

## ***Динамика термодинамических свойств и запасов энергии в гумусе почв Крымского полуострова***

Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского,  
г. Симферополь

**Аннотация.** В статье изложены методологические аспекты и практические результаты оценки энергетики гумуса и термодинамических свойств разновозрастных почв Крымского полуострова, которые можно использовать как показатели потенциальной способности горных пород к почвообразованию и самовосстановлению нарушенных почв при разработке стратегий рекультивации земель. Определены значения энергетики гумуса почв, формирующихся на различных почвообразующих породах.

**Ключевые слова:** энергия кристаллической решетки, энтропия, энергия Гиббса гумус, энергетика гумуса, энергетический подход

### **Введение**

Энергетический и термодинамический подход при изучении природных процессов, в том числе почвообразования получает в последнее время все большее распространение, ведь, как отмечает С.П. Позняк "Почва как самостоятельное природное тело является определенной термодинамической системой" [16, с. 70]. Энергетические характеристики гумуса его количественные и качественные характеристики определяют почти все агрономически - ценные свойства почвы. Многочисленные исследования, проведенные в последние годы, свидетельствуют об общепланетарном значении гумуса, как колоссального геохимического аккумулятора, главного хранителя Солнечной энергии на земном шаре. Гумусовая оболочка - "гумусосфера" по данным В.А. Ковды, содержит  $n \cdot 10^{20}$  ккал энергии [12]. Выдающийся украинский ученый Н.Д. Руденко в своей работе "Энергия прогресса" пишет: "в течение миллиардов лет создавался гумусовый слой планеты - тоненькая пленка, которая при равномерном распределении по материкам не превысила бы трех сантиметров земного радиуса. Гумусовый слой планеты — это аккумулятор солнечной энергии".... " [19, с.58].

**Актуальность** данного направления исследований стоит в возможности использования представлений об энергии, заключенной в гумусе почв, о термодинамических свойствах почв и субстратов, в частности энергии кристаллической решетки минералов, свободной энергии Гиббса и энтропии для оценки потенциальной способности горных пород к почвообразованию. Такие работы связаны как с необходимостью разработки конкретных мер по стабилизации и усилению процессов формирования молодых почв на отвалах месторождений, так и с конкретными практическими задачами сохранения и восстановления плодородия почв, "отброшенных" по возрастной шкале формирования назад, т.е. нарушенных, смытых, дефлированных почв. Вопросы изучения энергетики процесса почвообразования получили распространение и при изучении балансовых расчетов соотношения затрат энергии на процессы гумификации растительной массы и формирования почвенного гумуса [1]. Расчеты энергии в гумусе используются как критерий для бонитировки почв и установления энергетической цены грунта [2, 13, 16]. Но, несмотря на это энергетическая и термодинамическая составляющая процесса гумусообразования и энергетика гумуса в Украине еще изучены недостаточно, а на территории Крымского полуострова, такие работы вообще не проводились. Это и обусловило **цель** данной работы - изложить оценку энергетических и термодинамических характеристик разновозрастных почв и почвообразующих пород Крымского полуострова с точки зрения их влияния на современный почвообразующий процесс.

## Методы и материалы.

В.Р. Волобуев энергию кристаллической решетки определяет как: "количество энергии, которую нужно затратить для разрушения одной грамм-молекулы кристаллического вещества до состояния газообразных одноатомных ионов, бесконечно удаленных друг от друга" [3, с. 89]. Свободная энергия Гиббса - важная термодинамическая характеристика, которая определяет ту часть энергии, за счет которой при соответствующих условиях может осуществляться полезная работа [9]. Энтропия от греческого слова τροπή - «изменения» (преобразования). Это понятие было впервые введено в 1865 году Рудольфом Клаузиусом в термодинамике для определения меры необратимого рассеяния энергии. Энтропия это - функция состояния системы, т.е. каждому состоянию можно приравнять вполне определенное значение энтропии. [10]

Методической основой для нашей работы стали работы А.Е. Ферсмана [21] и В.Р. Волобуева [3, 4], в которых намечены основные подходы к оценке термодинамических свойств различных веществ, в том числе почв, а также исследования И.В. Тюрина [21], и С.А. Алиева [1], в которых рассчитаны запасы энергии, аккумулированные в почвах ряда генетических типов, и установлена закономерная связь между запасами гумуса в почве и относительной величиной энергии биологического круговорота.

