

Возьмем отношение энергий за четверть периода колебаний, соответствующего частоте  $(\omega_1^0 - \omega_2^0)/2$ :

$$f(\eta) = \frac{E}{E_0} = \frac{\eta^2 m_2}{\xi^2 m_1} \sin^2 \left( \frac{\pi}{2} \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1^0 - \omega_2^0} \right).$$

Подставляя в функцию  $\sin^2 \left( \frac{\pi}{2} \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1^0 - \omega_2^0} \right)$  выражения для частот (1), (2), легко убедиться, что на интервале значений  $\eta = 1, 62 \div 3, 73$ , характерном для исследованных карбонатов, эта функция близка к единице и, следовательно, выражение  $f(\eta)$  можно записать в виде

$$f(\eta) = \frac{E}{E_0} = \frac{\eta^2 m_2}{\xi^2 m_1} = \frac{\eta}{\xi^2}. \quad (5)$$

Данная функция (рис. 5) имеет максимум при  $\eta = m_1/m_2 = 1$  и симметрична относительно подстановки  $\gamma = 1/\eta$ , т. е.  $f(\eta) = f(1/\eta)$ . Это означает, что процесс передачи энергии зависит только от соотношения этих масс и не зависит от того, какая масса передает или принимает энергию.

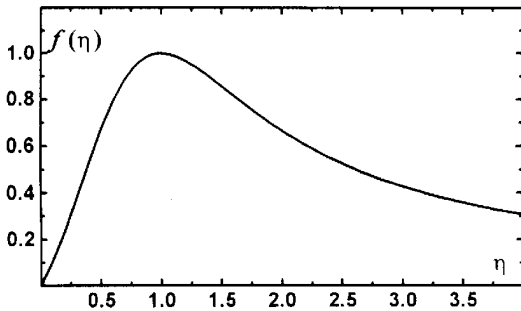


Рис. 5. График функции  $f(\eta) = \frac{\eta}{1 - \eta + \eta^2}$

Предполагая, что теплопроводность веществ с изовалентным замещением пропорциональна данной функции, запишем

$$\lambda = \lambda_0 f(\eta), \quad (6)$$

где  $\lambda$  — теплопроводность исследуемого вещества,  $\lambda_0$  — некая константа, имеющая смысл теплопроводности вещества, массы катиона и аниона которого равны. Мы получили выражение (6) исходя из предположения, что на высоких частотах энергия от атома к атому передается не упругими волнами, а колебаниями по типу биений. Реальное поведение теплопроводности рядов изовалентного замещения достаточно хорошо описывается выведенным соотношением. На рис. 2 представлена расчетная кривая (6), где  $\lambda_0 = 6,7$  Вт/(м·К), с заменой аргумента  $\eta \rightarrow p\bar{M}/m_a - 1$ ,  $p$  — количество атомов в соединении,  $\bar{M}$  — средний атомный вес,  $m_a$  — масса аниона.

Необходимо изучить и другой фактор, влияющий на теплопроводность, а именно изменение констант межатомного взаимодействия вследствие изменения расстояний как между атомами внутри элементарной ячейки, так и между самими анионными остовами. Особого внимания требует вопрос о влиянии структурных изменений на величину теплопроводности. Например, температуропроводность арагонита существенно ниже температуропроводности кальцита (см. рис. 1), хотя химический состав их идентичен, а плотность арагонита даже больше плотности кальцита.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 96-05-65131 и 97-05-64199).

#### Литература

1. Петрунин Г.И., Попов В.Г. // Физика Земли. 1994. № 11. С. 78.
2. Horai K. // J. Geophys. Res. 1971. 76. P. 1278.
3. Петрунин Г.И., Попов В.Г., Тимошечкин М.И. // Препринт физ. ф-та МГУ. 1989, № 22.
4. Поваренных А.С., Продайвода Г.Т., Серга А.Ю. // Минералогический сборник Львовского гос. ун-та. 1972. № 26. С. 46.
5. Таблицы физических величин: Справочник / Под ред. И. К. Кикоина. М., 1976. С. 271.

УДК 504;550.3

## ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ

В. А. Богословский<sup>1</sup>, А. Д. Жигалин<sup>2</sup>, Д. Г. Зилинг<sup>1</sup>, В. Т. Трофимов<sup>1</sup>, В. К. Хмелевской<sup>1</sup>

Рассмотрена геофизическая составляющая экологической функции литосферы и показано, что ее роль состоит в поддержании энергетических условий, необходимых для жизни на Земле.

Экологические функции литосферы — ресурсная, геодинамическая и геофизико-геохимическая — изучены все еще слабо. Литосфера до сих пор рассматри-

валась не более чем «литогенная основа ландшафта». При этом отодвигалась на второй план и затушевывалась роль литосферы как пространства, занимае-

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, геологический факультет.

<sup>2</sup> Институт геоэкологии РАН, Москва.

мого живыми организмами, и как источника минеральных веществ, участвующих в трофическом круговороте жизни на Земле. Еще более неясными были проблемы энергетического взаимодействия литосферы и биосферы.

