

А. Н. ДМИТРИЕВ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ПРОЦЕССА АККУМУЛЯЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ
КРИСТАЛЛИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВОМ ЗЕМЛИ

Проводится общий физический анализ способов аккумуляции солнечной радиации кристаллическим веществом Земли. Существенные количества энергии могут накапливаться при перекристаллизации горных пород, где лучевая энергия выступает в трансформированном виде, в виде тепловой формы передачи энергии. Настоятельно рекомендуются актинометрические исследования петрографических разностей пород.

Введение

Проблема источников энергии геологических процессов приобретает все большую актуальность. Начиная с прошлого века вопросы геоэнергетики были постоянным предметом внимания целого ряда видных исследователей. Однако только в последних работах А. Е. Ферсмана [19] проблема общей геоэнергетики была оформлена как геоэнергетическая теория. В процессе своего развития одно из ее направлений вылилось в оригинальную задачу, решение которой находится в зависимости от выяснения физической сущности процесса. Это гипотеза аккумуляции солнечной энергии кристаллическим веществом земли. Авторами идеи являются В. И. Лебедев и Н. В. Белов [1, 2, 11, 12, 13]. В основе гипотезы лежит тот факт, что в коре выветривания перекристаллизация вещества идет в среде, богатой свободной энергией, а это приводит к образованию таких минеральных ассоциаций и их агрегатов, в которых содержание свободной энергии оказывается значительно больше, нежели в исходном материале.

Наш подход к решению поставленной задачи является существенно физическим, отсюда и способы анализа процессов аккумуляции энергии будут иными.

Целью исследования должен быть однозначный ответ на вопрос, действительно ли солнечная энергия накапливается в масштабах, предусматриваемых гипотезой, является ли она существенным фактором в жизни земной коры и может ли накопленная энергия сохраняться в течение времени, соразмерного геологическому времени.

По мере знакомства с состоянием вопроса об аккумуляции энергии в земной коре все настоятельней становилась необходимость в расчленении задачи на две части: а) рассмотрение процесса аккумуляции на уровне молекул и единичных кристаллов; б) макроскопические особенности задачи.

Очевидно, что в геологическом смысле первая часть задачи является подготовительной, однако физически она должна ответить на существенные вопросы задачи в целом: возможен ли принципиально эффект накопления лучистой энергии Солнца небиогенным путем и каково физическое содержание этого процесса? Этим двум вопросам и посвящается данная работа.

Окончательному эффекту накопления лучистой энергии Солнца веществом предшествует ряд квантовых явлений и физических процессов на микро- и макроуровнях. Отсюда ясно, что многие начальные и узловые моменты идеи проектируются на физику и квантовую химию, а это является той несомненной трудностью, которую геологи самостоятельно вряд ли преодолеют. Возможность геологической интерпретации идеи (по существу) зависит от степени физической ясности процесса накопления энергии.

О МЕХАНИЗМЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕЩЕСТВА И СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Лучевая энергия Солнца является высокоактивной формой энергии, которая во взаимодействии с веществом Земли претерпевает качественную деградацию, переходя в менее активные формы энергии. Качественная деградация лучевой энергии сопровождается определенными преобразованиями вещества на дневной поверхности [21]. Конкретно это осуществляется в процессах выветривания, когда около 60% минерального состава изверженных и метаморфических пород претерпевает различные превращения. Известно, что около 35% первичных алюмосиликатов превращается в минералы глин, слюды и кварц, а изменение основных и ультраосновных пород может привести к образованию гидратов окиси железа, карбонатов кальция, магния, железа и свободной SiO_2 . Несомненно, что такое разделение вещества (своего рода антиэнтропийный процесс) требует наличия большого количества свободной энергии.

Корпускулярный и лучевой поток Солнца, звезд и энергии метеоритов ежегодно приносит на Землю до $1,3 \cdot 10^{24}$ кал, что составляет около $2,48 \cdot 10^{18}$ кал/мин [6]. Такого количества энергии при всех его возможных способах утечки (рассеяние, отражение, переход в тепло и т. д.) вполне достаточно, чтобы оказывать существенное влияние на жизнь земной коры.