В частности В.Р. Волобуев при оценке термодинамических показателей предложил считать минеральную часть почвы суммой оксидов, и для расчетов энергии кристаллической решетки и свободной энергии Гиббса использовать данные валового химического состава минеральной части почвы [3, с. 89]. Аналогично считать, что термодинамические свойства почвообразующих пород целесообразно рассчитывать по приведенной выше методике, так как в данном случае, мы имеем дело с субстратом, в большей или меньшей степени преобразованном процессами почвообразования. Значение энергии кристаллических решеток в отдельных оксидах приведены в таблицах, которые рассчитаны А.Э. Ферсманом [21.]. При отсутствии данных мы рассчитывали энергию кристаллической решетки по эмпирическим формулам [10]. Константы свободной энергии приводятся в термодинамических справочниках [6, 10, 20.]. Энергетические и термодинамические характеристики основных почвообразующих пород Крымского полуострова, рассчитывались по результатам валовых анализов, разновозрастных почв, почвообразующих пород и субстратов антропогенного происхождения, территории древнего межевания Херсонесской хоры на Гераклеийском полуострове; почв, которые сформировались на остатках древней крепости Харакс; средневековой крепости Чембало, а также зональные полноголоценовые почвы на мысах Айя, и Мартьян, и с использованием данных, приведенных в работах Н.Н. Дзенс-Литовской [5], М.А. Кочкина [14], И.Я. Половицкого [18].

## Результаты и обсуждения

Результаты расчетов энергии кристаллической решетки, энергии Гиббса в основных почвообразующих породах Крымского полуострова графически представлены на рис. 1

Анализ рис. 1. свидетельствует, что по запасам энергии кристаллической решетки, и свободной энергии Гиббса почвообразующие породы Крымского полуострова формируют две группы. Первую создают плотные горные породы, в которую входят главным образом известняки и мергели. Вторая группа это главным образом полиминеральные рыхлые горные породы глины, суглинки, а также конгломераты и песчаники. Энергия кристаллической решетки, свободная энергия Гиббса и энтропия в группе плотных почвообразующих пород значительно меньше, чем в группе рыхлых пород. Энергия кристаллической решетки изменяется от 454 до 7747 кДж/г, свободная энергия Гиббса колеблется от 490 до 840 кДж/г. Значение энтропии от 43 кДж/г\*град до 35,6 кДж/г\*град. В группе, состоящей из рыхлых почвообразующих пород внутренняя энергия значительно больше: энергия кристаллической решетки от 9200 до 20280 кДж/г, свободная энергия Гиббса изменяется от 860 до 1370 кДж/г, значение энтропии колеблется в пределах от 48,0 до 66,0 кДж/г\*град. Субстраты антропогенного происхождения занимают переходные участки между группой плотных карбонатных пород и рыхлых.