В то же время накопленный опыт показывает, что существенную часть энергии, необходимой для поддержания процессов, регулирующих жизнь на нашей планете, дает литосфера. Поэтому исследование эколого-геофизической функции литосферы представляется важным и перспективным.

Следует отметить, что геофизика традиционно ориентировалась либо на изучение Земли в целом как планетного тела, либо на анализ ресурсной и геодинамической функций литосферы. В последнем случае геофизические методы применялись для определения количества и местонахождения запасов минерального и энергетического сырья, условий разработки месторождений полезных ископаемых, а также, в самое последнее время, для получения информации о возможном экологическом риске, связанном с их добычей и переработкой. Очень широкий круг геофизических задач связан с получением данных о геологических процессах, характеризующих динамику верхней части земной коры — литосферы.

При разрешении указанных эколого-геологических проблем приходится решать фундаментальные и прикладные геофизические задачи с использованием широкого спектра методов — от региональных глубинных до детальных методов инженерно-геологической и экологической геофизики — с целью получения сведений о пространственно-временных характеристиках проявления неблагоприятных в экологическом отношении процессов.

Однако следует отметить, что на всех методологических уровнях геофизические задачи имеют ярко выраженный «геологический» характер и практически не затрагивают биофизических аспектов, т. е. проблемы энергетической связи Земли как планеты с населяющими ее живыми организмами. Просто перед геофизиками такой задачи никто и никогда не ставил. Поэтому исследования геофизико-геохимической функции литосферы и в особенности ее геофизической составляющей неизбежно сталкиваются с необходимостью рассмотрения сравнительно новых для традиционной геофизики проблем.

Геофизическая функция литосферы, по сути дела, состоит в энергетическом обеспечении благоприятных для жизни условий. Понятен поэтому все возрастающий интерес к таким проблемам, как проблема техногенного физического загрязнения, экологическая проблема воздействия геофизических полей (физических полей Земли) на природные и природно-технические экосистемы, геопатогенез, на живые организмы — фито- и биоценозы и человека.

Наиболее полно с биофизических позиций в отношении к человеческому организму освещены вопросы техногенного физического загрязнения [1]. Со-

временные технологии предполагают использование колоссального количества энергии и сырья, что вызывает не только химическое, но и физическое, т. е. энергетическое, загрязнение среды. Поэтому необходимо определить пределы допустимого воздействия искусственно создаваемых (технологических или, как их чаще называют теперь, техногенных) физических полей на человека при «общении» его с современным промышленным оборудованием в процессе производства.

Механизм формирования физического загрязнения достаточно очевиден. На схеме показано, что промышленное и сельскохозяйственное производство, функционирование объектов городского коммунального хозяйства, сопровождаемые созданием и накоплением больших запасов энергии, химических и биологических веществ, приводят к техногенному загрязнению такого уровня, который превышает адаптационные возможности живых организмов, а потому небезопасен для биоты. Немалую роль в наступлении такого рода последствий, как теперь определенно установлено, играют техногенные физические поля.

Энергетический уровень техногенного физического загрязнения поддается инструментальному измерению (табл. 1). Техногенные физические поля, создаваемые разного рода промышленными установками, транспортными средствами и строительными машинами и механизмами, многократно превышают природный фон и далеко выходят за допустимый (физиологический и инженерный) предел. И все же проблема техногенного физического воздействия на живую природу и на человека небезнадёжна в плане ее разрешения.

Менее изученной и даже в некоторой степени «загадочной» представляется в настоящее время проблема геопатогенеза, связанная с воздействием полей литосферы на живые организмы.

Под геопатогенезом, согласно работе [2], мы понимаем возникновение устойчивых патологических изменений в живых организмах, обусловленное специфическими геологическими, геохимическими, геофизическими и другими природными условиями. В соответствии с этим геопатогенные зоны представляются как участки или области земной поверхности, в пределах которых в силу геолого-геофизических или геолого-геохимических условий существует опасность геопатогенеза.

Литосфера по отношению к геофизическим полям является, с одной стороны, генератором, а с другой — средой-носителем. В этой связи большое внимание привлекают геофизические аномалии, традиционно изучавшиеся с целью получения информации о внутреннем строении Земли и полезных ископаемых. Подобного рода аномалии особенно проявляются на участках геологических и тектонических неоднородностей литосферы.

Схема формирования и экологические последствия техногенного физического загрязнения окружающей среды



Т а б л и ц а 1

Сравнительные характеристики естественных и техногенных физических полей

Вид поля	Уровень поля			
	фоновый	создаваемый	санитарный предел	технический предел
Акустическое [дБ(А)] Вибрационное [мм/с] Температурное [°C]	25 ÷ 30 0,02 ÷ 0,50 (-2) ÷ (+10) <i>(в грунте, на глубине 1,5-2 м)</i>	80 ÷ 120 0,02 ÷ 16,0 (-160) ÷ (+1500) <i>(в грунте, на границе теплового источника)</i>	45 ÷ 60 0,12 16 ÷ 24 <i>(в служебных и жилых помещениях)</i>	0,20 ÷ 0,40
Электрическое [мВ/м] <i>(в грунте)</i>	5 ÷ 10	10 ÷ 300		3 ÷ 5
Электромагнитное [кВ/м]	10 <sup>-6</sup>	2,5 ÷ 10,0	5,0	
Радиационное [мЗв/год*]	0,3 ÷ 2,2	1,6	2,1	

\*) 1 мЗв = 100 мР.

