

## НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 577.21  
ББК Е 070

*Г. С. Бордонский*  
*г. Чита, Россия*

### Негэнтропия Э. Шредингера, голая кожа и эволюция

На основе рассмотрения потоков энтропии, проходящей через организм человека, высказывается гипотеза о том, что потеря волосяного покрова играет важную роль в процессе эволюции человека, так как привела к усилению обмена потоков энтропии (увеличению притока негэнтропии через голую кожу). Приводятся результаты расчетов и сведения о физиологии домашней свиньи и голого землекопа, которые подтверждают гипотезу. Однако она справедлива в рамках слабо неравновесных процессов и не может быть распространена на сильно неравновесные и нелинейные процессы в живых организмах. Тем не менее, гипотеза имеет эвристическое значение, так как позволяет понять с точки зрения общих законов равновесной термодинамики некоторые особенности эволюции бесшерстных животных.

*Ключевые слова:* отрицательная энтропия, голая кожа, радиационный обмен, голый землекоп (*Heterocephalus glaber*), эволюция человека

*G. S. Bordonsky*  
*Chita, Russia*

### Negentropy of E. Schrodinger, Bare Skin and Evolution

On the basis of entropy streams coming through the human organism it was hypothesized, that the loss of hair cover plays an important role in human evolution. So it led to the increase of the entropy streams exchange (the increase of negentropy influx through bare skin). The re-sults of calculations and physiology data of the pig and the bare mole (*Heterocephalus glaber*) are presented. However, the hypothesis is true for slightly nonequilibrium processes and could not be spread on strongly nonequilibrium and nonlinear processes in living organisms. Nevertheless, the hypothesis is heuristicly significant, because it helps to understood some peculiarities of nonhairy animals evolution under equilibrium thermodynamic laws.

*Keywords:* negative entropy, bare skin, radiation exchange, *Heterocephalus glaber*, human evolution.

**1. Введение.** Эрвин Шредингер в середине прошлого века высказал гипотезу, согласно которой для жизнедеятельности организмов необходим приток отрицательной энтропии или негэнтропии, которая характеризует меру упорядоченности получаемых продуктов обмена с внешней средой [15]. Для живого организма это означает, что ему необходимы пища и энергия с низкой энтропией, а продукты распада должны иметь более высокую энтропию. Близкие идеи высказаны другим физиком И. Пригожиным [11], который выделил так называемые диссипативные структуры. Это упорядоченные состояния объекта, которые возникают при условии пропускания через него

потоков вещества и энергии. При таком процессе происходит продуцирование энтропии, т.е. ее рост во внешней среде (или поглощение негэнтропии). Важно при этом, что упорядоченные структуры могут возникать при превышении некоторых порогов, пропускаемой через объект энергии (или притока негэнтропии).

В статистической физике энтропия системы  $S$  определяется как:  $S = k \ln W$ , где  $k$  – постоянная Больцмана,  $W$  – термодинамическая вероятность, равная числу всевозможных допустимых состояний системы. Для негэнтропии  $N$ , ее притока в систему:  $\Delta N = -\Delta S$ .

С момента выхода работы Э. Шредингера прошло более 65 лет. Хотя его идеи нашли некоторое развитие [6], тем не менее, они не используются при изучении биологии человека. Это, по-видимому, связано с тем, что энтропийный подход справедлив по отношению к равновесным или слабо неравновесным процессам, и, кроме того, понятие энтропии достаточно абстрактно, а сама величина не входит прямо в какие-либо химические формулы. С другой стороны, по мнению авторов статьи [5], «энтропия – слишком грубый усредненный параметр, для того чтобы с ее помощью можно было бы охарактеризовать движения и развитие живых систем».

Однако законы равновесной и слабо неравновесной термодинамики справедливы для любых систем, удовлетворяющих данным условиям. Поэтому для определенного иерархического уровня вполне может быть применим негэнтропийный подход, который позволяет понять некоторые особенности поведения живых систем, в том числе, и их эволюцию. На эквивалентность термодинамического и кинетического подхода указывалось, например, в работе [3], при исследовании энергетики стационарного фотохимического процесса.