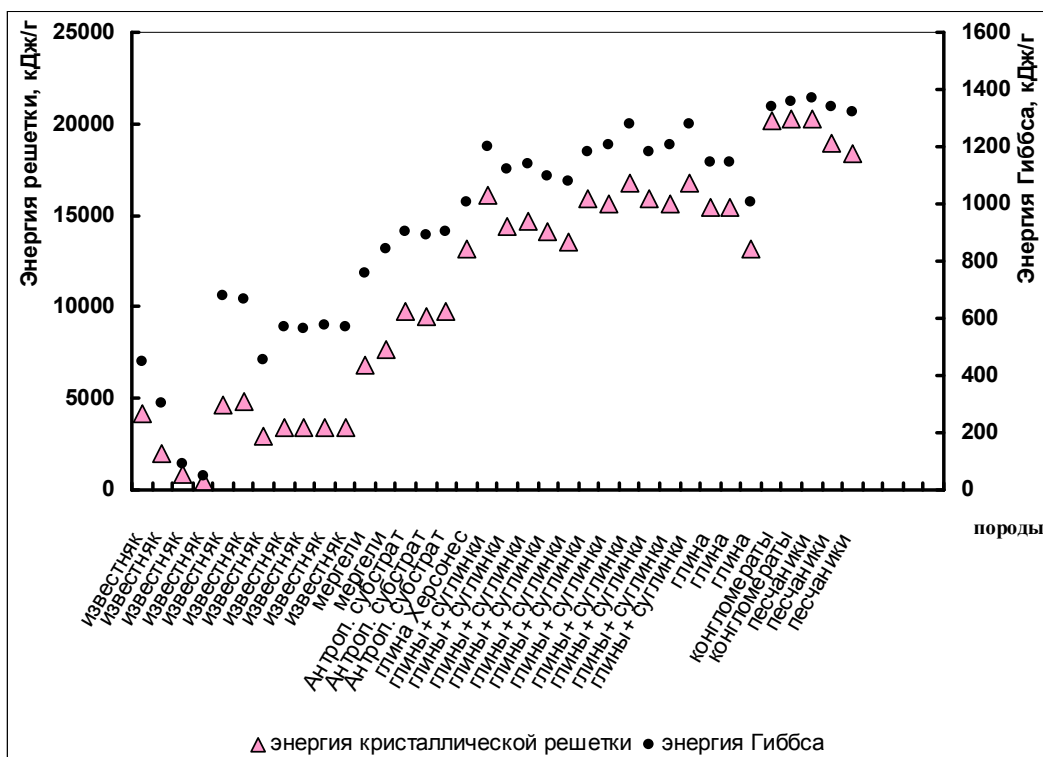


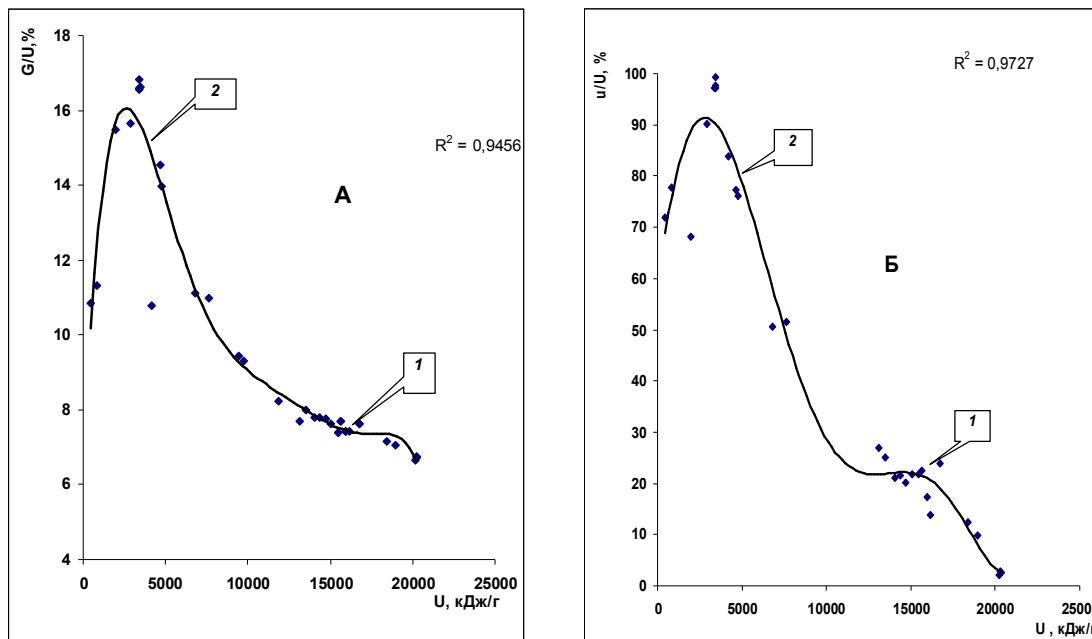
Рис 1. Энергия кристаллической решетки и энергия Гиббса для основных почвообразующих пород Крымского полуострова

Это обусловлено тем, что почвообразующие субстраты под почвами, которые сформировались на участках древнего размежевания (клерках) Херсонеской хоры, состоят из смеси крошки известняковых пород и почвы, которая закладывалась в плантаж при обустройстве древнего сельскохозяйственного использования территории.

Сравнение значений энергии кристаллической решетки ( $U$ ) с процентной долей отношения свободной энергии Гиббса к энергии решетки ( $G / U$ ) (рис. 2А) показало, что точки на графике располагаются в двух полях. Объекты в правом нижнем секторе (рис. 2А (1)) имеют высокие значения энергии кристаллической решетки, но количество свободной энергии, которая может превращаться в работу меньше. Это группа суглинков и глин. Напротив породы, которые занимают верхний левый сектор поля (рис. 2А (2)) имеют меньшую энергию решетки, но характеризуются большей свободной энергией, которая способна превращаться в работу.

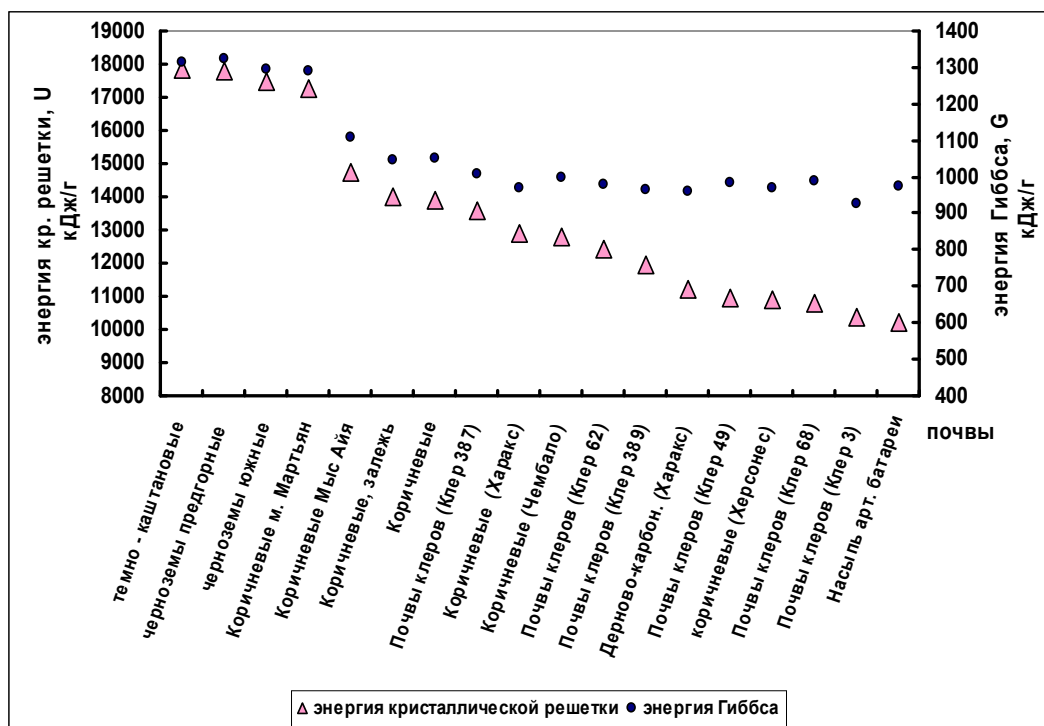
Анализ отношения значений энергии кристаллической решетки ( $U$ ) к доли бескремнеземной энергии ( $u/U$ , где  $u$  – энергия решетки без окислов кремния) доказал, что породы, которые имеют в своем составе незначительное количество кремнезема (известняки, мергели) имеют небольшие значения энергии кристаллической решетки (рис. 2Б (2)), с повышением содержания кремния в породе (глины, суглинки) энергия кристаллической решетки увеличивается (рис. 2Б (1)).