Очевидно, что процессы, происходящие под влиянием солнечной энергии, ведут к увеличению теплосодержания Земли (биосфера, работа по разделению и диспергированию вещества, уменьшение альбедо Земли и т. д.).

Поглощение света веществом

Под «поглощением света» подразумевается такой способ взаимодействия вещества и излучения, при котором радиация оказывает активное воздействие на данное вещество. Радиация способствует такому превращению вещества, при котором идет выравнивание температур вещества и воздействующего на него излучения.

Первым условием взаимодействия вещества и излучения является прямое попадание последнего на вещество, поскольку вещество не об-

ладает захватывающим свойством по отношению к радиации. Но и прямое попадание фотона (частички света) на молекулу не является решающим условием для поглощения света, поскольку характер поглощения зависит от структурных особенностей вещества. Эти особенности проявляются в виде так называемых полос поглощения, которым соответствуют определенные длины волн. Простейшим примером, подтверждающим наличие полос поглощения, частично или полностью попадающих в видимую часть спектра, является то, что подавляющая часть минералов окрашена.

Поглощение (и излучение) электромагнитного поля молекулами и атомами происходит в определенной закономерности. Внутренняя энергия любой молекулярной или атомарной системы имеет ряд дискретных значений, иначе говоря, является квантованной. Переход электрона в атоме с низшего энергетического уровня на более высокий сопровождается поглощением одного кванта колебаний соответствующей частоты [5]. Для молекулярной системы результирующий эффект взаимодействия с полем данной частоты будет зависеть от того, какое число молекул находится на низшем или высшем энергетических уровнях.

В оптической области частот коэффициент поглощения электромагнитной волны можно считать пропорциональным числу молекул, находящихся на низшем из двух энергетических уровней. В системе слабо связанных между собой молекул, если при температуре T° она находится в состоянии равновесия, распределение молекул по разрешенным уровням соответствует известному распределению Больцмана [15].

В нашем случае системой со слабо связанными между собой молекулами будет атмосфера, которая является активным агентом выветривания горных пород на дневной поверхности. В результате воздействия солнечной радиации на атмосферу в последней образуются участки с состоянием, отличным от состояния термодинамического равновесия [8]. Установление термодинамического равновесия в неравновесном газе идет путем упругих и неупругих соударений, поскольку радиационные эффекты для компонент воздуха при малых температурах невелики. Дезактивация колебательных и вращательных уровней в результате излучения играет роль в случае, когда имеется $10^{-3} - 10^{-4}$ мм рт. ст. (Л. В. Лесков, Ф. А. Савин, 1960).

При упругом соударении двух молекул меняется содержание поступательной энергии. Так, при соударении молекул с приблизительно одинаковыми массами передача кинетической энергии наиболее эффективна, малый эффект передачи энергии отмечается в случае большой разницы молекулярных весов сталкивающихся молекул.

Переход поступательной энергии молекул во вращательную при неупругих столкновениях для молекул O_2 и N_2 требует около 20 столкновений. Переход же колебательной энергии молекул в поступательную очень мал и для подавляющего большинства молекул составляет $10^3 - 10^4$ столкновений. Установление равновесия возбужденных молекул идет по пути установления равновесия по вращательным степеням свободы.

В результате поглощения электромагнитной энергии система выйдет из состояния равновесия, а если прекратить облучение системы, то через некоторое время она спонтанно (самопроизвольно) перейдет в равновесное состояние. Переход к равновесию обязан постоянному взаимодействию молекул (и атомов) между собой и с вмещающей средой. Релаксационные процессы по механизму своего воздействия на неравновесные системы разделяются на два типа:

1. «Продольные» релаксационные процессы своей причиной имеют звенья энергичных перемещений между окружением молекулярной системы и ее внутренними степенями. В случае кристаллических твердых тел — это тип взаимодействий между молекулярными спинами и кристаллической решеткой вещества.

T_1 есть «постоянная продольного времени релаксации» реже ее называют «релаксационное время спин — решетка», т. е. T_1 определяет время установления равновесия между системой спинов и кристаллической решеткой.

2. Любая когерентность или фазовая взаимосвязь между элементами системы является признаком порядка системы и одновременно указывает на ее неравновесный характер. Релаксационные процессы, стремящиеся нарушить порядок и вернуть систему в состояние равновесия, называются «поперечными» релаксациями. Поперечные релаксационные процессы также протекают по экспоненте и определяются постоянной времени T_2 (релаксационное время «спин — спин»).

