в 3,8 раза ниже калорийности отпада.



Рисунок 9 – Удельная калорийность абсолютно сухой фитомассы общего прироста, отпада и истинного прироста лесоболотных биоценозов, ккал/м<sup>2</sup>

Как было показано в главе 2 в Беларуси в общем землепользовании под болотами и водными объектами находится 1 364 тыс. га земельной площади. Поскольку 415,2 тыс. га занято водными объектами, то оставшаяся площадь в количестве 948,8 тыс. га занята непосредственно болотами. Имеются в виду площади, не входящие в состав лесного фонда страны. Так вот, на данных площадях болотной системы общий прирост фитомассы за год можно оценить в 45,4 млн. т и которая распределяется на фитомассу отпада, в количестве 27,8 млн. т, и фитомассу истинного прироста, в количестве 15,4 млн. т. При этом концентрация энергии в таких объемах фитомассы органического вещества соответственно достигает 30,4, 23,9 и 6,5 Тккал. Выход энергии в составе органического вещества фитомассы общего прироста на площади 1 м<sup>2</sup> составляет 3 208 ккал, отпада – 2 524 ккал и истинного прироста – 683 ккал.

Таким образом, можно заключить, что в условиях Беларуси на 948,8 тыс. га площади лесоболотных биоценозов энергии в общем годовом приросте биомассы растений концентрируется около 30,4 Тккал энергии. Из данного количества 23,9 Тккал энергии в составе отпада поступает в мортмассу болот, а оставшаяся, в количестве 6,5 Тккал, сохраняется в органическом веществе истинного прироста.

### 3.7. Солнечная энергетика

Как было ранее показано, на территорию Республики Беларусь в течение года поступает 188 912 Тккал солнечной энергии. Для сравнения данного количества энергии приведём количество производства первичных энергоресурсов в республике за ряд последних лет.

В Республике Беларусь за период с 2000 по 2012 годы добыча и производство первичных энергоресурсов находилось в пределах 5,0–5,9 млн. т у.т. в год (табл. 3.50.).

Таблица 3.49 – Добыча отдельных видов топливно-энергетических полезных ископаемых в Беларуси

Показатель	Годы								
	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Производство первичных энергоресурсов в пересчете на условный эквивалент, млн. т у. т.	5,0	5,4	5,5	5,6	5,6	5,4	5,5	5,9	5,8
Нефть сырая, тыс. т	1 851	1 785	1 780	1 760	1 740	1 720	1 700	1 681	1 660
Газ природный, млн. м <sup>3</sup>	257	228	219	201	203	205	213	222	218
Торф топливный, тыс. т	2 002	2 307	2 125	2 502	2 361	2 216	2 352	2704	2 679

В пересчёте на калорийность это составляет 35,0–41,3 Тккал. В структуре производства первичных энергоресурсов, например, в 2012 году доля нефти, газа и торфа составила 29,3 Тккал или 72,2 %. При этом на долю нефти приходилось 16,6 Тккал или 41 %, природного газа соответственно 1,74 Тккал или 4,3 % и торфа топливного 11 Тккал или 27 %.

Между поступающей на площадь страны солнечной энергии и производством первичных энергоносителей наблюдается соотношение как 1 : 0,0002 или производство первичных энергоресурсов составляет 0,02 % от солнечной энергии (2012 год). В Беларуси основным потребителем первичных энергоресурсов является Белорусская энергосистема, которая обеспечивает экономику страны и население тепловой и электрической энергией (табл. 3.49.). Как видно из показателей таблицы Белорусская энергосистема поставляет потребителям 36,84 млрд кВт/ч электрической энергии и 32,61 млн. Гкал тепловой энергии. Всего в виде этих двух энергий отпускается 64,29 Тккал энергии. В переводе на условное топливо это составляет 9,18 Мт у.т. При удельном расходе условного топлива на выработку 1 кВт/ч электрической энергии в количестве 267 г или 1869 ккал всего для выработки потребляемой электрической энергии необходимо около 68,9 Тккал первичной энергии. Соответственно для выработки 1 Гкал расходуется 169,67 кг условного топлива или 1,19 Мккал, а на выработку всего отпускаемого тепла – 38,8 Тккал первичной энергии. Следовательно, при данных показателях работы энергосистемы она потребляет около 107,7 Тккал первичной энергии, которая по отношению к территориальной солнечной энергии не превышает 0,06 %. В переводе на условное топливо потребляемая первичная энергия составляет около

15,4 М т у.т., в переводе на калорийность природного газа это примерно 13,46 млрд м<sup>3</sup>. Выше было показано, что производство первичных энергоресурсов в пересчете на условный эквивалент в республике находится на уровне 5,8 млн. т у.т. Следовательно, для полного удовлетворения потребностей только одной Белорусской энергосистемы в первичных энергоносителях требуется около 9,6 М т у.т. (15,4–5,8) или 67,2 Тккал энергии. К числу потребителей первичных энергоресурсов также следует отнести промышленность, транспорт, сельское хозяйство, население и другие категории потребителей. Однако, все вместе взятые потребители энергии потребляют количество энергии не более 0,1 % от поступающей на территорию страны солнечной энергии.

Таблица 3.50 – Основные показатели Белорусской энергосистемы

Показатель	Значение показателя
Установленная мощность, МВт	7958
Выработка электроэнергии Минэнерго, млрд кВт/ч	33,66
Импорт электроэнергии, млрд кВт/ч	2,4
Потребление электроэнергии в Беларуси, млрд кВт/ч	36,84
Отпуск тепловой энергии, млн. Гкал	32,61
Удельные расходы топлива: На отпуск электроэнергии, г/кВт/ч	267
На отпуск тепла, кг/Гкал	169,67

К основным видам потребляемой энергии в республике относится электрическая энергия.

В Беларуси главными потребителями электрической энергии являются организации и население на долю которых приходится соответственно 83,5 % и 16,5 % её потребления (табл. 3.50.). За период времени с 2009 по 2012 годы в целом по республике потребление электроэнергии выросло на 3,52 млрд кВт/ч. При этом основной прирост потребления приходится на промышленность. Наблюдается ежегодный прирост на 220–320 тыс. кВт/ч потребления электроэнергии населением, что свидетельствует о его растущем благосостоянии.

Иными словами, потребность республики в энергии с каждым годом увеличивается, для удовлетворения которой требуется всё больше первичных энергоресурсов. Растущие потребности в энергоресурсах удовлетворяются через их импорт, на приобретение которых требуются значительные финансовые средства.

Таблица 3.51 – Потребление электрической энергии, млн. кВт/ч

Показатели	Годы			
	2009	2010	2011	2012
Потреблено электроэнергии, всего	34 876	37 590	37 788	38 400
в т. ч. отпущено населению	5 568	5 889	6 109	6 330
организациями	29 308	31 701	31 679	32 070
из него по видам экономической деятельности:				
сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	1 531	1 607	1 609	1 620
рыболовство, рыбоводство	7	8	9	9
промышленность	20 724	22 856	22 938	22 988
горнодобывающая промышленность	540	567	557	578
обрабатывающая промышленность	12 921	14 640	15 159	15 108
производство и распределение электроэнергии, газа и воды	7 263	7 649	7 222	7 302
строительство	488	546	411	344
торговля, ремонт автомобилей, бытовых изделий и предметов личного пользования	498	741	821	840
гостиницы и рестораны	71	80	68	66
транспорт и связь	1 872	2 022	2 035	1 964
финансовая деятельность	5	7	11	21
операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг потребителям	627	648	584	442
государственное управление	500	448	460	482
образование	199	200	192	186
здравоохранение и предоставление социальных услуг	265	272	268	265
предоставление коммунальных, социальных и персональных услуг	165	221	299	289

В условиях высоких цен на энергоносители, снижения их запасов и ухудшения экологической обстановки в мире, политика промышленно развитых стран в области энергетики в последние годы заметно меняется. Одновременно с использованием традиционной энергетики всё шире внедряются и находят пути применения альтернативные источники энергии или, так называемые, возобновляемые, к которым относится солнечная энергетика. К основным преимуществам солнечной энергетики относят её неисчерпаемость, доступность в каждой точке планеты, экологическую чистоту.

Эффективность солнечной энергетики во многом определяется солнечной радиацией поступающей на территорию страны. Величина поступающей на земную поверхность солнечной радиации зависит, прежде всего, от высоты Солнца над горизонтом, продолжительности дня и облачности, определяющей продолжительность солнечного сияния и количество прямой солнечной радиации.

Как уже было сказано солнечная радиация – это солнечное излучение в целом. Попадая в атмосферу, солнечная радиация частично (до 20 %) ею поглощается и переходит в другие виды энергии. Около 30 % радиации атмосфера рассеивает во все стороны, в том числе и к земной поверхности – так образуется рассеянная радиация. Та радиация, которая доходит до поверхности, не рассеиваясь и не поглощаясь в атмосфере, называется прямой радиацией. Интенсивность этого излучения меняется в зависимости от высоты Солнца и прозрачности атмосферы. Вместе прямая и рассеянная радиация, достигшие поверхности Земли, составляют суммарную радиацию.