Рассмотренные закономерности дают право утверждать, что полиминеральные рыхлые горные породы, конгломераты и песчаники имеют достаточно благоприятные условия для их биологического освоения, они имеют большую реакционную способность на изменения условий среды, в результате процессов первичного и вторичного выветривания высвобождается значительное количество энергии, которая может использоваться при формировании новых почв на различных объектах, например на отвалах карьеров, участках с механически нарушенным почвенным покровом, прочее. Именно этими свойствами почвообразующих пород мы объясняем высокие значения скоростей формирования почвы на начальных этапах освоения территории от 1,4 до 1,2 мм / год на песках Арабатской стрелки [8] до 0,8-1,2 мм / год на суглинках Турецкого Вала [7].



**Рис. 2.** Зависимость энергии кристаллической решетки (U) от доли отношения энергии Гиббса к энергии кристаллической решетки (G/U) (А) и от доли отношения энергии бескремнеземной части к энергии решетки (u/U) (Б).

В почвах (табл. 1, рис. 3) высокие значения энергии кристаллической решетки и свободной энергии Гиббса присущи зональным полноголоценовым аналогам: это каштановые почвы, черноземы предгорные карбонатные, черноземы южные, и коричневые почвы



**Рис. 3.** Энергия кристаллической решетки и энергия Гиббса почв Крымского полуострова

Таблица 1.

## Термодинамические характеристики почв Крымского полуострова, (кДж/г)

Почвы	Возраст, годы	Энергия решетки, (U)	Энергия Гиббса, (G)	Энтропия (кДж/г*град)	G/U <sup>1</sup> , %	u/U <sup>2</sup> , %
Каштановые [18]	--	17856,9	1312,7	65,1	7,35	16,6
Черноземы предгорные [18]	--	17813,9	1324,9	66,4	7,42	13,2
Черноземы южные [18]	--	17475,4	1295,0	65,2	7,41	16,9
Мыс Мартьян	--	17263,5	1289,3	62,4	7,47	20,3
Коричневые под лесом, заказник Мыс Айя,	--	14735,2	1107,3	57,4	7,51	20,8
Коричневые, залежь	--	14017,9	1047,9	53,9	7,48	18,4
Почвы клеров (р.14)	2000	13560,5	1007,7	51,5	7,47	17,3
Коричневые, крепость Харакс,	2500	12899,6	967,5	49,3	7,50	22,5
Коричневые крепость Чембало	500	12779,2	997,3	52,6	7,80	21,6
Почвы клеров (с.8)	2000	12418,9	978,1	51,5	7,88	21,5
Почвы клеров (р.13)	2000	11951,6	963,4	51,3	8,06	23,8
Дерново-карбонатные, крепость Харакс,	2500	11184,7	958,3	53,0	8,57	42,4
Почвы клеров (р.10)	2000	10938,7	984,6	54,8	9,00	34,6
Коричневые, «Херсонес Таврический»,	1000	10882,9	971,1	55,5	8,92	34,7
Почвы клеров (р.7)	2000	10793,9	986,8	55,8	9,14	36,2
Почвы клеров (р.12)	2000	10382,4	925,4	52,2	8,91	32,5
Насыпь артиллерийской батареи	100	10184,6	974,3	58,3	9,57	43,8

1 – G/U, % - отношение свободной энергии к энергии кристаллической решетки;

2 – u/U, % - отношение бескремнеземной части энергии кристаллической решетки к общему значению энергии решетки

Максимальные значения энергии решетки наблюдаются в каштановых почвах – 17857 кДж/г, минимальные в коричневых – 17264 кДж/г. Меньшие значения термодинамических характеристик присущи разновозрастным почвам сформированным: на клерах Херсонского государства, возрастом 2000 лет, на руинах средневековых крепостей Харакс возрастом 2500 и Чембало возрастом 500 лет, а также на более молодых субстратах антропогенного происхождения (табл. 1). Значения энергии решетки разновременных почв изменяются от 1356 до 10184 кДж/г, что почти в 1,7 раз меньше, чем в зональных почвах, а значения энергии Гиббса колеблются в пределах от 1007 до 974 кДж/г, тогда как в зональных каштановых почвах ее значение равно 1107 кДж/г.