Релаксационные процессы, имеющие место в механизме квантовых взаимодействий вещества и излучения, делают невозможным длительное хранение энергии в лучистой форме за счет нарушения больцмановского распределения. В твердых телах молекулы расположены на очень близком расстоянии друг от друга, следовательно, межмолекулярные взаимодействия сильнее, а время T_2 намного меньше. Но поскольку постоянная времени T_2 связана обратной пропорциональностью с уширением полос поглощения [5],

$$\Delta V = \frac{1}{T_2},$$

где ΔV — полоса частот в области взаимодействия поля и молекул, то ширина поглощения увеличивается [18]. Это уширение полосы может иметь значение при вторичных явлениях поглощения.

Накопление энергии системой путем перевода составляющих ее частиц на высший энергетический уровень может осуществляться при соответствующем подборе частоты излучения (hV) к кристаллам с парамагнитными свойствами. Как известно, парамагнитными свойствами обладают химические соединения элементов, имеющие незаполненные внутренние электронные орбиты: трансурановая группа, редкоземельная группа группы железа, палладия и платины. Элементы двух последних групп наиболее охотно образуют диамагнитные структуры, несмотря на наличие свободных орбит. Эти структуры осуществляются при возможности образования донорно-акцепторных связей. Три низко расположенных уровня с достаточной концентрацией орбит на каждом из них имеются в Ni, Cr, Fe, Gd, Mn, V. Если предположить наилучший из случаев (он же будет и наименее вероятным), когда целая минеральная ассоциация обладает парамагнитными свойствами, а спектр излучения, с учетом уширения полосы поглощения, соответствует полосе поглощения, то и тогда поглощенная электромагнитная энергия будет только транзитом или по пути к выщечиванию, или по пути к качественной деградации.

Таким образом, накопление энергии кристаллическим веществом Земли путем непосредственного поглощения и хранения солнечной радиации практически неосуществимо в требуемых геологических масштабах. В этом выводе есть существенная параллель с критикой гипотезы аккумуляции энергии Д. С. Коржинским [9].

Возбуждение молекул и их возвращение в равновесное состояние

Любое излучение является источником энергии в высокоактивной форме. Каждый поглощенный квант излучения нарушает равновесие хотя бы того атома, в котором произошло первичное поглощение.

Молекулы вещества, поглощающего свет, переходят в возбужденное состояние. Однако существует много путей, когда молекулы переходят в основное состояние с минимумом содержания энергии. Именно с возвращением фотовозбужденной молекулы в ее основное состояние связан процесс фотосинтеза. То, что молекулы имеют способ «избавляться» от избытка энергии, объясняет причину, почему длительное освещение минералов, имеющих окраску (по крайней мере, для большинства из них), не приводит к изменению окраски.

Гипотеза аккумуляции солнечной энергии кристаллическим веществом требует особо акцентировать внимание на характере взаимодействия кристаллов и излучения. Среди геологических образований наиболее распространены молекулярные кристаллы. Отсюда вопрос поглощения света в них требует особого внимания.

Особенность молекулярных кристаллов состоит в сохранении молекулами некоторой индивидуальности в кристаллах, поскольку связь между атомами внутри молекул оказывается намного больше сил взаимодействия между молекулами [5]. В зависимости от изложенной особенности молекулярных кристаллов (конечно, упрощенной) колебания атомов в них подразделяются на:

а) внутренние колебания атомов молекулы относительно друг друга, с относительно большими частотами (300 — 3000 см^{-1}), причем эти собственные колебания мало зависят от температуры, изменений агрегатных состояний;

б) колебания решетки, вызванные спинами и поступательными степенями свободы молекул. Частоты колебаний решетки, внешние колебания малы и только иногда превышают 100 см^{-1} . Поскольку этот вид колебаний не был обнаружен у жидкости и пара, его называют решеточным.