Исследователи отмечают, что у полюсов во время полярного дня при незаходящем Солнце суммарная солнечная радиация иногда даже больше, чем в этот же день на экваторе, однако белая поверхность снега и льда отражает до 90 % солнечных лучей, и поверхность Земли нагревается плохо (табл. 3.52.).

Таблица 3.52 – Отражение солнечных лучей различными видами земной поверхности

Вид поверхности	Отражение (в %)
Свежевыпавший снег	90
Темная пашня	4
Зеленый луг	20
Песок	35
Вода	от 2 до 35 в зависимости от угла падения солнечных лучей
Подзолистая почва	10
Чернозем	5
Лесные кроны	20

Существуют ли реальные естественные возможности для развития солнечной энергетики в нашей стране? Если говорить о Беларуси, то территория нашей страны расположена между 56-м и 51-м градусами северной широты, что определяет угол падения солнечных лучей, продолжительность дня и солнечного сияния, с чем связано количество поступающей солнечной радиации. В течение года угол падения солнечных лучей в полдень изменяется на 47°, продолжительность дня – более чем на 10 часов. Пасмурных дней насчитывается от 175 на северо-западе до 135 на юго-востоке, ясных – от 30–35 за год на северо-западе до 40–42 на юго-востоке. На большей части территории Беларуси максимум безоблачных дней приходится на март–апрель, и только на юго-востоке – на июль–сентябрь. Продолжительность

солнечного сияния составляет в среднем за год 1 730–1 950 часов, возрастая к юго-востоку. Она минимальна в осенне-зимний период (когда бывает до 20 дней в месяц без яркого солнца), а в остальные дни насчитывает в среднем по 3 часа. В мае – июле солнце не показывается только 1–3 дня в месяц, при этом в отдельные продолжительность сияния достигает 16 часов. Май, июнь и июль вместе дают примерно 48 % годового прихода суммарной солнечной радиации, а ноябрь, декабрь и январь – только 5 %. Приход солнечной радиации уменьшается в направлении с юга на север с 4 100 до 3 500 МДж/м<sup>2</sup> в год (979–836 тыс. ккал). В годовом графике суммарной радиации наблюдаются значительные отклонения, как по количеству, так и по составу от ее среднегодовых показателей. В июле солнечная радиация в 9 раз больше, чем в январе и на 50–52 % состоит из прямой солнечной радиации. В январе на долю прямой радиации приходится только 20–30 % от суммарной величины. Под воздействием облачности доля прямой солнечной радиации может сокращаться до 12–17 %. Интенсивность солнечной радиации зависит также от прозрачности атмосферы, то есть от запыленности, содержания водяного пара, аэрозолей и т. д. Прозрачность атмосферы существенно изменяется по сезонам года. Прозрачность атмосферы увеличивается от лета к зиме и достигает максимальных значений в ноябре-декабре (первый максимум) и в феврале (второй максимум). Однако из-за значительной облачности в зимний период года продолжительность солнечного сияния существенно сокращается. Самыми солнечными месяцами на территории Беларуси являются июнь и июль. Именно на эти летние месяцы приходятся максимальные значения прямой солнечной радиации. На горизонтальную поверхность за год в Беларуси приходится в среднем около 1 500–2 000 МДж/м<sup>2</sup> (358–478 тыс. ккал) прямой солнечной радиации. Таким образом, соотношение прямой и рассеянной солнечной радиации изменяется на протяжении года. Почти во все месяцы прямая радиация меньше, чем рассеянная. Особенно значительно это различие в зимний период года. И только с мая по июль доля прямой радиации бывает несколько выше, чем рассеянной. В годовом ходе суммарной радиации хорошо выражен максимум в июле и минимум в январе (в Минске – 623 и 40 МДж/м<sup>2</sup>). Резкое возрастание суммарной солнечной радиации обычно наблюдается в марте из-за увеличения угла падения солнечных лучей, роста продолжительности дня и уменьшения облачности. В связи с этими обстоятельствами на май, июнь и июль приходится почти 50 % годовой суммарной радиации, а на ноябрь, декабрь и январь – только 5 %. Свои особенности имеет и суточный ход суммарной радиации. Летом, когда в два раза

увеличивается продолжительность дня, поступление солнечной радиации на земную поверхность осуществляется более продолжительное время. Например, в июне оно увеличивается до 21 часа и достигает максимума около полудня. В Минске, например, в ясные июньские дни за сутки поступает в среднем  $3,17 \text{ МДж} / (\text{м}^2 \text{ час})$  (757 ккал), а в декабре – всего  $0,71 \text{ МДж} / (\text{м}^2 \text{ час})$  (159 ккал). Абсолютный полуденный максимум наблюдается в мае ( $3,93 \text{ МДж} / (\text{м}^2 \text{ час})$ ) (938 ккал), когда в воздухе содержится минимальное количество водяного пара и аэрозолей. Но суточная сумма радиации выше все же в июне. В суммарном ходе суммарной радиации большое значение имеет облачность. Летом при ясном небе величина суммарной радиации на 50 % выше, чем в условиях средней облачности. Максимальная суточная радиация при средней облачности в июне в Минске составляет около  $20,79 \text{ МДж}/\text{м}^2$  (4 965 тыс. ккал), а в декабре – до  $1,34 \text{ МДж}/\text{м}^2$  (320 тыс. ккал).

На всех континентах мира в результате опытно-промышленной эксплуатации солнечных установок убедились и не вызывает сомнений, что производить электроэнергию за счет солнца в странах, сравнимых по освещенности с нашей республикой, вполне целесообразно. Ярким тому примером является Германия, которая к 2020 году намерена вложить в солнечную энергетику существенные средства.

По данным Европейского межакадемического совета, расположенного в г. Амстердаме, в 2005 году производство электроэнергии обычной солнечной установкой мощностью 1 кВт в Голландии было доведено до 900 кВт/ч в год. Там же стационарная солнечная электростанция с 20 % коэффициентом полезного действия и пиковой мощностью 1 кВт вырабатывает за год 2 тыс. кВт/ч. Для сравнения следует указать, что в пустыне Сахара, где наблюдается самая высокая инсоляция, этот показатель доходит до 3,5 тыс. кВт/ч. При установке системы слежения за солнцем выход электроэнергии при тех же условиях возрастает до 2,8 тыс. кВт/ч в Германии и до 5 тыс. кВт/ч в Сахаре.

Если говорить о возможностях Беларуси, то необходимо подчеркнуть, что уровень освещенности территории Беларуси даже выше, чем в Германии или Голландии. Анализ результатов многолетних исследований свидетельствует, что с помощью рядовых солнечных установок мощностью 1 кВт почти на 70 % территории нашей страны можно получать более 900 кВт/ч, на 25 % – 975 кВт/ч и на 5 % – 1 050 кВт/ч электрической энергии. Это означает, что потенциальная эффективность использования солнечных установок в Беларуси только за счет благоприятных условий инсоляции на 10–17 % выше, чем в Польше, Нидерландах, Германии, Бельгии, Дании, Ирландии, Великобритании,

не говоря уже о странах, находящихся севернее. Следовательно, расположение республики, ее географическая широта, высота над уровнем моря, а также метеорологические условия не являются сдерживающими факторами для развития солнечной электроэнергетики.

В настоящее время для преобразования солнечного излучения непосредственно в электроэнергию используются так называемые солнечные панели. Исходным материалом для их производства является один из самых распространенных в земной коре элементов – кремний. Кремний занимает второе место по распространенности на Земле после кислорода. Подсчитано, что чтобы получать 100 % требуемой электроэнергии для Европы, необходимо около 0,7 % её площади занять панелями солнечных батарей. Производители солнечных панелей гарантируют, что в течение 25 лет производительность энергии панелями падает не более чем на 20 %, кроме того батарея панелей не имеет движущихся частей, что существенно упрощает и снижает стоимость обслуживания, поэтому срок службы может достигать 100 лет при незначительном снижении эксплуатационных характеристик.

Солнечные электростанции или солнечные модули могут служить автономным источником энергии либо включаться в общую энергосистему. Солнечные модули преобразуют энергию солнечной радиации в постоянный ток. Далее через кабель электроэнергия поступает в конвертер, который отслеживает работу солнечных модулей и потом – в инвертор. Инвертор преобразует постоянный ток в переменный ток с заданными параметрами, требуемыми для данной энергосистемы либо локального потребителя. Через счетчик вся энергия от солнечных модулей поступает в энергосистему либо к потребителю. Инвертер и конвертер часто изготавливаются в виде одного блока устройств и выбираются в соответствии с суммарной мощностью всех модулей. Нередко инвертор устанавливают с запасом мощности, с таким расчётом, чтобы впоследствии мощность станции можно было нарастить.

С каждым годом солнечная энергетика играет всё более важную роль в улучшении безопасности энергоснабжения европейских и других стран. Солнечная энергия становится одним из главных источников электроэнергии из-за многочисленных экологических и экономических преимуществ и доказанной надежности.

Таким образом, сегодня нет объективных препятствий для развития солнечной энергетики и в Беларуси. Проекты в данном направлении обещают скорую окупаемость, являются надежными в плане получения выручки и не требуют сложного обслуживания. О том, что Республика Беларусь намерена в будущем активно наращивать производство солнечной энергии, свидетельствуют данные о строительстве

на территории Гродненской области первой в Беларуси солнечной электростанции большой мощности.