Сравнение энергии кристаллической решетки (U) с процентной долей отношения свободной энергии к энергии кристаллической решетки (G/U) (табл. 1), показывает, что полнопрофильные зональные почвы имеют большие значения энергии кристаллической решетки, но в них меньше доля свободной энергии, которая может превращаться в работу. Очевидно, причины этого в химическом и минералогическом составе почв. В таких почвах малая доля энергии, которая высвобождается и может вызывать формирование таких свойств почв на которые нужно затратить много энергии, например процессы выветривания, формирования гумусового горизонта, физико-химические процессы, в том числе аккумулярование гумуса. Этот факт необходимо иметь в виду при разработке комплексов мероприятий с целью улучшения свойств почв при их сельскохозяйственном использовании. Напротив, у молодых почв большая доля свободной энергии, что влечет освобождение большей части энергии, которая может превращаться в работу. Таким образом, в таких почвах, процессы формирования основных свойств почв проходят значительно быстрее. Этот момент отмечал В. А. Ковда, он указывал, что потенциальное плодородие почв обратно пропорционально запасу их внутренней энергии [12].

Как было замечено ранее, изменения суммарной величины энергии кристаллической решетки (U) в некоторой степени, находятся в связи с суммарной долей энергии, которая приходится на кремнезем [11]. Как отмечает В.Р. Волобуев: "Среди почв с малой энергией решетки наблюдаются очень большие различия в составе новообразованных минералов: это почвы, богатые или карбонатом кальция, или полутораокислами". [3, с. 91]. По данным таблицы 1 можно сделать аналогичный вывод, наибольшая энергия решетки, но низкая доля бескремнеземной части (u/U), свойственна зональным почвам, которые богаты остаточными минералами, тогда как молодые почвы с небольшими значениями энергии решетки, но высокой долей бескремнеземной части, богатые новообразованными минералами.

Для почв, характерны более высокие значения энергии кристаллической решетки минералов, чем для почвообразующих пород (табл. 2). В них значительно увеличиваются значения свободной энергии Гиббса, а это свидетельствует, что увеличивается количество высвобождаемой энергии, которая употребляется на процессы почвообразования, в том числе на усложнение системы, о чем свидетельствуют более высокие значения энтропии в почвах, чем в почвообразующих породах.

**Таблица 2.**  
**Термодинамические и энергетические характеристики почвообразующих пород и почв, (кДж / г)**

Разрезы	Энергия кристаллической решетки,	Энергия Гиббса	Энтропия (кДж/г*град)	Гумус %
Коричневые, разрез 4	13873,05	1052,29	55,51	7,00
Почвообразующая порода разреза 4	11823,27	971,72	52,49	2,83
Почвы клеров, клер 62	12418,93	978,05	51,54	4,27
Почвообразующая порода, клер 62	9454,31	891,99	51,77	1,02
Почвы клеров, клер 49	10938,71	984,56	54,83	5,22
Почвообразующая порода, клер 49	9728,45	903,36	52,33	1,40

Четкие временные зависимости и корреляция с почвообразующими породами наблюдаются и в закономерностях накопления энергии в гумусе почв. Нами рассчитаны запасы энергии в разновозрастных почвах Крымского полуострова в двух группах: в почвах, сформировавшихся на рыхлых почвообразующих породах и в почвах, сформировавшихся на плотных почвообразующих породах (известняки, конгломераты, сланцы). Данные представлены в таблицах 3 и 4.

**Таблица 3**

**Запасы энергии в гумусе разновозрастных почв, сформировавшихся на рыхлых почвообразующих породах**

Объект	Почвообразующая порода	Время, годы	Запасы энергии, ГДж/га
Отвалы (окрестности г. Симферополя)	Известковая смесь	10	160
Отвалы (там же)	Лессовидный суглинок	20	197
Отвалы (там же)	Лессовидный суглинок	57	1226
Окопы 2 Мировой войны (Перекопский Вал)	Лессовидный суглинок	64	425
Отвалы дота (Арабатская стрелка)	песок	67	239
Крепость Ор-Капу (Перекопский вал)	Лессовидный суглинок	155	230
Там же	Лессовидный суглинок	155	1025
Арабатская крепость, сев. стена	Почвенная смесь	155	500
Крепость Каффа, крепостная стена [15]	Почвенная смесь	532	1347
Мыс Зюк, Зенонов Херсонес [15]	Почвенная смесь	1300	2080
Гераклий, городище [15]	Лессовидный суглинок	1700	4894
Узунларский вал [15]	Почвенная смесь	2000	2366
Акмонайский вал	Почвенная смесь	2300	3087