**2. Цель работы.** В работе [2] нами была высказана гипотеза о том, что потеря волосяного покрова человеком открыла дополнительный канал поступления в организм негэнтропии из-за усиления радиационного обмена. Голая кожа может более эффективно поглощать солнечную радиацию и сбрасывать в окружающее пространство низкотемпературное тепловое излучение с высокой энтропией.

На отсутствие волосяного покрова по сравнению с приматами биологи давно обратили внимание. Этот вопрос обсуждается, например, в монографии [10], где отмечается, что оголение кожи должно играть какую-то важную роль в процессе эволюции человека. На первый взгляд, потеря волосяного покрова ухудшает выживание организма в природных условиях. Однако биологи не могут сформулировать какую-либо убедительную гипотезу, которая могла бы объяснить данную особенность человека. Например, в [9] приведено много интересных данных о процессе цефализации мозга, но в этой работе лишь констатируется факт ее связи с потерей волосяного покрова.

В настоящей работе будут представлены ранее высказанные аргументы [1; 2] и изложены новые данные в пользу негэнтропийной причины потери волосяного покрова человека как важного фактора, выделившего его в мире животных.

**3. Радиационные особенности кожи человека.** Спектральные характеристики кожи человека имеют интересные особенности. Оказывается, что окно прозрачности атмосферы Земли в инфракрасном диапазоне вблизи длин волн 8–12 мкм и длины волн максимума собственного теплового излучения тела человека совпадают. Причем излучательная способность кожи в этом участке спектра не зависит от расы, т.е. негроид и европеоид выглядят на волнах 8–12 мкм одинаково «черными», так как излучательная способность их кожи приближается к значениям 0,97 – 0,99, близким для абсолютно черного тела [14]. В результате через кожу человека может происходить эффективное охлаждение не только путем испарения воды и конвективного теплообмена со средой, но и радиационным путем – через тепловое излучение с поверхности тела, согласно закону Стефана-Больцмана. Радиационные потери тепла кожей человека могут достигать 70% от рассеиваемой в пространство тепловой энергии [8].

Изложенные факты, на первый взгляд, представляются не столь важными для функционирования организма человека или даже вредными, поскольку отсутствие волосяного покрова может рассматриваться как ухудшение адаптационных возможностей (из-за ухудшения защиты от переохлаждения, ранимости кожных покровов). Следовательно, должна быть важная причина, улучшающая приспособление организма с голой кожей для его существования в природной среде.

4. Расчет притока негэнтропии через кожу человека. Можно оценить приток негэнтропии в организм человека через его кожу, связанный с различием спектральных составов падающей (солнечной) радиации и излучаемой (собственное тепловое излучение) радиацией, и сравнить его с притоком негэнтропии через пищеварение. Упрощенная схема основных звеньев обмена организмом человека негэнтропией с внешней средой приведена на рисунке.

В предложенной схеме обращено внимание именно на радиационный обмен. Важным моментом является то, что инфракрасное (тепловое) излучение с поверхности при температуре тела человека имеет большую энтропию на единицу энергии, в соответствии с формулой для энтропии теплового излучения абсолютно черного тела  $S = 4U/3T$ , где  $U$  – энергия излучения,  $T$  – температура излучателя [7]. Поскольку температура солнечного излучения около 6000 К, а температура тела человека 310 К, то энтропия падающего солнечного излучения значительно ниже той же величины при тепловом излучении кожи и условия энергетического баланса.

Единственным не вполне ясным моментом является вопрос - усваивается ли солнечное излучение кожей, т. е. имеет ли место в ней достаточно эффективный фотосинтез. В биологии человека данный вопрос не рассматривается. Тем не менее, в [14] отмечен факт полезности поглощаемой кожей человека солнечной радиации. Известен пример с образованием витамина Д под действием ультрафиолетового излучения, образование гормона мелатонина, лазерная светотерапия и другие полезные свойства световых излучений.