Поглощение солнечного излучения твердым кристаллическим телом требует выяснения стационарных состояний кристалла и вычисления вероятностей переходов под действием световой волны из одного состояния в другое. В видимой и ультрафиолетовой областях для большинства твердых тел спектры поглощения при комнатной температуре представляют собой широкие полосы. Исключением являются соли редкоземельных, хрома и марганца, спектры которых дают большое число узких полос. Полосчатый спектр редкоземельных элементов объясняют тем [4, 5], что поглощение света изменяет энергетические состояния электронов внутренней оболочки $4f$, не участвующих в валентных связях и экранированных от воздействия других атомов. Многими исследователями однозначно утверждается факт существенного изменения спектра поглощения при понижении температуры кристалла. Теория спектров поглощения учитывает возможность смещения молекул из положения равновесия, причем возбуждение состояния кристалла оказывается нестационарным. Если оно распространяется так быстро, что не успевает образоваться локальная деформация, то такое возбуждение принимают за квазистационарное. Если возбуждение распространяется медленно, то имеет место локальная деформация кристалла (экситон «локализирован»). В последнем случае переход энергии возбуждения молекул в энергию колебания решетки является почти неизбежным. Локальные деформации кристалла индуцируют собой тесную связь между внутримолекулярными

возбуждениями и колебаниями решетки, т. е. возбуждение молекул передается колебаниям решетки. Это, с одной стороны, объясняет широкие полосы поглощения при наличии «локализованных» экситонов, а с другой стороны, приводит к превращению поглощенной энергии в теплоту. Если наряду с образованием экситонов свет возбуждает и несколько фотонов, то это является дополнительной причиной уширения полосы поглощения.

Если в результате захвата фотона не происходит химических процессов типа диссоциации или структурной перегруппировки, то средняя продолжительность времени пребывания молекулы в возбужденном состоянии достигает 10^{-8} сек (минимальное среднее время жизни уровня при наиболее благоприятных условиях). Согласно кинетической теории, парная молекула претерпевает за секунду $\frac{\bar{v}}{l}$ столкновений, где \bar{v} — средняя скорость движения молекул, а l — средняя длина их свободного пробега. Следовательно, при комнатной температуре время между столкновением молекул составляет приблизительно $\frac{10^{-10}}{p}$ сек (p — давление в атмосферах). Тогда, если $p=1$, возбужденная молекула в паре, прежде чем излучить поглощенный квант, претерпевает сто взаимных столкновений. Для молекул жидкости или твердого тела время между столкновениями будет на несколько порядков меньше чем 10^{-10} сек [10]. Возбужденное состояние кристалла, вызванное поглощением фотона, в случае, когда не идет фотохимическая реакция, приводящая к вещественному изменению твердого тела, является термодинамически неравновесным. Достижение равновесия кристалла идет по следующим путям.

1. Энергия поглощенного кванта без постепенной убыли перемещается в веществе на значительные расстояния (сравнительно с молекулярными). Это случай миграции энергии [15, 16], который квантовая механика может удовлетворительно объяснить.

Энергия излучения в соответствующей структуре вещества может самопроизвольно передвигаться как нечто цельное, причем энергия данного кванта не подвергается рассеянию (диссипации) по пути. Движение кванта осуществляется в направлении определенных атомов, служащих как бы приемниками энергии. Значительные миграции энергии не имеют достаточного объяснения, но они были обнаружены у люминесцирующих кристаллов, у белковых веществ, у некоторых красителей и пр. Энергия квантов, которые могут мигрировать, велика по сравнению с kT ($h\nu >> kT$), поскольку кванты, сравнимые с kT , взаимодействуют с тепловыми колебаниями атомов и мигрировать не могут. Миграция энергии имеет место тогда, когда поглощенный квант хоть не надолго сохраняется в виде потенциальной энергии.

Накопление энергии через звено миграции квантов энергии осуществляется в узком диапазоне структур вещества и в целом тяготеет к процессам жизнедеятельности. Возможны случаи, когда явления миграции энергии проявляются в окислительной среде, отсюда минеральные образования, кристаллизирующиеся в таких условиях, испытывают на себе влияния свободной энергии среды на квантовом уровне. Микропроцессы в этом случае могут усиливаться однородностью воздействия и впоследствии получить макроскопическое выражение (в виде системы с избытком свободной энергии). Однако в этом случае исходная энергия может быть не только экзогенного, но и эндогенного типа. Такой факт возможности смешанного источника начальной энергии в процессах аккумуляции энергии вытекает из принципиальной однородности элементарных физических актов.