Из таблицы 3 видно, что в первые 10 – 20 лет формирования примитивный профиль почвы на рыхлых почвообразующих породах уже накапливает 160 – 190 ГДж/га энергии, через 60 лет запасы энергии увеличиваются почти вдвое от 184 до 425 ГДж/га, и для процесса характерна значительная вариабельность данных. Большая энергия среди этой группы почв аккумулируется в гумусе почв, формирующихся на лессовидных глинах, тогда как на песках энергия значительно меньше 99 и 239 ГДж/га. С возрастом энергия, аккумулированная в гумусе, увеличивается. В почвах 150 летнего возраста она равна 500 – 1025 ГДж/га. За 2000 летнюю историю формирования почв на рыхлых почвообразующих породах энергия возрастает до 2366 - 3087 ГДж/га.

В почвах на плотных почвообразующих породах (известняки, конгломераты, сланцы ...) (табл. 4) энергия гумуса в слое почвы, сформировавшийся за 20 лет изменяется от 93 ГДж/га до 306 ГДж/га. На окопах 2 Мировой войны в почве возрастом 67 лет на делювии глинистых сланцев аккумулировано 184 – 303 ГДж/га энергии гумуса. На отвалах аналогичного возраста, но на делювии известняка и мергеля запасы энергии достигают 1075 ГДж/га. Запасы энергии, которая накапливается в почвах, сформировавшихся на протяжении 200-300 лет, сильно отличаются, это объясняется, прежде всего, механическим составом породы, на которой образуются почвы. Уже после 500 лет почвообразования запасы энергии достигают очень высоких значений от 2031 до 2968 ГДж/га. В почвах тысячелетнего возраста запасы энергии изменяются от 1324 до 3067 ГДж/га.

Графически процесс накопления энергии гумусом разновозрастными почвами Крымского полуострова представлен на рис. 4.

На рис 4 хорошо видно, что на плотных почвообразующих породах энергия, накапливаемая в гумусе, имеет меньшие значения, чем в почвах, формирующихся на рыхлых породах. Это объясняется термодинамическими свойствами почвообразующих пород. Но на начальных стадиях почвообразования процессы протекают параллельно.

Таблица 4

**Запасы энергии в гумусе разновозрастных почв, сформировавшихся на плотных почвообразующих породах (известняки, конгломераты, сланцы)**

Объекты	Почвообразующая порода	Время, годы	Запасы энергии, ГДж/га
Отвалы карьерас. Пролом	известняковая крошка	20	306
Там же	известняковая крошка	20	93
Микензиевы гори, окопы	известняковая крошка	67	1075
Партизанская землянка	Глинистые сланцы	67	184
Свято-Троицкий монастырь	Плита из известняка	80	265
Судакская крепость, казармы 18 в.	Стена из известняка	200	2737
Чуфут-Кале, руины	Стена из известняка	300	548
Пионерское, поселение	Стена из известняка	500	2031
Крепость Фуна, [15]	Стена из известняка	500	2237
Херсонес, руины дома	Стена из известняка	600	2703
Эски-Кермен, руины	Стена из известняка	700	1052
Печерный комплекс Бакла	Стена из известняка	1000	1324
Там же	Стена из известняка	1000	1501
Мыс Ай-Тодор, руины монастыря	Стена из известняка	1000	885
Крепость Харакс, римская стена	Стена из известняка	1600	2675