Для расчетов притока негэнтропии через кожу следует учесть, что поступающий с излучением поток негэнтропии ( $\Delta N = -(S_1 - S_2)$ , где  $S_1$  – энтропия, поступающая в организм,  $S_2$  – энтропия сброшенного в окружающее пространство излучения) состоит из двух компонент: солнечного и фонового. Фоновая температура ниже температуры тела человека, ее среднее значение для природной среды составляет 273 К. Детали расчета представлены в работе [2], где было получено значение около 10000 Дж/град за один час при максимальной освещенности поверхности тела человека. Оценка притока негэнтропии через пищеварительный канал в состоянии покоя дала значение около 1000 Дж/град за один час. Учитывая другие факторы (отсутствие облучения в ночное время, нахождение в тени и т.д.), приходим к выводу, что оба канала притока негэнтропии приблизительно эквивалентны. При этом радиационный канал является нестабильным, однако он позволяет, в принципе, получать энергию с пониженным значением энтропии за счет поступления квантов коротковолнового излучения, так как по закону смещения Вина максимум теплового излучения смещается в коротковолновую область спектра при росте температуры излучателя. Это означает, что, например, ультрафиолетовое (УФ) излучение приносит в организм человека больше негэнтропии в расчете на единицу энергии.

**5. Биологические подтверждения гипотезы.** В предыдущем разделе было показано, что притоки негэнтропии при радиационном обмене через оголенную кожу и пищеварительный каналы приблизительно одинаковы. Это, однако, не означает, что радиационный канал автоматически обеспечивает усвоение негэнтропии солнечного излучения. Еще требуется доказать, что это имеет место. Ниже приводятся факты из физиологии различных животных, кожный покров которых оголен или имеет незначительный волосной покров. Эти факты не объяснены в биологии, но могут быть поняты в рамках высказанной гипотезы.

*А. Необычность физиологии домашней свиньи.* Физиология домашней свиньи имеет интересные особенности. Эти особенности заключаются в ее совпадении с физиологией человека [12]. Действительно, свинья сходна с человеком по особенностям зубной системы, морфологии и физиологии почек, строению глаза и остроте зрения, морфологии и физиологии кожи, анатомии и физиологии сердечно-сосудистой системы, а также анатомии и физиологии пищеварения. Сердечно-сосудистые заболевания и заболевания пищевода и желудка у свиньи имеют более близкие сходства с таковыми болезнями у человека. Алкоголизм легко возникает у поросят. Стрессовый синдром может использоваться как модель у человека при стрессе, вызванном нагрузками. Домашние свиньи проявляют очень заметное и, по-видимому, врожденное предпочтение к сладким веществам. Пигментация кожи свиньи напоминает пигментацию кожи человека; кожа может быть полностью черной, белой или красной. Свиньи легко дрессируются, по умственным способностям они уступают только приматам. УФ облучение поросят с длиной волны 295 нм, имеющей наибольший Д-витаминообразующий эффект, приводил к приросту живой массы на 26 % больший по сравнению с контрольными животными.

В [12], однако, не отмечено другое сходство домашней свиньи с человеком – кожа свиньи практически не имеет защитного волосного покрова. Именно эта особенность, возможно, и создала близость физиологии человека и свиньи, т.к. оба организма используют два одинаковых канала поступления негэнтропии.

*Б. О галапагосских игуанах.* Галапагосские игуаны интересны наличием гребешков, которые используются животными как «солнечные батареи». Галапагосские игуаны в дневное время выходят из моря и располагаются на освещенной поверхности на берегу. Создается впечатление, что в их

коже происходит процесс фотосинтеза, а не просто нагревание поверхности.

В. *Необычное долголетие голого землекопа (Heterocephalus glaber)*. Голый землекоп - небольшой роющий грызун семейства землекопов, обитающий в полупустынях Африки, привлек внимание исследователей необычным долголетием. Этот зверек с голой кожей живет до 28 лет, в 7–8 раз дольше, чем другие грызуны сходного размера [13]. Предполагается, что долголетие голого землекопа связано с недавно обнаруженной двойной защитой от раковых заболеваний. Организм животного эффективно реагирует на появление раковых клеток на ранней стадии их появления [18].

В свете нашей гипотезы можно предположить, что при потере волосяного покрова это млекопитающее стало поглощать солнечное излучение. Чтобы защититься от УФ-излучения в процессе эволюционного отбора такого организма в нем выработалась система восстановления разрушений в клетках. В последующем данное животное поселилось в земляном покрове и практически утратило связь с поверхностью. Однако сохранилось отсутствие волосяного покрова и механизм двойной защиты от раковых клеток.