Даже если эффективность переноса электромагнитной энергии низка, то и тогда возбужденная молекула сможет без труда передать свою колебательную энергию другим молекулам за время, значительно меньшее, чем то, которое нужно для излучения. Молекула быстро переходит на низший энергетический уровень с возбужденного электронного состояния, до того как поглощенная энергия высветится в виде излучения. Однако часты и такие явления, когда поглощенный квант в соответствующих условиях высвечивается.

В силу тенденции возбужденных молекул спускаться на низшие колебательные уровни до испускания, а также того, что межатомные расстояния в возбужденных состояниях обычно отличаются от расстояний в основном состоянии, получается, что частота излученного света почти всегда меньше частоты поглощенного. Эту закономерность эмпирическим путем установил Стокс в 1852 г. Однако, когда тепловая энергия (или какая другая) переводит большое число молекул в высшее энергетическое состояние, то в некоторый момент частота испускаемого света будет больше частоты поглощенного (антистоксовская флуоресценция). Явления, когда возбужденная молекула возвращается в основное состояние посредством высвечивания энергии возбуждения, разнообразны и встречаются довольно часто (флуоресценция, фосфоресценция, люминесценция). Разумеется, что этот случай взаимодействия вещества и излучения малоэффективен в процессах аккумуляции энергии.

2. Полное превращение лучистой энергии в тепловую является наиболее обычным, даже по сравнению с частичным превращением. Механизм полного превращения в тепло поглощенного излучения в качественном виде выяснен [7].

Поверхности потенциальной энергии основного и возбужденных состояний молекул могут пересекаться так, что конфигурации ядер имеют некоторые общие «жесткие» оставы, что может быть причиной неадиабатического перехода возбужденного состояния в основное. Многоатомные молекулы соответственно имеют и много степеней свободы для движения ядер, а поскольку поверхность потенциальной энергии является очень сложной, то пересечение этих поверхностей станет для молекул обычным явлением. Возможность безызлучательного перехода в последующем реализуется столкновениями, а молекула, таким образом, перейдет в основное состояние. Этот процесс полного перехода лучевой энергии в тепловую называется процессом внутренней конверсии. В многоатомных молекулах внутренняя конверсия должна происходить гораздо легче, чем в двухатомных. Для молекулярных кристаллов энергия возбуждения с наибольшей вероятностью переходит в теплоту путем распределения энергии по степеням свободы, связанным с колебаниями молекул в решетке. Конкретные способы превращения энергии возбуждения в теплоту имеют свои особенности:

а) переход энергии возбуждения (включающий и возбуждения электронов) в энергию колебаний решетки посредством сил взаимодействия между молекулами;

б) согласно приводимым экспериментальным данным [5], энергия колебания ядер успевает перейти к колебаниям решетки за время, меньшее времени жизни молекулы в возбужденном состоянии. Особенно распространен этот путь при низких значениях температуры. Следовательно, вторым способом перехода энергии возбуждения в теплоту является внутримолекулярный переход электронной энергии возбуждения в энергию колебаний ядер атомов, составляющих данную молекулу, с дальнейшим переходом энергии колебания атомов в молекуле в энергию колебаний молекул в решетке.

Превращение энергии внутримолекулярного возбуждения в теплоту наиболее вероятно для возбужденных состояний кристалла (значение температур несколько выше 0° С), соответствующих возбуждению «локализованных» экситонов. Если в момент поглощения света образуются «свободные» экситоны, то переход энергии возбуждения в тепловую форму передачи энергии осуществляется через состояние локализованного экситона. Быстрота перехода колебательной части энергии возбуждения электронов молекулы в энергию колебания решетки обусловлена тем, что частота решетчатых колебаний отличается от частот внутримолекулярных колебаний меньше в сравнении с частотами возбужденных электронных колебаний [4].

Реальные условия существования минералов и их ассоциаций способствуют всемерному уширению полос поглощения света для составляющих их кристаллов. Теоретические и экспериментальные исследования приводят к заключению, что ширина полос поглощения растет с температурой и при нарушении трансляционной симметрии кристалла. К указанным причинам необходимо добавить нарушение идеальной периодичности реальных кристаллов, наличие примесей, изотопов и тепловых флуктуаций плотности. Последние играют большую роль для уширения полос поглощения света жидкостями. Увеличение интенсивности полос за счет повышения температуры происходит путем одновременного возбуждения молекул, составляющих кристалл, и уже имеющих место колебаний решетки, вызванных высокими температурами (по сравнению с абсолютным нулем).