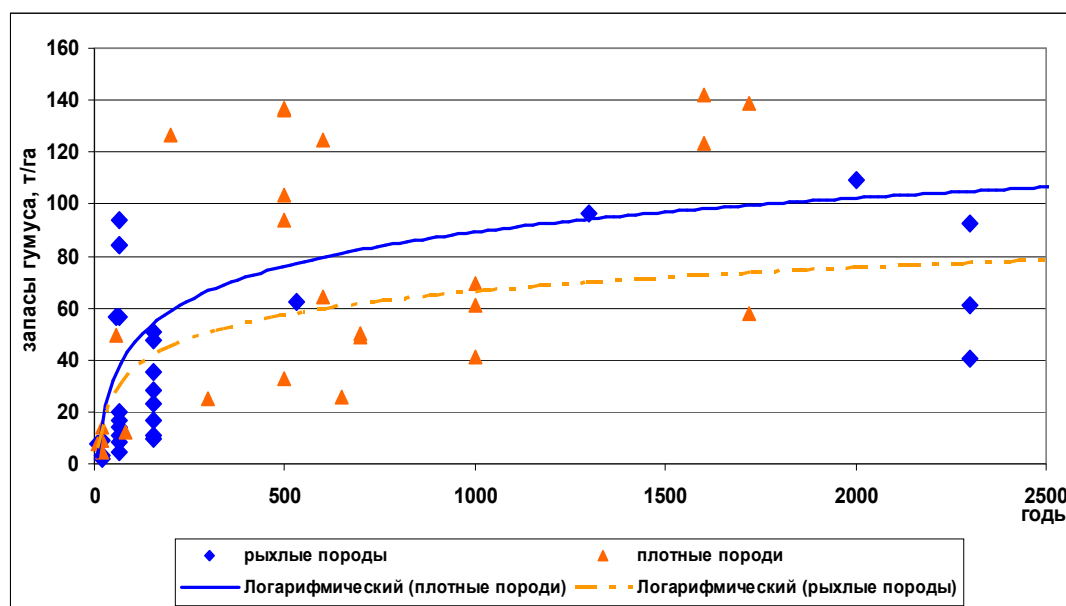


Рис. 4. Изменения энергии в гумусе разновозрастных почв

Заметим, что прирост энергии более значителен на начальных этапах формирования почвы. Со временем процесс накопления энергии затухает. В почвах возрастом 1000-1500 лет значения энергии в гумусе почв достигает значений близких к полнопрофильным голоценовым почвам (табл. 5.). Но в малогумусных видах запасы энергии даже меньше, чем в почвах имеющим меньший возраст. Этот факт можно объяснить, прежде всего, низким содержанием гумуса и преобладанием процессов



минерализации гумуса, который сопровождается потерями энергии при минерализации [1].

Таблица 5.

**Запасы энергии в гумусе метрового слоя полнопрофильных почв (плотность сложения 1,2 г/см<sup>3</sup>)**

Почвы	Гумус, %	Запасы энергии, ГДж/га
Каштановые, солонцеватые, Джанкойский р-н, на лессовидных суглинках [18]	3,78	2346
Каштановые, Красноперекопский р-н, на лессовидных суглинках [18]	4,01	2487
Малогумусный чернозем, на р. суглинках, Красногвардейский рН [18]	1,50	932
Чернозем малогумусных на красно-бурых глинах плиоцена [18]	4,22	2622
Малогумусный чернозем на красно-бурых глинах, Черноморский р-н, [18]	1,54	958

В работах по рекультивации отвалов отмечается, что различные почвообразующие породы имеют высокие темпы аккумуляции энергии и гумификации. Так, В.А. Забалуев отмечает, что процессы гумификации и аккумуляции энергии органическим веществом в горных породах происходят значительно интенсивнее, чем в зональных почвах [9]. Этот факт подтверждает возможность использования термодинамических и энергетических характеристик разновозрастных почв для анализа процессов формирования молодых почв на разных почвообразующих породах и прогноза их состояний в будущем.

### Выводы

С термодинамических позиций почвообразование представляет собой процесс закономерного увеличения термодинамических и энергетических характеристик субстрата, на котором формируются почвы. Высокие значения скоростей почвообразования на начальных этапах почвообразования объясняются термодинамическими характеристиками почвообразующих пород. По термодинамическим характеристикам способность горных пород к почвообразованию можно определить следующим рядом: известняки → мергели → красно-бурые глины → глины и суглинки → глины → конгломераты → песчаники. В почвах значения энергии кристаллической решетки минералов и свободной энергии Гиббса больше, чем в почвообразующих породах.

Энергетический подход к вопросу количественной оценки аккумуляции гумусом почвы энергии позволяет количественно определить энергетическую ценность гумуса, определить темпы аккумуляции энергии в нем, и прогнозировать процессы количественного и качественного восстановления почв на рекультивированных участках. При формировании почвы на плотных почвообразующих породах энергия, накапливаемая в гумусе, имеет меньшие значения, чем в почвах, формирующихся на рыхлых породах. Со временем процесс накопления энергии затухает. Энергия в гумусе почв приобретает значения близкие к полнопрофильным голоценовым почвам, уже через 1000-1500 лет их функционирования.

С увеличением значений энергетических и термодинамических характеристик в почвах темпы процесса почвообразования замедляются.

### Литература

1. Алиев С.А. Методы определения биоэнергетических балансов органического вещества почв/ С.А. Алиев // Почвоведение, 1975, № 4. – С 27-32.
2. Бедернічек Т.Ю. Енергетична ціна антропогенної трансформації лісових екосистем на основі оцінки змін вмісту карбону органічних сполук в едафотопі./ Т.Ю Бедернічек // Наукові доповіді НАУ, 2008–3 (11), с. 11-16.