Солнечная энергетика требует площадей для размещения солнечных панелей. Такими площадями можно сказать в избытке владеет сельское хозяйство, одновременно являясь потребителем электрической и тепловой энергии. К этому необходимо добавить, что из всех отраслей экономики сельское хозяйство Беларуси является традиционно дотационной отраслью. В этих условиях энергосбережение становится одним из ключевых факторов развития всей белорусской сельскохозяйственной отрасли. Энергосбережение – в буквальном смысле двигатель современного сельского хозяйства, где оно направлено в первую очередь на повышение экономической отдачи от затрачиваемых ресурсов. Иными словами, цель в данном случае заключается не в минимизации затрат тепловой или электрической энергии за счет сокращения производства, а в уменьшении объема ресурсов, необходимых для выпуска единицы сельскохозяйственной продукции.

Нужно отметить, что ресурсосбережение определяется также законодательными нормами и инициативами государства. Что касается рыночных мотивов, то постоянный рост цен на энергетические ресурсы приводит к повышению себестоимости сельскохозяйственной продукции. А это делает отечественного производителя менее конкурентоспособным на фоне зарубежных поставщиков. Как ситуация может обернуться сейчас хорошо видно на примере производства молока в Российской Федерации. За последние годы проблемы в российской молочной отрасли привели к росту импорта пальмового масла, используемого в качестве заменителя молочного жира в продуктах питания. В стране наблюдаются растущие объемы производства продукции, использующего пальмовое масло, которое не считается полезным для здоровья человека, что вызывает особую тревогу среди потребителей России.

Если говорить о небольших (семейных) фермах, то основой их энергосберегающих мероприятий является экономия тепла, в частности топлива для котельных, и электроэнергии. Электро- и теплоснабжение позволяют существенно оптимизировать затраты без остановки производства и полного перевооружения фермы, что особенно актуально в таких сферах как животноводство и растениеводство в закрытом грунте.

Подобные сельскохозяйственные производства часто расположены довольно далеко от основных коммуникаций. Это значит, что они испытывают сложности с подключением к магистральным линиям теплоснабжения или газа. Иными словами, для нужд отопления и подготовки горячей воды им приходится строить свои собственные котельные,

в качестве первичного теплоносителя использовать дрова, дизельное топливо и другие довольно дорогостоящие виды горючего, что отражается на себестоимости производимой продукции. В этой связи наиболее доступным средством повышения энергоэффективности подобных предприятий является использование таких возобновляемых источников, как солнце.

Преобразование солнечной радиации в электричество на текущий момент – одна из самых активно развивающихся отраслей альтернативной энергетики в мире. По оценкам О. Шеповаловой, заведующей лабораторией энергообеспечения сельских зданий, крестьянских и фермерских хозяйств ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии, к 2030 году объем производства солнечной энергии в мире должен вырасти в 60 раз (относительно уровня 2004 года), а выработка тепла на солнечных тепловых установках – в 10 раз [70].

Использование энергии солнца позволяет застраховаться от типичных для села перебоев в электроснабжении, которые порой приводят к невозможным убыткам. В европейских странах отрасль сельского хозяйства широко применяет солнечные батареи, в том числе фермерские предприятия устанавливают панели на крыши своих построек. Дополнительным побудительным мотивом является возможность использовать площади крыш сельскохозяйственных построек под солнечные электростанции. В этом отношении сельскохозяйственные предприятия имеют преимущества перед остальными производителями солнечной энергии. Вырабатываемая ими электроэнергия продается электросбытовым компаниям. Что позволяет получать существенный дополнительный заработок. Аналогичная система взаимоотношений между производителями альтернативных источников энергии и энергосбытовыми компаниями вырабатывается и в Беларуси.

Таким образом, наряду с использованием солнечной энергии в фотосинтетических процессах, развитие солнечной энергетики в качестве альтернативы традиционной, может самым существенным образом снизить зависимость республики от импорта энергоресурсов и создать свой собственный эффективный источник практически неограниченной энергии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вода, воздух, недра, почва, животный и растительный мир на определенной территории – все это компоненты природы, то есть ее элементы, части целого. Их сочетание на территории Беларуси представляет собой национальный природный комплекс (ПК). «Комплекс» в переводе с латинского означает «сплетение». Река, озеро, болото, природные зоны, леса – это примеры природных комплексов меньшего масштаба. Таким образом, природные комплексы весьма разнообразны – и по своим свойствам, и по охвату территории, однако для каждого из них характерна одна общая черта – взаимообусловленность и взаимосвязанность компонентов природы. Изменение какого-то одного компонента неизбежно влечет за собой изменение других, и в конечном счете, – самого национального природного комплекса. К примеру, люди осушили болото, вырубали лес – исчезли их обитатели, растительность и т. д.

Национальный природный комплекс Беларуси состоит из трёх основных природных экологических систем: сельскохозяйственной, лесной и водно-болотной. Объединяющим началом существования национального природного комплекса являются фотосинтетические энергетические процессы. Без потока энергии от солнца к экологическим системам и её концентрирования растениями не может существовать жизнь в том виде, в котором мы её знаем.

Основу или базу природного комплекса Беларуси образует её территория или площадь, которая ограничена государственной границей. Территория – это ещё и земельный фонд, составляющий 20 759,6 тыс. га. Следовательно, площадь Беларуси от общей площади Земли составляет 0,04 %, от площади суши – 0,14 % и от площади мировых земельных ресурсов – 0,16 %.

По занимающей территории страна занимает 13-е место в Европе. По своей площади Беларусь относится к средней европейской стране (207,6 тыс. км<sup>2</sup> составляет 2 % площади Европы).

Обеспеченность 1 жителя планеты площадью суши составляет 2,13 га, земельными ресурсами – 1,84 га (при численности населения 7 млрд человек). По мере увеличения количества земель обеспеченность земельными ресурсами снижается. В Беларуси, по состоянию на 1 января 2012 года на душу населения приходилось по 2,19 га общей площади земли.

Распределение земель по административным образованиям в Беларуси сложилось таким образом, что из шести областей наибольшей площадью владеет Гомельская область, затем следуют Минская

и Витебская области и наименьшей территорией располагает Гродненская область

Земельный фонд Беларуси состоит из земель сельскохозяйственного назначения в количестве 8874 тыс. га (земли сельскохозяйственных организаций, крестьянских, фермерских хозяйств и граждан), лесные и лесопокрытые земли составляют 9468,6 тыс. га и под болотами и водными объектами находится 1364 тыс. га. Следовательно, основные экологические системы республики занимают площадь 19706,6 тыс. га или 95 % от общего земельного фонда.

Для территории Беларуси характерны такие типы почв как: дерново-подзолистые, дерново-подзолистые заболоченные, дерново-болотные, дерновые, торфяно-болотные и пойменные. По составу подстилающих пород почвы подразделяются на песчаные, супесчаные и суглинистые.

Равнинный рельеф местности является одним из определяющих факторов климата Беларуси. Равнинный рельеф не препятствует проникновению на территорию арктических, тропических, умеренных воздушных масс, что сказывается на устойчивости погоды, особенно в зимний период.

В целом, оценивая факторы, определяющие климат Беларуси можно заключить, что климатические ресурсы страны являются благоприятными для земледелия и выращивания культур умеренных широт.

Вместе с тем, в силу тесных взаимосвязей природных условий, экономических и социальных объектов в Беларуси используется интегральное, общегеографическое районирование территории. В Беларуси нет резких природных и экономических отличий. Однако в разных частях имеются свои различия: в природных условиях, размещении населения, специализации хозяйства, что стало основанием для выделения трёх природно-хозяйственных районов: северная Беларусь, центральная Беларусь и южная Беларусь. Границы данных районов не всегда совпадают с границами административно-территориальных единиц – областей, районов. Природно-хозяйственное районирование используется для ведения правильного, рационального территориального планирования хозяйства, видения перспектив и проблем его развития. В последнее время, в связи с заметным потеплением климата, вносятся предложения о выделении четвертого района на юге республики.

Из установленных 13 географических поясов Земли Беларусь находится в умеренном поясе Северного полушария. Территория страны расположена между 56-м и 51-м градусами северной широты, что определяет угол падения солнечных лучей, продолжительность дня и солнечного сияния, с чем связано количество поступающей солнечной радиации. В течение года угол падения солнечных лучей

в полдень изменяется на  $47^\circ$ , продолжительность дня – более чем на 10 часов. Годовой приход суммарной солнечной радиации увеличивается от северных к южным районам – от 3 500 до 4 050 МДж/м<sup>2</sup> (84–97 ккал/см<sup>2</sup>). Средний месячный уровень солнечной радиации среди областных центров Беларуси колеблется от 23 908 ккал/м<sup>2</sup> в Гродно, до 25 542 ккал/м<sup>2</sup> в день в Гомеле. При этом в декабре месяце, в период наименьшей инсоляции, на территорию страны падает 440–593 ккал/м<sup>2</sup>, а в период наибольшей инсоляции, в мае месяце – 4 248–4 472 ккал/м<sup>2</sup> в день

С земельными ресурсами напрямую связано количество поступающей на территорию солнечной энергии. Живые организмы в экосистемах Беларуси подвергаются воздействию солнечного света. Свет служит первичным источником энергии, без которого невозможна жизнь. Установлено, что на земную биосферу из космоса падает солнечный свет с энергией 2 ккал/см<sup>2</sup> в минуту (солнечная постоянная). При прохождении через атмосферу часть солнечной энергии теряется и до поверхности Земли доходит не более 67 % энергии солнечного света или 1,34 ккал/см<sup>2</sup> в минуту.