Г. *Кожа человека, меланин и обнаружение сквалена*. Считается, что клетки кожи человека защищаются от воздействия УФ-излучения пигментом меланином. Вместе с тем установлено, что этот пигмент накапливается в головном мозгу человека (в черной субстанции) и связывается некоторыми исследователями с процессом цефализации [9]. Причины такого накопления меланина не известны.

Недавно была обнаружена уникальная особенность человека – наличие в липидах поверхности достаточно большого количества предшественника холестерина – сквалена. Предполагается, что сквален является антиоксидантом [4]. Он отсутствует в коже обезьян и первоначально был обнаружен в печени глубоководной черной колючей акулы.

Очевидно, что наряду с синтезом витамина Д в коже человека синтезируются и другие продукты, т. е. имеет место фотосинтез.

Д. *Другие факты*.

1. В статье [17] сообщается об обнаружении потенциального УФ зрения у подземного обитателя – европейского крота. Высказано предположение, что такая особенность, возможно, проистекает из раннего периода существования предков животного на поверхности для более эффективной охоты за насекомыми. Высказано и предположение о не зрительной природе существования чувствительности глаза к УФ излучению, однако каких-либо пояснений не представлено.

2. В статье N. Jablonski (перевод – [16]) сказано, что недавно сделан вывод о том, что появление безволосой кожи сыграло ключевую роль в развитии других человеческих черт. Главным автор считает возможность сброса тепла с оголенной кожи, что позволяет человеку эффективно выполнять физическую работу, а также бороться с перегревом в жарком климате.

Данная работа не противоречит нашим взглядам, однако она отражает ограниченный аспект феномена – только улучшение охлаждения кожи при испарении или обдуве воздухом оголенной кожи.

3. Отметим также найденного недавно другого долгожителя – маленькую саламандру (*Proteus anguinus*) [13]. Особенность данной амфибии – прозрачная кожа, через нее просвечивают кровеносные сосуды и внутренние органы. По оценкам, в благоприятных условиях маленькая саламандра может прожить более 100 лет, что является парадоксом в мире других саламандр.

Можно предположить возникновение у данного организма антиоксидантной системы и наличие фотосинтезирующих свойств.

**6. Следствия и предсказания гипотезы.** Основное следствие гипотезы заключается в необходимости изучения обменных, радиационных и фотосинтетических процессов в коже и подкожных образованиях человека, т.к. кожа является органом питания всего организма.

Другое следствие – возникновение у голокожих животных систем борьбы с раковыми клетками, т. к. клетки голой кожи, подвергающиеся потокам УФ и другой радиации, подвержены нарушениям.

С точки зрения гипотезы можно предсказать некоторые особенности эволюции организмов. Она должна быть связана с движением к использованию источников энергии с низкой энтропией, то есть освоению все более коротковолновых излучений, по сравнению с видимым излучением. Сюда относятся, прежде всего, УФ-диапазон. Возможно, что организмы могут использовать рентгеновские, гамма и другие ионизирующие излучения, но обычные химические соединения подвержены распаду под действием данных излучений из-за высоких энергий их квантов. Однако незначительные дозы ионизирующих излучений, с этой точки зрения, представляются полезными для инициирования

определенного вида биохимических превращений в организмах. Известен пример со стимуляцией иммунитета при приеме радоновых ванн. Предположительно в высокогорных районах можно ожидать существование микроорганизмов с фотосинтезирующими механизмами на основе синего света и ультрафиолетового излучения.

Другое предсказание – наличие эффективной противораковой защиты у человека и всех голокожих животных. Для подтверждения этого следует исследовать образование в их организме меланина и сквалена. На наличие меланина указывает совпадение цвета кожи человека и домашней свиньи. То же для галапагосских игуан, у них окраска кожи имеет желтый, розовый и бурокоричневый цвета, что указывает на присутствие меланина.