Поскольку тепловое превращение лучистой энергии является наиболее частым эффектом, а «разогретые» молекулы обладают повышенной реакционной способностью, такое участие световой энергии в химических преобразованиях вещества на дневной поверхности является наиболее значительным в процессе аккумуляции энергии абиогенным путем.

Если длина волн падающего света обеспечивает поглощение световой энергии в одной или нескольких реагирующих частях системы, то можно ожидать увеличения скорости реакции. Энергией активизации при таких фотохимических реакциях служит энергия возбужденных молекул, перестроивших свою электронную оболочку при поглощении фотона [16]. В этом случае интенсивные внутримолекулярные колебания позволяют считать молекулу нагретой, а ее химическую активность уподобить активности при высокой температуре. Отсюда можно ожидать, что скорость химического преобразования вещества на дневной поверхности в процессах выветривания будет зависеть и от степени солнечной радиации. Общеизвестно, что с повышением температуры увеличивается степень диссоциации воды, которая увеличивает скорость гидролитического выветривания. Но солнечная радиация подвергает воду фотолизу, т. е. идет с образованием радикалов. Следовательно, окончательная эффективность гидролитического выветривания будет складываться как из термального, так и из радиационного эффектов.

Основным составляющим звеном в процессах накопления энергии геохимическими системами является биосфера, где эффективность улавливания лучевой энергии Солнца наиболее велика, а пути деградации лучевой энергии наиболее разнообразны. Существенные накопления энергии веществом Земли в конечном итоге следует рассматривать как результат наложения биогенных и абиогенных процессов. В современном развитии энергетики биосферы находят свое подтверждение многие эмпирические выводы В. И. Вернадского по биоэнергетике [3]. Чтобы окончательно выяснить энергетическое слагаемое биосферы, необходимо провести специальные исследования в данном направлении.

К инструментальным исследованиям в области взаимодействия вещества Земли и солнечной радиации

Окончательное выявление значения действия солнечной радиации в процессах выветривания требует тщательного проведения серии актинометрических замеров и исследований.

Отражательные свойства земной поверхности характеризуются величиной альбедо [9], которая представляет собой отношение потока отраженной радиации к потоку падающей радиации. Альбедо для разных подстилающих поверхностей различно. Измерение альбедо в нашей стране проводится с помощью альбометра Янишевского.

Замер альбедо петрографических разностей пород в реальных условиях (в поле) позволит составить картину лучистого энергообмена радиации и горных пород. Замер альбедо в участках, где преобразования вещества в процессе выветривания начали существенно менять химизм и структуру горных пород, будет иметь особо важное значение в вопросе выяснения процента лучистой энергии, претерпевающей внутреннюю конверсию. Для этого еще необходимо определить суммарный приток радиации и абсолютное количество поглощенной энергии в единицу времени. Только после выяснения указанных данных можно перейти к оценке количества энергии, «усваиваемой» геологическими образованиями дневной поверхности.

Установлению путей и способов деградации лучистой энергии вещества может помочь экспериментирование с использованием импульсных ламп [14], которое будет способствовать выяснению характера первичных «повреждений» структуры вещества излучением. Особенно большое значение актинометрические исследования будут иметь для решения макроскопической части задачи. Они помогут отыскать способ, по которому физические разнообразия процессов приобретают геологическое однобразие, т. е. обнаруживают наиболее существенную часть процесса аккумуляции энергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Эффективность прямого усваивания и хранения лучистой энергии Солнца кристаллическим веществом Земли практически очень мала и не может влиять на активную жизнь земной коры. Значительной частью энергии выветривания вещества дневной поверхности является та часть лучистой энергии, которая трансформируется в тепловую. Эта трансформированная тепловая форма энергии (солнечного происхождения, коротковолнового диапазона сравнительно с kT) прямо входит в составляющие агентов химических и кристаллохимических преобразований вещества. В местах, где коротковолновое солнечное излучение в значительной степени переходит в тепловую форму, термодинамика систем и процессов может контролироваться потоком трансформированного тепла. Сам процесс аккумуляции энергии носит сложный характер наложенных преобразований вещества и энергии.