Территория Республики Беларусь расположена между  $51$  и  $56^\circ$  с.ш. умеренного пояса, на которую поступает суммарная солнечная радиация от 84 ккал/см<sup>2</sup> на севере до 97 ккал/см<sup>2</sup> на юге. Следовательно, территория находится под суммарной солнечной радиацией в диапазоне от 0,84 до 0,97 Мккал/м<sup>2</sup> или в среднем 0,91 Мккал/м<sup>2</sup> в год. За год на всю площадь поверхности страны поступает около 188 912 Тккал. В переводе в условные единицы данное количество энергии эквивалентно 26 987 млн. т у.т. Поступление солнечной энергии в основные экосистемы страны пропорционально занимаемой ими площади. Из данного количества энергии на земли сельскохозяйственного назначения поступает 80 753 Тккал (42,7 %), на земли под лесами – 86 164 Тккал (45,6 %) и на земли под болотами и водными объектами – 12 412 Тккал (6,6 %).

По данным М. Hulbert (1971) 30 % солнечного излучения от годового поступления отражается, 46 % превращается в тепло, 23 % расходуется на испарение и осадки, 0,5 % уходит на нагревание Земли, 0,8 % используется в фотосинтезе, 0,2 % расходуется на ветер, волны, течения и около 0,0017 % приходится на энергию приливов. Из приведенных показателей видно, что лишь незначительная часть энергии солнечного излучения падающего на поверхность планеты фиксируется в биомассе растений.

Согласно данным М. Hulbert (1971), в фотосинтезе растений, в условиях Беларуси, может быть использовано около 7,3 тыс. ккал

энергии на  $1 \text{ м}^2$  или 73 Мккал на площади в 1 га. Если принять это за основу и представить, что вся территория республики покрыта естественными фотосинтезирующими растениями, то в фотосинтезе могло бы использоваться максимум около 1 515 Тккал солнечной энергии (0,8 % солнечного излучения). Но поскольку значительная часть территории республики освоена и урбанизирована, через фотосинтез растений, существующей сельскохозяйственной экосистемы, может усваиваться около 648 Тккал, лесной экосистемы – 685 Тккал и водно-болотной экосистемы – 99,6 Тккал. Поэтому в процессах фотосинтеза растений во всех этих трёх экосистемах может усваиваться примерно 1 432,6 Тккал солнечной энергии.

Как у наземных, так и водных растений активность фотосинтеза связана линейной зависимостью с уровнем светового насыщения: отклонение от оптимума вызывает падение фотосинтеза.

Знание законов продуктивности экосистем и возможности логистики и количественного учета потока энергии имеют важное практическое значение. Первичная продукция экосистем и эксплуатации человеком природных сообществ – основной источник запасов пищи для человечества.

Точные расчеты логистики потока энергии и масштабов продуктивности экосистем позволяют регулировать в них круговорот веществ таким образом, чтобы добиваться наибольшего выхода выгодной для человека продукции. Кроме того, необходимо хорошо представлять допустимые пределы изъятия растительной и животной биомассы из природных систем, чтобы не подорвать их продуктивность. Подобные расчеты обычно очень сложны из-за методических трудностей.

Теоретическая возможная скорость создания первичной биологической продукции определяется возможностями фотосинтетического аппарата растений (ФАР). Максимально достигаемый в природе КПД фотосинтеза 10–12 % энергии ФАР, что составляет около половины теоретически возможного. КПД фотосинтеза в 5 % считается для фитоценоза очень высоким. Средний коэффициент использования энергии ФАР для всей территории, бывшего СССР, составлял 0,8 %: от 1,8–2,0 % на Кавказе до 0,1–0,2 % в пустынях Средней Азии. В большинстве восточных районов, где менее благоприятны условия увлажнения, этот коэффициент составляет 0,4–0,8 %, на европейской территории – 1,0–1,2 %. КПД суммарной радиации примерно вдвое ниже.

В целом по земному шару усвоение растениями солнечной энергии не превышает 0,1 %, так как активность фотосинтеза растений ограничивает множество факторов.

Мировое распределение первичной биологической продукции крайне неравномерно. Общая годовая продукция сухого органического вещества на Земле составляет 150–200 млрд т. Более трети его образуется в океанах, около двух третей – на суше. Почти вся чистая первичная продукция Земли служит для поддержания жизни всех гетеротрофных организмов. Энергия, недоиспользованная консументами, запасается в их организмах, органических осадках водоемов и гумусе почв.

Потребности людей постоянно растут. В настоящее время человечество уже живёт за гранью собственных возможностей: потребляется больше, чем экосистема Земли может произвести. Показателем или индикатором устойчивого развития любой страны является экологический след. Экологический след – это мера воздействия человека на окружающую среду. Используя его, определяют соотношение между потребностями и объемами экологических ресурсов, которые имеются в запасе. Данное понятие было впервые введено в 1992 году канадскими учёными В. Рисом и М. Вакернагелем и на сегодня является одним из наиболее распространенных индикаторов устойчивости.

Экологический след – это сумма шести составляющих, а именно: растениеводческого, животноводческого, лесохозяйственного, рыбохозяйственного, энергетического следов и следа инфраструктуры. Для каждого из этих элементов характерен единый принцип расчёта: объёмы внутреннего потребления переводят в эквивалентную площадь со среднемировой продуктивностью, выраженную в глобальных гектарах (гга), и которая делится на численность населения страны. Затем шесть показателей суммируются, и определяется экологический след в расчёте на душу населения, который является более наглядным показателем, так как учитывает количество населения, непосредственно осуществляющее внутреннее потребление. Очевидно, что продуктивность земли различается, глобальные гектары позволяют сравнивать землю разной продуктивности. Так, 1 га пшеничных полей сопоставим с 2,1 гга; 1 га пастбищ – с 0,5 гга; 1 га лесов – с 1,4 гга; 1 га рыбоводческих территорий – с 0,4 гга; 1 га застроенного пространства – с 2,2 гга и т. д.

Экологический след иллюстрирует, кто сколько потребляет природных ресурсов, следовательно, способствует более правильному их использованию. В мировом масштабе определение данного показателя основывается на информации, предоставляемой Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО), Международным энергетическим агентством (МЭА) и Межправительственным советом, изучающим климатические изменения.

В национальном природном комплексе человек занимает несколько трофических уровней и связано это с характером его питания.

При потреблении мяса травоядных животных человек выступает как вторичный консумент на третьем трофическом уровне. При вегетарианском питании у человека наблюдается самая короткая пищевая цепь, а при питании растительной и животной пищей он одновременно первичный и вторичный консумент. В зависимости от типа питания потоки энергии пропорциональны долям растительной и животной пищи в рационе.

Потребности населения в пищевых продуктах определяются путём расчётов производства, запасов и потребления продуктов питания, основанных на энергетических эквивалентах, выраженных в калориях.

Питание является одной из основных физиологических потребностей живого организма. Только с пищей человек получает питательные вещества и пищевую энергию, необходимые для нормальной жизнедеятельности.

Потребности Беларуси в основных пищевых веществах и энергии для населения страны зависят от численности, возраста, рода трудовой деятельности населения. Средневзвешенная потребность 1 жителя республики в белках составляет 102 г/сутки, жирах – 100 г/сутки, углеводах – 424 г/сутки и пищевой энергии – 3100 ккал. Годовая потребность 1 жителя Беларуси в белках колеблется на уровне 3,72 кг, жирах – 3,65 кг, углеводах – 154,7 кг и энергии – 1,13 Мккал. Годовая потребность всего населения республики в белках составляет 355 723 т, в жирах – 347 434 т, углеводах – 1 466 953 т и энергии 10,7 Тккал.

Для удовлетворения потребностей жителей в продуктах животного происхождения им достаточно употреблять ежедневно около 250 г молока, 100 г мяса и 1 яйцо. Данное количество продуктов удовлетворяет суточную потребность человека в белках на 31 %, в жирах на 33,6 %, углеводах на 3,2 % и пищевой энергии на 15,6 %. Недостающие до нормы питательные вещества следует восполнять за счет продуктов растительного происхождения.

Для упрощения и ускорения определения потребностей населения в основных питательных веществах и энергии предлагается ввести и использовать единицу условного взрослого населения. При этом из 15 групп населения, выделяемых в статистической отчетности, в расчётах остаются только три группы. Население в возрасте 10–59 лет принимается за взрослое и каждый человек соответствует 1 условной единице, в этом возрасте самые высокие потребности в питательных веществах и энергии, в возрастной группе 0–9 лет каждый человек соответствует 0,5 условной единице и в возрастной группе 60 и старше лет соответствует 0,7 условных единиц, так как в данных группах потребности ниже. В результате перевода населения в условное

(количество условного населения 8 425,6 тыс. человек) и умножения на потребности 1 условного человека (в белках 114 г/сутки, жирах – 113 г, углеводах 470 г и энергии 3 450 ккал), получаются практически одинаковые показатели республиканских потребностей, что и в первом варианте, более детальном расчёте.