До самых последних дней оставался в тени вопрос о механизме воздействия геофизических полей на живые организмы. В качестве первого шага на пути решения этой проблемы следует оценить относительные величины существующих на планете геофизических аномалий в полях разного вида и исследовать их влияние на состояние биоты. По сути дела, специалистам-геофизикам предлагается взглянуть на традиционный для них объект исследования под иным, экологическим, углом зрения.

Поскольку все процессы, происходящие в живых организмах и регулирующие их жизнедеятельность, относятся к классу электрохимических или электрофизических, основное внимание при экологической оценке роли геофизических полей привлекают элект-

рические, электромагнитные и магнитные поля.

Наблюдаемые аномалии геомагнитного поля (табл. 2), значительную долю в котором составляет компонента, формируемая в литосфере за счет существования магнитных масс, могут почти втрое превышать фоновый уровень, как это имеет место, например, в районе Курской магнитной аномалии. Электромагнитное поле, наблюдаемое в окрестностях месторождений металлосодержащих полезных ископаемых или тектонических элементов земной коры, также вдвое, а то и более того превышает общий фоновый уровень.

Большой интерес вызывает воздействие атмосферного электричества на биоту. В фундаментальных работах А.Л. Чижевского [3, 4] показано, что

Т а б л и ц а 2  
Наблюдаемые аномалии геофизических полей

Вид поля	Величина
<b>Магнитное [мЭ*]</b>	
Фон	500 ÷ 618
Наблюдаемые аномалии	200 ÷ 1300
<b>Гравитационное [Гал**]</b>	
Фон	978 ÷ 983
Наблюдаемые аномалии	$(30 \div 300) \cdot 10^{-3}$
Приливная аномалия	$0,345 \cdot 10^{-3}$
Перелет Саратов — п-ов Ямал	1,4
<b>Электромагнитное [мВ/км]</b>	
Фон	0,1 ÷ 10
Наблюдаемые аномалии	до 30–40
<b>Атмосферное электричество [ион/см<sup>3</sup>]</b>	
Фон	$(1 \div 1,4) \cdot 10^3$
Воздух в крупных городах	$(1,1 \div 1,5) \cdot 10^3$
Воздух «электрокурортов»	$(1,8 \div 3,7) \cdot 10^3$
Воздух вблизи водопадов и в зоне приобя	$(100 \div 200) \cdot 10^3$
<b>Радиационное [мЗв/год]</b>	
Фон	0,3 ÷ 2,2
Наблюдаемые аномалии	20 ÷ 90
Предельно допустимые значения	50
*) 1 мЭ $\approx 0,08$ А/м.	
**) 1 Гал = 0,01 м/с <sup>2</sup> .	

существует весьма тесная связь электрических явлений в атмосфере с состоянием живых организмов, с самочувствием людей, с патологией. А. Л. Чижевский не акцентировал внимание на происхождении атмосферного электричества, затрагивая лишь его биофизические качества. Данные, представленные в табл. 2, демонстрируют существенное различие в величине параметров, характеризующих этот вид геофизического поля для разных местностей. Можно предполагать, что на общем фоне атмосферного электричества достаточно ощутимо сказывается ионизация воздуха за счет радиоактивных эманаций из земной коры и «собираания» положительных аэроионов вблизи месторождений металлических и графитсодержащих по-

лезных ископаемых. Поэтому атмосферное электричество правомерно отнести к категории «продуктов» литосферы, определяющих ее экологическую функцию.

Считается, что человек «слеп» по отношению к гравитационному полю, т.е. не реагирует на него столь же заметным образом, как на магнитные и электромагнитные возмущения или на изменения количества и соотношения аэроионов в приземном слое атмосферы. Однако необходимо обратить внимание на то, что величина наблюдаемых аномалий гравитационного поля (как известно, всепроникающего и не поддающегося заметно экранированию), иногда на два-три порядка превосходит суммарную «приливную» аномалию, вызываемую совместным влиянием Солнца и Луны на поверхность нашей планеты. Быстрое перемещение человека в субмеридиональном направлении также вызывает резкую смену воздействия гравитационного поля на его организм (см. табл. 2).

Таким образом, в рамках геоэкологии уже зародилось новое направление, призванное объединить усилия геологов, геофизиков, биологов и медиков, — геофизическая экология. Поэтому данную статью следует расценивать как приглашение к дискуссии и к самому тесному сотрудничеству на общей экологической ниве.

#### Литература

1. Жигалин А.Д. // Чрезвычайные ситуации: социотехногенез, геологическая среда, строительный комплекс. Варшава, 1991. С. 153.
2. Макаров В.И., Жигалин А.Д. // Экология и геофизика. Дубна: ВНИИГеосистем, 1995. С. 126.
3. Чижевский А.Л. Аэроионификация в народном хозяйстве. М., 1960. С. 760.
4. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М., 1976. С. 367.