**7. Заключение.** Высказанная гипотеза позволяет объяснить некоторые особенности физиологии человека и других бесперстных животных на основе представления Э. Шредингера о притоке негэнтропии в живой организм. При этом становится понятной близость физиологии таких, казалось бы далеких организмов, как человека и домашней свиньи. Близость физиологии определяется использованием одинаковых каналов обмена с окружающей средой. Однако различия морфологии определяют «тупиковость» или замедленность эволюционного развития домашней свиньи, с точки зрения развития интеллекта. Также понятно необычное долголетие голого землекопа, который на более ранних этапах вел наземную жизнь, затем потерял волосной покров и приобрел особую антиоксидантную систему для защиты от УФ-излучений. Эта система сохранилась и после ухода животного под землю. Важным является понимание того, что структуры усложняются скачком при превышении притока негэнтропии некоторого порогового значения, этот качественный скачок нельзя получить простым накоплением во времени притока этой величины меньшей интенсивности. Кроме того, для усложнения биологической системы необходимо использование квантов более коротковолновых излучений, вследствие роста энергии кванта и появления возможности протекания химических реакций с высокими энергиями перехода между уровнями молекулярных конфигураций. Это эквивалентно росту негэнтропии на единицу поглощаемой энергии.

Гипотеза, безусловно, не позволяет просто определить те или иные конкретные биофизические или биохимические процессы, протекающие в живой природе. Тем более, она не может объяснять явления при быстропротекающих нелинейных явлениях (т. к. справедлива для слабо неравновесных процессов). Однако данная гипотеза может иметь некоторое эвристическое значение, т. е. определять направление исследований тех или иных процессов и свойств организмов. Это происходит, прежде всего, из понимания того, что кожа человека является не просто защитной оболочкой, отделяющей клетки организма от внешней среды. Кожа – это своеобразный реактор, в котором осуществляется преобразование потоков вещества и энергии для питания организма. Следовательно, в коже должны существовать необычные «устройства» и «механизмы» такого обмена.

#### Список литературы

1. Бордонский Г. С. Возможная причина особенностей физиологии домашней свиньи. Деп. ВИНТИ. № 750-В90. 1990. 14 с.
2. Бордонский Г. С. Оценка притока негэнтропии через кожу человека // Изв. СО АН СССР. Сер. Биологические науки. 1989. Вып. 1. С. 96–99.
3. Гудков Р. Д. К вопросу о «качестве» лучистой энергии // Журнал техн. физики. 1996. Т. 66. Вып. 1. С.114–123.
4. Де Люка К. Сквален как акцептор прооксидантных воздействий на кожу. Дис.. канд. биол. наук. М.: РГМУ, 2002 110 с.
5. Иваницкий Г. Р. XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики // Успехи физических наук. 2010. Т. 180. № 4. С. 337–369.
6. Кеплен С. Р., Эссинг Э. Биоэнергетика и линейная термодинамика необратимых процессов. М.: Мир, 1986. 382 с.
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 5. Статистическая физика. Ч. 1. М.: Физматлит, 2002. 613 с.
8. Леконт Ж. Инфракрасное излучение. М.: Гос. изд. ф.-м. лит., 1958. 584 с.
9. Маленков А. Г., Ковалев И. Е. Кожа и происхождение человека // Природа, 1986. № 6. С. 76–83.
10. Моррис Д. Голая обезьяна. СПб.: Амфора/Эврика, 2001. 269 с.
11. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М.: Мир, 1990. 344 с.

12. Понд У. Д., Хаунт К. Биология свиньи. М.: Колос, 1983. 334 с.
13. Резник Н. Л. Дракон и землекоп //Химия и жизнь, 2010. № 10. С. 30–32.
14. Харрисон Д., Уайнер Д., Тэннер Д. и др. Биология человека. М.: Мир, 1979. 611 с.
15. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физики. М.: Атомиздат, 1972. 88 с.
16. Яблонски Н. Голая правда // В мире науки. 2010. № 4. С. 22–29.
17. Glosmann M., Steiner M., Peichl L., Ahnelt P.K. Cone photoreceptors and potential UV vision in a subterranean insectivore, the European mole // J. of Vision. 2008. V.8. No. 4. Article23. doi:10.1167/8.4.23.
18. Seluanov A., Hine C., Azpurua J. et.al. Hypersensitivity to contact inhibition provides a clue to cancer resistance of naked mole-rat // PNAS. 2009. doi/10.1073/pnas/0905252106.

**Рукопись поступила в редакцию 18 мая 2011 г.**