Общая калорийность производимых в республике основных видов продуктов для всего населения достигает 33,4 Тккал/год, из которых на продукты растительного происхождения приходится 26,7 Тккал и животного происхождения – 6,7 Тккал.

Общая калорийность производимых продуктов на душу населения более чем в 3,1 раза превышает годовую потребность.

Наряду с производством продуктов важнейшим показателем благополучия населения является потребление продуктов. По данным органов статистики, потребление основных продуктов в натуральном выражении на душу населения составляет 1206 кг, или 46,8 % от производимого количества. Первое место по потреблению занимает молоко, затем идут картофель и хлебные продукты.

Пересчёт калорийности потребляемых основных видов продуктов на всё население республики позволяет установить, что их калорийность составляет 11,3 Тккал/год, из которых на продукты растительного происхождения приходится 7,5 Тккал и животного происхождения – 3,8 Тккал.

Основным источником энергии для населения Беларуси являются агроэкосистемы. Для того, чтобы управлять агроэкосистемой приходится затрачивать антропогенную энергию – на обработку почвы и полив, на производство и внесение удобрений и химических средств защиты растений, на обогрев животноводческих помещений в зимнее время и т. д. Количество затрачиваемой антропогенной энергии зависит от избранной стратегии управления. Сельское хозяйство может быть интенсивным (высокие вложения энергии), экстенсивным (низкие вложения энергии) или компромиссным (умеренные вложения энергии). Компромиссная стратегия считается наиболее целесообразной, так как позволяет сочетать достаточно высокий выход сельскохозяйственной продукции с сохранением условий среды и экономией энергии.

Однако даже при интенсивной стратегии управления доля антропогенной энергии в энергетическом бюджете экосистемы составляет не более 1 %. Основным источником энергии для «работы» агроэкосистемы является Солнце.

В настоящее время человек управляет практически всеми параметрами современных агроэкосистем:

– составом продуцентов через замену естественных растительных сообществ на искусственные посевы сельскохозяйственных растений и посадки плодовых деревьев;

– составом консументов путём замены естественных фитофагов на домашний скот;

– соотношением потоков энергии по главной пищевой цепи «растение – скот – человек»;

– непроизводительным оттоком вещества и энергии по дополнительной пищевой цепи через популяции сорных растений, насекомых фитофагов, паразитов;

– уровнем первичной биологической продукции благодаря созданию лучших условий для развития растений за счет обработки почвы, удобрений и полива.

Из приведенного видно, что управление агроэкосистемой осуществляется посредством биологических посредников, к которым относятся культурные растения, сельскохозяйственные животные, почвенная биота и все прочие организмы, населяющие агроэкосистему. Здесь посредники играют роль биологических усилителей, позволяющих уменьшать затраты антропогенной энергии.

Следует добавить, что агроэкосистемы значительно более открыты, чем естественные экосистемы: с растениеводческой и животноводческой продукцией из них происходит отток элементов питания. Некоторое количество элементов питания теряется и за счет вымывания в грунтовые и наземные воды, а также эрозии – смывания или сдувания с полей мелкозема, который является наиболее питательной частью почвы.

Способы управления агроэкосистемой совершенствуются в течение всей истории сельского хозяйства), однако возможности управления и сегодня по-прежнему ограничиваются целым рядом экологических и биологических условий. К основным экологическим условиям следует отнести климат, характер почв и рельефа. От этих условий зависит состав видов и сортов возделываемых растений и видов и пород сельскохозяйственных животных. К биологическим условиям относят потенциал формирования первичной биологической продукции или эффективность фотосинтеза, максимально возможную долю хозяйственно ценных фракций в урожае, неизбежное рассеивание энергии при переходе ее с первого трофического уровня на второй, плодовитость сельскохозяйственных животных: ограничены верхние пределы яйценоскости кур, числа потомства у коров и свиней и т. д.

Биологические ограничители преодолеть невозможно, хотя влияние ресурсных ограничителей может быть ослаблено при интенсивной

стратегии управления (высокие дозы удобрений, полив, создание закрытого грунта, террасирование склонов). Однако, как показал опыт зеленой революции 60-х гг. XX в., когда на поля пришли сверхурожайные сорта, высокие вложения энергии привели к разрушению агроресурсов – почвы, истощению ресурсов воды и ее загрязнению, снижению биоразнообразия. Таким образом, высокие энергозатраты на управление агроэкосистемой экологически могут быть не оправданными. Кроме того, энергия сама по себе дефицитна, так как ограничены ресурсы энергоносителей, а производство и транспортировка энергии сопровождаются загрязнением среды.

По этой причине при экологически ориентированном управлении агроэкосистемой и умеренных затратах антропогенной энергии получение достаточно большого количества сельскохозяйственной продукции высокого качества обеспечивает сохранение ее агроресурсов. Экологически ориентированное сельское хозяйство ограничивает:

- долю пашни в структуре посевных площадей, сохраняя часть угодий под сенокосами и пастбищами или под лесом;
- обработку почвы, исключаящую или ограничивающую вспашку и замену её на безотвальные плуги и рыхлители, а также дозы минеральных удобрений и химических средств защиты растений;
- поголовье скота.

Кроме того, для экологически ориентированного управления агроэкосистемами:

- возделывают виды и сорта культурных растений и разводят породы сельскохозяйственных животных, которые требуют меньших затрат антропогенной энергии;
- используют экологичные севообороты с многолетними травами и сидератами (их зеленую массу не убирают, а запахивают в почву как удобрение) для восстановления плодородия почв;
- возделывают поликультуры и смеси культурных растений, которые более полно используют агроресурсы и требуют меньших затрат на защиту растений;
- рассредоточивают скот по территории агроэкосистемы на небольших фермах, чтобы облегчить внесение навоза на поля.

Агроэкосистемы, которые создаются в соответствии с экологически ориентированными принципами, называются самоподдерживающимися. В них обеспечивается предельно возможное сходство с естественными экосистемами.

К сожалению, следует констатировать, что доля устойчивых агроэкосистем в мире ничтожна. Под влиянием сельского хозяйства продолжается разрушение почв, нарушаются гидрологические и

гидрохимические характеристики агроландшафтов, снижается биологическое разнообразие.

В отношении сельскохозяйственной экосистемы Республики Беларусь можно отметить следующее. Основными культурами в Беларуси являются зерновые и зернобобовые, на долю которых приходится 46,2 % посевных площадей. Среди них ячмень занимает 36,2 %, пшеница 25 %, а вот площади, отводимые под рожь, сокращаются. Так, если в 2006–2009 годах посевная площадь ржи достигала 507,4 тыс. га, то уже в 2011 году она уменьшилась до 336 тыс. га или на 33,8 %. Наблюдается увеличение посевных площадей рапса в группе технических культур, из пропашных культур – картофеля, а также овощей.

В структуре посевных площадей, после зерновых и зернобобовых, на втором месте располагаются кормовые культуры с удельным весом 38 %. Остальные культуры, а это технические, картофель и овощи занимают около 16 % посевных площадей. Из анализа структуры посевных площадей вытекает, что к основным задачам, решаемым растениеводством республики, относится производство зерна, кормов, картофеля, сахарной свеклы, льна и овощей.

Производимая в агросекторе продукция разнородна по своему составу, питательной ценности и другим характеристикам. Поэтому для её учёта, оценки продуктивности общепринято выражать в весовых единицах с площади угодий, в валовых объемах. Пищевую энергетическую ценность растениеводческой продукции выражают в калориях, кормовую питательность для животноводства – в кормовых единицах.

Энергетическую ценность кормов оценивают по количеству в них обменной энергии. Под обменной энергией понимается та энергия, которая поступает из желудочно-кишечного тракта в организм животных и используется в метаболизме организма. В Беларуси за энергетическую кормовую единицу приняты 10 МДж обменной энергии (2 388 ккал) (А. П. Шпаков и др., 1991). Энергетическая питательность растений в обменной энергии является одним из показателей перехода энергии с автотрофного уровня на следующий, более высокий, гетеротрофный уровень.

Валовой сбор растениеводческой продукции в агросекторе Беларуси в натуральном выражении превышает 100 млн. т или 30,7 млн. т кормовых единиц без учёта льноволокна. Средняя урожайность с 1 га сельскохозяйственных угодий составляет более 113,3 цн или 34,6 цн. кормовых единиц.

Во всей производимой в агроэкосистеме республики растениеводческой продукции содержится около 113,2 Тккал валовой энергии. Данный объем валовой энергии в растениеводческой продукции

получен на площади сельскохозяйственных угодий в количестве 8 874 тыс. га. Поскольку на территорию Беларуси поступает в год в среднем 91,0 тыс. ккал/м<sup>2</sup> солнечной энергии, следовательно, количество сконцентрированной валовой энергии в растениеводческой продукции составляет 1,4 % от количества солнечной.

Разница между фактической валовой или чистой первичной продукцией агроценозов и лучистой солнечной энергией, которую могут ассимилировать естественные агроценозы (без вмешательства человека), составляет приблизительно 32,4 Тккал (113,2–80,8). Полученная разница обуславливается энергетической субсидией или дотацией человека энергии в сельскохозяйственную деятельность.