В коре выветривания при перекристаллизации вещества образуются системы, содержащие в себе некоторый эквивалент световой энергии в виде потенциальной энергии химических связей и агрегатного состояния вещества. Количественные оценки этой потенциальной энергии должны, в первом приближении, выявиться в макроскопическом разборе задачи.

2. В ходе анализа взаимодействия вещества и излучения нельзя обойтись без понятия качества энергии. Поскольку лучистая форма энергии Солнца в условиях коры выветривания является высокоактивной формой, то ее работа по преобразованию вещества сопровождается одновременно и деградацией лучистой энергии в менее активную форму. Качество энергии — в противовес возрастанию энтропии — убывает.

3. Интенсивность солнечного излучения (по всему спектру на дневной поверхности) влияет на большинство типов выветривания. Особенно сильно оно должно оказываться при гидролитическом выветривании. Большому воздействию солнечной радиации должны подвергаться минералы, в состав которых входят элементы, имеющие незаполненные внутренние орбиты: редкоземельные, урановые, группа железа. Солнечная радиация влияет и на переотложение материала выветривания, поскольку при поглощении электромагнитной энергии различные элементы при надлежащих условиях ведут себя согласно своим имманентным свойствам, что приводит к усилению процесса разделения элементов в коре выветривания.

Более определенная форма высказывания в отношении последних выводов зависит от актинометрических и экспериментальных исследований литологов в содружестве с физиками.

В заключение автор благодарит проф. В. И. Лебедева за беседу по вопросам энергетики геопроцессов и критические замечания по данной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Н. В. Геохимические аккумуляторы. Тр. Ин-та кристаллографии АН СССР, № 7, 1952.
2. Белов Н. В., Лебедев В. И. Об источниках энергии геохимических процессов. Природа, № 5, 1957.
3. Вернадский В. И. Избранные сочинения. Т. 1.
4. Волькенштейн М. В. Строение молекул. Изд-во АН СССР, 1947.
5. Давыдов А. С. Теория поглощения света в молекулярных кристаллах, Киев, 1951.
6. Достовалов Б. Н. К вопросу о термодинамическом изучении Земли. Т. I. Проблемы геотермии и практического использования тепла Земли. Изд-во АН СССР, 1959.
7. Козман У. Введение в квантовую химию. ИЛ, 1960.
8. Кондратьев К. Я. Перенос длинноволнового излучения в атмосфере. М.-Л., 1950.
9. Кондратьев К. Я. Лучистая энергия Солнца. 1954.
10. Коржинский Д. С. Преувеличение роли солнечной энергии земной коры в энергетике. Изв. АН СССР, № 1, 1955.
11. Лебедев В. И. О возможности поглощения солнечной энергии кристаллическим веществом Земли. Изв. АН СССР, № 4, 1954.
12. Лебедев В. И. Еще раз о возможности поглощения солнечной энергии кристаллическим веществом Земли. Изв. АН СССР, сер. геол., № 8.
13. Лебедев В. И. Основы энергетического анализа геохимических процессов. Изв. ЛГУ, 1957.
14. Лесков Л. В., Савин Ф. А. О релаксации неравновесных газовых систем. УФН, т. LXXII, вып. 4, 1960.
15. Рид С. Возбужденные электронные состояния в химии и биологии. ИЛ, 1960.
16. Риль Н. Миграция энергии, 1948.
17. Теренин А. Н. Фотохимия красителей. Изд-во АН СССР, 1947.
18. Файн В. М. Квантовые явления в радиодиапазоне. Усп. физ. наук. т. XIV, 1958.
19. Ферсман А. Е. Избранные труды. Т. 3, 4.
20. Френкель Я. И. Статистическая физика. Изд-во АН СССР, 1948.
21. Эйгенсон М. С. Солнечная активность как геотектонический фактор. Циркуляр астроном. об-ва, № 28, 13—2, Львов. ун-т, 1954.