3. Волобуев В.Р. Опыт расчета энергии кристаллической решетки почвенных минералов / В.Р. Волобуев// Почвоведение – 1968. № 4. – С. 89 – 93.
4. Волобуев В.Р. Энергетика почвообразования// В.Р. Волобуев / Изв. АН СССР. – Сер. биол.- 1959.- №1.- С.45–54.
5. Дзенс-Литовская Н.Н. Почвы и растительность Степного Крыма./ Н.Н. Дзенс-Литовская. – Л.: Изд.-во "Наука", 1970 – 152с.
6. Дорогокупец П.И. Термодинамика минералов и минеральных равновесий / П.И. Дорогокупец, И.К. Карпов – Новосибирск: Наука. 1984. – 184с.
7. Ергина Е.И. Михайлов В.А Почвенно-хронологические исследования на Перекопском перешейке в Крыму// Е.И. Ергина В.А Михайлов (Регіональні проблеми України: географічний аналіз та пошук шляхів вирішення. Зб. Наук. Праць. – Херсон: ПП Вишемирський. – 2009. – С. 174-178.
8. Єрґіна О.І. Особливості процесу сучасного ґрунтоутворення на території Арабатської стрілки/ Єрґіна О.І.// Регіональні проблеми України: географічний аналіз та пошук шляхів вирішення. – Зб. Наук. Праць. – Херсон: ПП Вишемирський. – 2011.С.110 – 113.
9. Забалуев В.О. Энергетичні і термодинамічні характеристики гірських порід як показника їх здатності до ґрунтоутворення / В.О. Забалуев // Екологія і природокористування – 2003 – випуск 6 – С. 92 – 95.
10. Зуев В.В. Кристаллоэнергетика как основа оценки свойств твердотельных материалов/В.В. Зуев, Л.Н. Поцелуева, Ю.Д. Гончаров – Санкт Петербург – 2006 – 325с.
11. Искандеров И.Ш. Энергия кристаллической решетки и свободная энергия минеральной части почв/И.Ш. Искандеров // Почвоведение – 1974, – № 4 – С. 147 – 149.
12. Ковда В.А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана./ В.А. Ковда – М.: Наука, 1981, 1981. – С. 5 – 15.
13. Козин В. К. Запас энергии в гумусе как критерий для бонитировки почв/ В.К. Козин // Почвоведение , 1990, №3. – С. 153-155.
14. Кочкин М.А. Почвы, леса и климат Горного Крыма и пути их рационального использования / М.А. Кочкин//Никит.бот. сад. Научн. тр. Т. 38. М.: Колос, 1967. 260 с.
15. Лисецкий Ф.Н.. Развитие почв Крымского полуострова в позднем голоцене / Ф.Н. Лисецкий, Е.И. Ергина // Почвоведение. 2010. № 6. С. 643-657.
16. Орлов О. Энергоемність гумусу як критерій гумусового стану ґрунтів / О. Орлов //Вісник Львівського Ун-ту. Серія біологічна.- 2002. Вип.31. С. 111-115.
17. Позняк С.П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів: підручник. У 2 частинах. Ч.1 / С.П. Позняк. – Львів:ЛНУімені Івана Франка, 2010. – 270 с.
18. Половицкий И.Я., Гусев П.Г. Почвы Крыма и повышение их плодородия./ И.Я. Половицкий, П.Г. Гусев- Симферополь: Таврия,
19. Руденко М. Д. Енергія прогресу (Нариси з фізичної економії)/М.Д. Руденко – Тернопіль. В-во "Джура", 2004. – 359 с.
20. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: справочное издание в 4 т./Л.В., Гурвиц, И.В. Вейц, В.А Медведев и др. – М: Наука, 1082 – т. 4 Кн 1 – 623 с.
21. Тюрин И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии./ И.В. Тюрин – М. 1937. – 231с.
22. Ферсман А.Е. Избранные труды /А.Е Ферсман – Изд. АН. СССР, т. IV, 1958. – 517с.

**Анотація.** О.І. Єрґіна *Динаміка термодинамічних властивостей і запасів енергії в гумусі ґрунтів Кримського півострова.* В статті викладені методологічні аспекти та практичні результати оцінки енергетики гумусу та термодинамічних властивостей різновікових ґрунтів Кримського півострову, які можливо використовувати як показники потенційної здатності гірських порід до ґрунтоутворення та самовідновлення порушених ґрунтів при розробці стратегій рекультивації земель. Визначені особливості термодинамічних властивостей та енергетики гумусу ґрунтів, що формуються на різноманітних ґрунтоутворюючих породах.  
**Ключові слова:** енергія кристалічної решітки, ентропія, енергія Гіббса, гумус, енергетика гумусу, енергетичний підхід

**Abstract.** E. Yergina *Dynamics of the thermodynamic properties and the energy stored in soil humus of the Crimean peninsula.* In the article describes the methodological aspects and the practical results of the evaluation of energy and thermodynamic properties of humus in soils of different ages of the Crimean peninsula, which can be used as indicators of the potential ability of rocks in soil formation and self-healing of disturbed soils in the development of strategies for land reclamation. The features of the thermodynamic properties and energy humus soils formed on different parent rocks.

**Keywords:** crystal lattice energy, entropy, Gibbs energy of humus, humus energy, energy approach