Интенсификация использования агроценозов является основным направлением производства продукции растениеводства в Беларуси. Это особенно наглядно видно по постепенному наращиванию в республике объемов производимого зерна, сахарной свеклы, рапса и других культур. С ростом населения в мире и улучшением его благосостояния потребность в пище остаётся не только высокой, но и будет в перспективе только возрастать. В этой связи важным моментом требований к агроценозам остается не только обеспечение собственного населения продуктами питания, но и наращивание производства экспортной продукции для получения валютной выручки.

В стране проводится планомерная работа по переводу всех секторов агропроизводства на интенсивный путь развития и прежде всего земледелия. На основании агроэкономических требований рассмотрена перспективная структура посевных площадей для трёх уровней интенсификации земледелия.

Перспективная структура посевных площадей включает 53,5 % зерновых и зернобобовых, 11,8 % технических культур (лён, сахарная свекла, рапс), 1,9 % картофеля, 0,4 % овощей и 32,4 % кормовых культур для удовлетворения в кормах потребностей животноводства. Урожайность зерновых культур при первом уровне интенсификации находится на уровне 40 цн/га, при втором – 45 цн/га и при третьем – 50 цн/га, картофеля соответственно 220, 300 и 320 цн/га, льноволокна – 10, 12 и 15 цн/га, сахарной свеклы – 440, 500 и 550 цн/га, семян рапса – 25, 30 и 32 цн/га, кормовых корнеплодов – 450, 600 и 700 цн/га, зеленой массы многолетних трав на пашне – 250, 400 и 450 цн/га, однолетних трав – 200, 250 и 300 цн/га, промежуточных культур – 130, 160 и 180 цн/га, сенокосов и пастбищ – 150, 200 и 270 цн/га.

При такой структуре посевных площадей и урожайности валовой сбор (без льноволокна) чистой первичной продукции растениеводства достигает 130 814 тыс. т при первом уровне интенсификации, 176 191 тыс. т

при втором и 209 566 тыс. т при третьем (табл. 3.6.2.). Соответственно трём уровням интенсификации выход энергетических кормовых единиц приближается к 41 800 тыс. т, 52 117 тыс. т и 60 438 тыс. т. При этом количество чистой первичной продукции с 1 м<sup>2</sup> сельскохозяйственных угодий увеличивается до 1 475 г на первом уровне интенсификации, до 1 987 г на втором и до 2 363 г на третьем против 1 133 г в базовом году (2011 г.), а выход ЭЖЕ обменной энергии соответственно, – до 0,48, 0,59 и 0,68 против 0,35 к.е. в базовом году. Содержание обменной энергии во всей продукции растениеводства на первом уровне интенсификации определяется в количестве 99,8 Тккал, на втором уровне – 124,5 Тккал и на третьем – 144,3 Тккал. В сравнении с базовым годом это больше на 26,5 Тккал (136 %) при первом уровне интенсификации, при втором – на 51,2 Тккал (170 %) и при третьем – на 71,0 Тккал (197 %).

Ожидаемый выход валовой энергии в растениеводческой продукции должен составить на первом уровне интенсификации около 153,8 Тккал, на втором – 191,5 Тккал и на третьем – 222,5 Тккал с учётом валовой энергии льноволокна.

Если растения в естественных условиях Беларуси, без дотации энергии, ассимилируют на 1 м<sup>2</sup> площади угодий около 910 ккал валовой энергии, то уже при дотации энергии на первом уровне интенсификации ассимиляция может возрасти до 1 730 ккал, втором – до 2 162 ккал и третьем – до 2 507 ккал. В целом, с учётом всех площадей растениеводческого сектора, разница между естественной ассимиляцией и фактическим содержанием валовой энергии в годовой продукции при первом уровне интенсификации может увеличиться до 73,0 Тккал, при втором уровне – до 110,7 Тккал и при третьем уровне – до 141,7 Тккал.

Количество дополнительной энергии аккумулированной растениями должно быть обеспечено путём вливаний её в агросектор через производственную деятельность человека.

Среди природных богатств республики большую роль играют лесные биогеоценозы, представляющие собой источник многих видов продуктов. Их рациональное использование позволяет повысить эффективность лесного хозяйства и получать дополнительные средства для его устойчивого развития.

Леса образуют самую крупную экологическую систему, структура которой зависит от физико-географических условий среды, видового состава и биологических особенностей растений. Являясь главным источником и аккумулятором органического вещества, лес оказывает решающее воздействие на энергетический обмен в биосфере, выступает носителем колоссальной энергии.

Лес является одной из основ хозяйственной деятельности человека, источником получения материальных ресурсов (древесины, пищевых, лекарственных и технических ресурсов, продукции охотничьего промысла), базой для развития лесного хозяйства, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, отдыха и туризма, других отраслей народного хозяйства.

Лесной фонд Беларуси, как совокупность всех лесов страны натурального и искусственного происхождения, включает покрытые лесом земли, а также другие земли, предназначенные для нужд лесного хозяйства. По данным Национального статистического комитета общая площадь лесного фонда составляет 9,47 млн га, в том числе лесопокрытая (без прогалин, высечек, гарей) – 8,12 млн. га ее территории. На общую площадь лесного фонда ежегодно поступает около 86 164 Тккал солнечной энергии.

Если на земном шаре в среднем на человека приходится не более 0,6 га леса и 54 м<sup>3</sup> ресурсов древесины, причем большие различия между континентами обусловлены как размещением лесов, так и концентрацией населения, то на одного жителя республики приходится 0,9 га покрытых лесом земель и более 180 м<sup>3</sup> древесного запаса.

В Беларуси осуществляется кадастровая оценка земель лесного фонда. С этой целью ведется Государственный лесной кадастр Республики Беларусь, который является информационной системой, включающей экономические, экологические и социальные сведения о лесном фонде.

Благодаря проводимой государственной политике по рациональному использованию лесов ресурсы древесины в лесах Беларуси в настоящее время увеличиваются. Наиболее точным показателем, показывающим уровень накопления или исчерпания запасов лесных насаждений, является средний прирост. Прирост древесины в последние десятилетия стабилен и достиг 3,6 м<sup>3</sup> с 1 га лесопокрытой площади. Следовательно, на площади леса в 1 га в годовом его приросте в количестве 3,6 м<sup>3</sup> концентрируется примерно 8,25 Мккал солнечной энергии. На площади леса в 1 м<sup>2</sup> это не превышает 825 ккал. Данное количество связанной в древесине энергии составляет 0,09 % от поступающей на автотрофный уровень солнечной энергии.

Республика Беларусь имеет лесопокрытую территорию в количестве 8,12 млн. га, на которой общий ежегодный прирост лесов оценивается в 29,2 млн. м<sup>3</sup> (8,12 x 3,6). Имея среднюю калорийность 1 м<sup>3</sup> древесины и её годовой прирост можно определить, что в ежегодном приросте лесов на всей лесопокрытой территории содержание энергии находится на уровне 67 Тккал (29,2 x 2,291).

В связи с тем, что общая площадь лесной экосистемы больше чем лесопокрытая и составляет 9,47 млн. га, то общая ассимиляция солнечной энергии в биомассе прироста лесов на лесопокрытой территории, в биомассе чистой продукции болот, озёр и рек, а также пахотных земель, входящих в лесную экосистему Беларуси может быть определена в количестве 88,7 Тккал (67 + 21,7).

В число трёх самых крупных экосистем Беларуси относится водно-болотная. На её долю приходится 1 364 тыс. га земельного фонда. В данную экосистему ежегодно поступает около 12 412 Тккал солнечной энергии.

Республика я Беларуси не имеет непосредственного выхода к морям и океанам, на её территории имеются только континентальные водоёмы. Среди них главными являются реки. Ресурсы поверхностных вод Беларуси оцениваются в 58 км<sup>3</sup>/год, по этому показателю она занимает восьмое место среди стран СНГ. Реки являются значительной частью ресурсов пресной воды. Вследствие непрерывной возобновляемости и легкодоступности речные воды наиболее пригодны для использования. Территория Беларуси является водораздельной для бассейнов Балтийского и Черного морей. На её территории насчитывается всего 20800 рек, общей протяженностью около 90,6 тыс. км.

В пределах границ Беларуси насчитывается 10,8 тыс. озёр. Их суммарная площадь составляет почти 2 тыс. км<sup>2</sup> или около 1 % территории страны, а общий объём воды – около 6 км<sup>3</sup>. На территории Беларуси сооружено около 160 водохранилищ различного хозяйственного назначения. К числу искусственных водоемов относятся и пруды, которые аккумулируют местный сток для хозяйственно-бытового водоснабжения и иных целей. Их полный объём не превышает 1 млн. м<sup>3</sup>. Прудовой фонд Беларуси насчитывает более 1500 единиц в колхозах и совхозах.

Наиболее ценным ресурсом пресных вод являются подземные воды. В республике естественные ресурсы пресных подземных вод оцениваются в 18,1 км<sup>3</sup>/год. К ресурсам поверхностных вод следует отнести также болота. В Беларуси имеется более 9,0 тыс. болот.