UDC 537.283.1

A. N. Dmitriev
PHYSICAL PECULIARITIES
OF THE PROCESS OF SOLAR ENERGY ACCUMULATION
BY CRYSTALLINE MATTER OF THE EARTH

The paper treats of general physical analysis of ways of accumulation of solar radiation by crystalline matter of the Earth. Essential amounts of energy may be accumulated during re-crystallization of rocks where radiation energy appears transformed, as a thermal form of energy transmission. Actinometric investigations of petrographic varieties of rocks are urgently recommended.

Институт геологии и геофизики Сибирского отделения АН СССР,
Статья поступила в Редакцию
Сибирского отделения АН СССР,
1 декабря 1961 г.
Новосибирск

УДК 537.283.1

В статье проводится общая физическая аналитика путей накопления солнечной радиации кристаллическим веществом Земли. Важные количества энергии могут накапливаться при перекристаллизации горных пород, где энергия радиации преобразуется в тепловую форму передачи энергии. Актинометрические исследования петрографических разновидностей горных пород настоятельно рекомендуются.

В статье проводится общая физическая аналитика путей накопления солнечной радиации кристаллическим веществом Земли. Важные количества энергии могут накапливаться при перекристаллизации горных пород, где энергия радиации преобразуется в тепловую форму передачи энергии. Актинометрические исследования петрографических разновидностей горных пород настоятельно рекомендуются.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОДСТАВЛЯЮЩИЕ ПРИ АНАЛИТИКЕ

В статье рассматривается общая физическая аналитика путей накопления солнечной радиации кристаллическим веществом Земли. Важные количества энергии могут накапливаться при перекристаллизации горных пород, где энергия радиации преобразуется в тепловую форму передачи энергии. Актинометрические исследования петрографических разновидностей горных пород настоятельно рекомендуются.

В статье проводится общая физическая аналитика путей накопления солнечной радиации кристаллическим веществом Земли. Важные количества энергии могут накапливаться при перекристаллизации горных пород, где энергия радиации преобразуется в тепловую форму передачи энергии. Актинометрические исследования петрографических разновидностей горных пород настоятельно рекомендуются.

В статье проводится общая физическая аналитика путей накопления солнечной радиации кристаллическим веществом Земли. Важные количества энергии могут накапливаться при перекристаллизации горных пород, где энергия радиации преобразуется в тепловую форму передачи энергии. Актинометрические исследования петрографических разновидностей горных пород настоятельно рекомендуются.

В статье проводится общая физическая аналитика путей накопления солнечной радиации кристаллическим веществом Земли. Важные количества энергии могут накапливаться при перекристаллизации горных пород, где энергия радиации преобразуется в тепловую форму передачи энергии. Актинометрические исследования петрографических разновидностей горных пород настоятельно рекомендуются.

В статье проводится общая физическая аналитика путей накопления солнечной радиации кристаллическим веществом Земли. Важные количества энергии могут накапливаться при перекристаллизации горных пород, где энергия радиации преобразуется в тепловую форму передачи энергии. Актинометрические исследования петрографических разновидностей горных пород настоятельно рекомендуются.

В статье проводится общая физическая аналитика путей накопления солнечной радиации кристаллическим веществом Земли. Важные количества энергии могут накапливаться при перекристаллизации горных пород, где энергия радиации преобразуется в тепловую форму передачи энергии. Актинометрические исследования петрографических разновидностей горных пород настоятельно рекомендуются.

В статье проводится общая физическая аналитика путей накопления солнечной радиации кристаллическим веществом Земли. Важные количества энергии могут накапливаться при перекристаллизации горных пород, где энергия радиации преобразуется в тепловую форму передачи энергии. Актинометрические исследования петрографических разновидностей горных пород настоятельно рекомендуются.

В статье проводится общая физическая аналитика путей накопления солнечной радиации кристаллическим веществом Земли. Важные количества энергии могут накапливаться при перекристаллизации горных пород, где энергия радиации преобразуется в тепловую форму передачи энергии. Актинометрические исследования петрографических разновидностей горных пород настоятельно рекомендуются.

В статье проводится общая физическая аналитика путей накопления солнечной радиации кристаллическим веществом Земли. Важные количества энергии могут накапливаться при перекристаллизации горных пород, где энергия радиации преобразуется в тепловую форму передачи энергии. Актинометрические исследования петрографических разновидностей горных пород настоятельно рекомендуются.