Водные ресурсы из всех основных источников в Беларуси формируются приблизительно на уровне 94,8 км<sup>3</sup>, и которые состоят из воды рек – 58 км<sup>3</sup>, воды озёр – 6 км<sup>3</sup>, воды водохранилищ – 3 км<sup>3</sup>, воды прудов – 0,2 км<sup>3</sup>, воды рыбхозов – 0,3 км<sup>3</sup>, пресных подземных вод – 18,1 км<sup>3</sup> и воды болот – 9,2 км<sup>3</sup>.

Данные о первичной продуктивности водоемов и её калорийности показывают, что в целом водоёмы Беларуси можно отнести в категорию продуктивных с уровнем ассимиляции углерода в органическом

веществе 100–300 г/м<sup>2</sup> в год или 100–3 000 ккал/м<sup>2</sup>. Все открытые водоемы в Беларуси занимают площадь в 415,2 тыс. га, из которых площади озёр составляют 200 тыс. га, площади водохранилищ – 74 тыс. га, площади прудов – 31,9 тыс. га и площади рек – 109,3 тыс. га. В общей площади водоёмов реки имеют довольно высокий вес, что отрицательным образом отражается на общей продуктивности всех водоемов республики. Поэтому для оценки чистой первичной продукции в водной системе принят показатель продуктивности – 1 600 ккал/м<sup>2</sup> в год. С учётом этого показателя чистая продуктивность водной системы республики или её ассимиляционная энергетическая возможность оценивается на уровне 6,64 Тккал/год.

Болота Беларуси – избыточно увлажнённые участки земли со специфической растительностью, в результате жизнедеятельности и отмирания которой образуется торф.

Белорусским болотам принадлежит особая роль в поддержании экологического равновесия: в естественном состоянии они служат аккумуляторами влаги и перераспределения стока, поддерживают качество поверхностных вод, утилизируют углерод и продуцируют кислород, являются местообитаниями ценных лекарственных растений, ягодников и т.д.

В Беларуси под болотами находится 2,5 млн га (вместе с осушенными) – 14,1 % площади страны, с запасом торфа-сырца 30,4 млрд м<sup>3</sup>. В настоящее время около 7 % (1,7 млн. га) территории страны (в мире – в среднем 3,4 %) по-прежнему сохранены в состоянии, близком к естественному. Распределены болота на территории страны неравномерно. В зависимости от условий водного питания и характера растительности болота подразделяются на верховые, переходные и низинные. Болота как природные объекты представляют собой большую ценность. Круговорот воды в болотах в десятки раз медленнее по сравнению с реками или проточными озерами, и отравление, гибель болот вместе со всем их неповторимым растительным и животным миром может наступить быстро и необратимо.

Под первичной продуктивностью болот подразумевается скорость накопления всей растительной массы в течение одного года на площади 1 га, то есть годичный прирост массы всех ярусов растительности. На болотах различных типов, безлесных и лесных, величина годичного прироста сильно колеблется, что связано со свойственным тому или иному типу богатством торфяной почвы, степенью обводнённости болота и с составом растительности.

В общей площади болот Беларуси на долю низинных болот приходится 81,2 %, переходных – 3 % и верховых – 15,8 %. С учётом такого

распределения площадей болотной системы средневзвешенный прирост абсолютно-сухой фитомассы на болотах республики оценивается в количестве 67,5 цн/га или 675 г/м<sup>2</sup>. Составляющими сухой фитомассы являются 30,93 цн/га или 46 % сухого вещества древостоев, 21,44 цн/га или 32 % сухого вещества травы и кустарничков и 15,13 цн/га или 22 % сухого вещества мхов. В данном случае выход сухой фитомассы древостоев с 1 м<sup>2</sup> площади болот достигает 309 г, травы и кустарничков – 215 г и мхов – 151 г. Средневзвешенный прирост фитомассы всей растительности формируется в количестве 478,5 цн/га или 4 785 г/м<sup>2</sup>.

В условиях Беларуси на 948,8 тыс. га площади болотных биоценозов в общем годовом приросте биомассы растений концентрируется около 30,4 Тккал энергии. Из данного количества 23,9 Тккал энергии, в составе отпада поступает в мортмассу болот, а оставшаяся, в количестве 6,5 Тккал, сохраняется в органическом веществе истинного прироста.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабский, Е. Б. Физиология человека / Е. Б. Бабский, А. А. Зубков, Г. И. Косицкий [и др.] // Учебн. для вузов под ред. Е. Б. Бабского. – М., «Медицина», 1966. – 656 с.
2. Багинский, В. Ф. Лесопользование в Беларуси / В. Ф. Багинский, Л. Д. Есимчик. – Минск : Беларуская навука, 1966. – 367 с.
3. Багинский, В. Ф. Комплексная продуктивность земель лесного фонда: моногр. / В. Ф. Багинский [и др.]; под общ. ред. В. Ф. Багинского. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2007. – 305 с.
4. Бамбалов, Н. Н. Изменение функционирования болот в результате антропогенных нарушений и реабилитации / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович // Природные ресурсы, 2004. – № 2. – С. 38–51.
5. Белавская, А. П. К методике изучения водной растительности / А. П. Белавская // Ботанический журн., 1979. – Т. 64, № 1. – С. 32–41.
6. Белоусова, Т. Н. Экономическая оценка обеспечивающих и регулирующих экосистемных услуг леса / Т. Н. Белоусова, А. С. Рахуба // Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость : материалы VII Межд. науч.- практ. конф. (Минск, 25–36 сент. 2014 г.) : в 2 т. – Минск : БГЭУ, 2014. – Т. 2. – С. 51–52.
7. Богданов, Г. А. Кормление сельскохозяйственных животных / Г. А. Богданов. – М. : Колос, 1981. – 432 с.
8. Буслович, С. Ю. Химические вещества и качество продуктов / С. Ю. Буслович, М. М. Дубенецкая. – Мн. : Ураджай, 1986. – 200 с.
9. Винберг, Г. Г. Первичная продукция водоемов // Г. Г. Винберг. – Минск : Изд-во АН БССР, 1960. – 329 с.
10. Вронский, В. А. Прикладная экология / В. А. Вронский // Учебное пособие. – Ростов н/Д. «Феникс», 1996. – 512 с.
11. Государственная программа многоцелевого использования лесов на период до 2015 г. – Минск : Минлесхоз РБ, 1998. – 173 с.
12. Гоффманн, Л. Использование энергии / Л. Гоффманн, Р. Шимманн // В кн. : Использование питательных веществ жвачными животными. – М. : Колос, 1978. – С. 101 – 115.
13. Гусев, М. В. Микробиология / М. В. Гусев, Л. А. Минеева. – М., Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 384 с.
14. Дронов, А. В. Кормовая и энергетическая ценность различных направлений использования сорговых культур / А. В. Дронов, М. Е. Свист // Селекционно-технологические аспекты повышения продуктивности сельскохозяйственных животных в современных условиях аграрного производства : матер. Межд. науч.-практ конф.,

посвященной 25-летию кафедры частной зоотехнии Брянской ГСХА. – Брянск, 2008. – С. 8–14.

15. Ерманина, И. В. Эколого-экономическая оценка лесных ресурсов в сфере устойчивого развития лесного хозяйства / И. В. Ерманина // Экономический рост Республики Беларусь : глобализация, инновационность, устойчивость : матер. VII Межд. науч.-практ. конф. – Минск : БГЭУ, 2014. – Т. 2 – С. 52–53.

16. Жученко, Ю. М. Проблемы радиационной реабилитации загрязненных территорий / Ю. М. Жученко [и др]; под ред. В. Ю. Агееца. – Гомель : РНИУП «Институт радиологии», 2004. – 121 с.

17. Карпенко, А. Ф. Молоко и лечебное питание / А. Ф. Карпенко. – Гомель, 2010. – 106 с.

18. Карпенко, А. Ф. Эколого-экономические проблемы агропроизводства Гомельской области после Чернобыльской катастрофы / А. Ф. Карпенко // Монография. – Брянск : Дельта, 2012. – 258 с.

19. Карпенко, А. Ф. Энергия и агропроизводство / А. Ф. Карпенко // Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем: материалы УШ Международ. науч.-практ. конф. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. – С. 147–149.

20. Карпенко, А. Ф. Потребности населения Беларуси в продуктах питания и энергии / А. Ф. Карпенко // Аграрная экономика, 2014. – № 3. – С. 8–13.

21. Карпенко, А. Ф. Производство энергии агроценозами Беларуси / А. Ф. Карпенко // Земледелие и защита растений, 2014. – № 4. – С. 17–20.

22. Катанская, В. М. Методы изучения высшей водной растительности / В. М. Катанская, И. М. Распопов // Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. – Л. : Наука, 1983. – С. 163–169.

23. Киеня, А. И. Здоровый человек: основные показатели / А. И. Киеня, Ю. И. Бандажевский // Справочник. – Минск : ИП «Экоперспектива», 1997. – 108 с.

24. Кокин, К. А. Экология высших водных растений / К. А. Кокин. – М. : Изд-во МГУ, 1982. – 160 с.

25. Кононова, М. М. Некоторые биохимические проблемы почвоведения в АН СССР и их современное развитие / М. М. Кононова // Изв. АН СССР, Сер. биол. – 1974. – № 6. – С. 785–798.

26. Корелякова, И. Л. Растительность Кременчугского водохранилища / И. Л. Корелякова. – Киев : Наук. Думка, 1977. – 200 с.

27. Коринец, В. В. Энергетическая эффективность возделывания сельскохозяйственных культур / В. В. Коринец. – Волгоград, 1986. – 30 с.

28. Косых, Н. П. Продуктивность болот южной тайги Западной Сибири // Н. П. Косых, Н. П. Миронычева-Токарева, В. Блейтен // Вестн. Томского ун-та. – 2002. – № 7. – С. 142–152.
29. Косых, Н. П. Биологическая продуктивность болот лесотундры Западной Сибири // Н. П. Косых, Н. П. Миронычева-Токарева, Е. К. Паршина // Вестн. Томского ун-та. – 2008. – № 4. – С. 53–57.
30. Кухарчик, Т. И. Верховые болота Беларуси : трансформация, проблемы использования / Т. И. Кухарчик. – Минск, 1996. – 136 с.
31. Ленинджер, А. Биохимия / А. Ленинджер // Пер. с англ. под ред. А. А. Баева, Я. М. Варшавского. – М. : Мир, 1974. – 957 с.
32. Мысик, А. Т. Справочник по качеству продуктов животноводства / А. Т. Мысик, С. М. Белова, Ю. П. Фомичев [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1985. – 239 с.
33. Мухутдинов, В. Ф. Продуктивность фитопланктона и гидрохимический режим Юмагузинского водохранилища (р. Белая, Башкортостан) в первые годы его существования: автореф. дис. ... кандидата биологических наук: 03.02.10 / В.Ф. Мухутдинов // Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, 2013. – 23 с.
34. Никончик, П. И. Почвенно-экологические возможности производства и экспорта продукции сельского хозяйства при различных уровнях ведения земледелия и животноводства в сельскохозяйственных организациях Беларуси / П. И. Никончик // Земляробства і ахова раслін. – 2010. – № 5. – С. 5–10.
35. Новиков, В. А. Проблема накопления фитомассы в мелководных искусственных водоёмах (на примере озёр верховий Воронежского водохранилища) / В. А. Новиков // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 178–181.
36. Одум, Ю. Экология / Ю. Одум // пер. с англ. – М. : Мир, 1986. – Т. 1 – 328 с.
37. Попков, А. А. Адаптивные системы земледелия в Беларуси / Под общ. ред. зам. премьер-министра РБ А. А. Попкова. – Минск, 2001. – С. 6–14.
38. Попов, И. С. Избранные труды / И. С. Попов. – М.: Колос, 1966.
39. Продовольственная программа: проблемы разработки и реализации. – М. : Наука, 1983. – 342 с.
40. Распопов, И. М. Фитомасса и продукция макрофитов Онежского озера / И. М. Распопов // Микробиология и первичная продукция Онежского озера. – Л. : Наука, 1973. – С. 123–142.
41. Рассашко, И. Ф. Основы экологии : учебно-метод. комплекс / И. Ф. Рассашко [и др.]. // УО «ГГУ им. Ф. Скорины». – Гомель, 2005. – 221 с.

42. Свириденко, Б. Ф. Флора и растительность водоемов Северного Казахстана / Б. Ф. Свириденко. – Омск : ОмГПУ, 2000. – 196 с.

43. Созинов, О. В. Биологическая продуктивность мохово-травяно-кустарничкового покрова ландшафтного заказника «Мартишки (Березы)» / О. В. Созинов, Д. Г. Груммо, Н. А. Зеленкевич [и др.] // Экологические проблемы западного региона Беларуси. Тр. II международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии – 2006». – Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2006. – С. 68–73.

44. Сорокин, Ю. И. Первичная продукция и ее утилизация в морских и пресных водоемах: автореф. дисс. ... доктора биологических наук // Ю. И. Сорокин // Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина. РАН, М. 1963. – 38 с.

45. Ткаченко, Б. И. Основы физиологии человека: учебн. для вузов: в 2 т. / под ред. акад. РАМН Б. И. Ткаченко. – М., 1994. – 506 с.

46. Токарь, О. Е. Состав и структура макрофитной растительности р. Ишим (в пределах Тюменской области) / О. Е. Токарь, Б. Ф. Свириденко // Естественные науки и экология: ежегодник. Межвуз. сб. науч. тр. – Омск : Изд-во ОмГПУ, 2003. – Вып. 7. – С. 66–74.

47. Уиттекер, Р. Х. Сообщество и экосистемы / Р. Х. Уиттекер // пер. с англ. – М. : Прогресс, 1980. – 327 с.

48. Харуэлл, М. Последствия ядерной войны. Воздействие на экологию и сельское хозяйство / М. Харуэлл, Т. Хатчинсон при участии У. Кроппера младшего [и др.] // пер. с англ. – М. : Мир, 1988. – 551 с.

49. Химия биологически активных природных соединений / под ред. Н. А. Преображенского и Р. П. Евстигнеевой. – М. : Химия, 1976. – 456 с.

50. Цыбулько, Н. Н. Ресурсосберегающая обработка почв в условиях радиоактивного загрязнения : (рекомендации) / Н. Н. Цыбулько [и др.]. – Минск : Институт радиологии, 2012. – 64 с.

51. Шимова, О. С. Основы экологии и экономика природопользования: учебник / О. С. Шимова, Н. К. Соколовский; под ред. О. С. Шимовой. – Минск : БГЭУ, 2010. – 454 с.

52. Щербаков, А. П. Продуктивность прибрежных зарослей макрофитов Глубокого озера / А. П. Щербаков // Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. – М., 1950. – Т. 2. – С. 60–78.

53. Шпаков, А. П. Кормовые нормы и состав кормов / А. П. Шпаков [и др.] // Справ. пособие. – Минск : Ураджай, 1991. – 384 с.

54. Экзерцев, В. А. Продукция прибрежно-водной растительности Иваньковского водохранилища / В. А. Экзерцев // Бюл. ин-та биологии водохранилищ АН СССР. – М.; Л., 1958. – № 1. – С. 19–21.

55. Экологические основы природопользования: учебное пособие / Под ред. Э. А. Арустамова. – М. : Издательский Дом «Дашков и К», 2001. – 236 с.
56. Bliss, L. G. Nuclear Winter and human carrying capacity of northern ecosystems / L. Bliss. Unpublished manuscript contributed to SCOPE – ENUWAR., 1985.
57. Denevan, W. M. The aboriginal population of Amazonia / W. M. Denevan // In: Denevan W. M. (Ed). The Native Population of the Americas in 1492, University of Wisconsin Press, Madison, WI, 1976. – P. 205–234.
58. Ellen, R. Environment, Subsistence, and System: The Ecology of Small – Scale Social Formations. Cambridge University Press / R. Ellen.– Cambridge, 1982. – 324 P.
59. Hameed, P.S. Energetic of paddy production in Tamilnada. Tropical Ecology / P.S. Hameed, M. Parimanam. – 1983. – P. 29–32.
60. Lieth, H. Okologische Fragestellungen bei der Untersuchung der biologischen Stoffproduktion 1 Einführung, Definitionen und Wachstumsanalysen / H. Lieth // Qualit. Planter. Et Mater. Vegetab., 1965. – Vol. 2, № 3. – P. 241–261.
61. Greenwood, D. J. Fertilizer use and food production: World Scene. Fertilizer Research / D. J. Greenwood. – 1981. – P. 33–51.
62. Schlichter, T. Energy and Central American agriculture: Analysis of Costa Rica and possibilities for regional independence. Unpublished manuscript / T. Schlichter [et. al.]. – 1985.
63. Whittaker, R. H. Communities and Ecosystems / R. H. Whittaker // Macmillan Pub. Co. Inc – New York, 1975. – 385 P.
64. Wen, D. Energy inputs in agricultural systems of China / D. Wen, D. Pimentel // Agriculture, Ecosystems and Environment – 1984. – P. 29–35.
65. Pimentel, D. Food, Energy and Society / D. Pimentel, M. Pimentel. // Edward Arnold Ltd. – London, 1979. – 165 P.
66. Chatfield, C. Food Composition Tables / C. Chatfield // Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Rome, Italy, 1954.
67. Bender, A. E. Nutrition for Medical Students / A. E. Bender, D. A. Bender // John Wiley and Sons. – Chichester, 1982.
68. Hulbert, M. K. The energy resources of the earth / M. K. Hulbert // Science Am. – 1971. – № 3. – P. 224
69. [3.http : // www.rae.ru/forum2012 13/560](http://www.rae.ru/forum2012/13/560)
70. [hppt: // elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2011\\_02\\_2/pdf/175shepova-lova.pdf](http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2011_02_2/pdf/175shepova-lova.pdf).
71. [7. http : // energo.csti.k46.ru/energokursk/selhoz.shtml](http://energo.csti.k46.ru/energokursk/selhoz.shtml)
72. <http://geopriroda.ru/ecology/306-biologicheskaya-produktivnost-vodnyx-yekosistem.html>

*Научное издание*

**Карпенко Алексей Фёдорович,  
Крук Андрей Викторович**

**ЛОГИСТИКА ПОСТУПЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ  
В ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ БЕЛАРУСИ**

*В авторской редакции*

Подписано в печать 23.03.2017. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 11,4.  
Уч.-изд. л. 12,46. Тираж 100 экз. (1-й з-д 25). Заказ 232.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013.  
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.  
Ул. Советская, 104, 246019, Гомель.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