

УДК 631.417.2

ОЦЕНКА ГУМУСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ С ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И КИНЕТИЧЕСКИХ ПОЗИЦИЙ**В. А. ЧЕРНИКОВ****(Кафедра физической и коллоидной химии)**

Дается оценка гумусового состояния почв с позиций современных термодинамических и кинетических представлений. Обосновывается концепция необходимости постоянного притока органического материала для поддержания соответствующих стабильных состояния гумуса и его структуры. С позиций термодинамики открытых систем сформулированы теоретические принципы управления гумусовым состоянием почв.

Почва с произрастающими на ней растениями, живущими в ней животными и микроорганизмами представляет собой живую систему [14, 49, 82], точнее, систему живого вещества и неживой материи, находящихся в циклическом взаимодействии [43]. Поэтому разнообразные процессы, которые протекают в почве, должны рассматриваться с позиций термодинамики, поскольку ни один из разделов теоретической физики не связан с биологией так тесно и не дает столь ценной информации о процессах жизни, как термодинамика [83].

Применение классической термодинамики позволило успешно исследовать обратимые процессы и тем самым достичь определенных результатов в почвоведении [24, 35]. Это касается расчетов энергии кристаллической решетки минералов и отдельных компонентов почв при изучении выветривания и почвообразования [16, 17, 31, 36, 65, 68, 78], установления прочности связи элементов в минералах, почвах и органическом веществе [16, 74], характеристики обменных адсорбционных процессов [53, 66, 90], исследования различных агрофизических вопросов [19, 28], измерения энергии активации реакций [5, 7], решения глобальных вопросов почвенной зональности в энергетическом аспекте [16—18, 69]. Но и здесь существуют свои проблемы, связанные с трудностью рассмотрения кинетических закономерностей, неоднородностью минералогического состава, неправомерностью переноса закономерностей простых обменных реакций на сложные системы и недоучета влияния комплексных соединений элементов с органическим веществом.

В решении проблемы органического вещества почв термодинамический подход приобретает особо важное значение, ибо плодородие и их высокая производительность в значительной степени определяются состоянием гумуса. Процессы, протекающие в почве, в том числе превращение органического вещества, многими исследователями так или иначе рассматриваются с позиций термодинамики открытых систем без вычисления соответствующих функций. В. Р. Вильямс отмечал: «Необходимо признать за природным органическим веществом как за конечным продуктом той комбинации процессов, которая называется жизнью, свойство устойчивости при термодинамических условиях его образования» [14, с. 73].

А. А. Роде указывает на «безобменное одностороннее поступление в почву органического вещества, синтезированного высшими растениями, несущего в себе химическую энергию, являющуюся трансформированной лучистой энергией Солнца» [72, с. 13].

Биосфера Земли считается саморегулирующейся (самоуправляемой) системой [36, 43, 75, 81]. Благодаря поддерживаемому и регулируемому гомеостазу обеспечивается определенное содержание органического вещества и различных элементов в почве, а также определенные показатели рН. При этом равновесное состояние рассматриваемой системы достигается путем «износа» и «выброса» избыточных коли-

честв элементов вследствие усиления соответствующих процессов [34, 50, 64]. При установлении типов режимов функционирования экосистем учитывается степень их открытости и обратимости [10, 42, 99]. Гумусовые вещества весьма устойчивы к микробиологическим воздействиям, что объясняется их крайне неупорядоченной молекулярной структурой, а это, в свою очередь, обуславливает максимум энтропии данных соединений, постоянно увеличивающейся в процессе самопроизвольно происходящей гумификации [100].

При исследовании воздействия растворов гумусовых кислот на минералы [79] и изучении разложения растительных остатков [48] весьма информативно моделирование закрытых и открытых систем. Предпринята попытка объяснить физиологическую активность гуминовых кислот особенностями их воздействия на термодинамические процессы в растениях, что проявляется в снижении температурного коэффициента Вант-Гоффа и повышении активности ферментов посредством уменьшения энергии активации [80].

В работах сотрудников кафедры физической и коллоидной химии Тимирязевской академии рассматриваются некоторые вопросы превращения органического вещества с позиций термодинамики открытых систем [2, 3, 96].

По характеру изменения свободной энергии установлены спонтанность реакций соле- и комплексообразования более высокая вероятность последнего; поэтому комплексообразование играет важную роль в передвижении металлов из почвенной матрицы к корням растений [91]. Само отнесение почвенной системы к матричному типу подразумевает ее саморегуляцию, о чем можно судить на основании процессов фрагментарного обновления периферической части гумусовых соединений и последующей матричной достройки центральной (ядерной) части, при этом проявляется саморегулирующая функция почвенного гумуса [20, 23, 91—93].

Проведение прямых определений тех или иных термодинамических функций позволило изучить баланс затрат энергии на процессы разложения растительной массы и новообразования гумусовых кислот и установить теплоту сгорания гумусовых веществ почв [6, 7, 27, 30]. Некоторые фракции торфяных гуминовых кислот имеют положительное значение энтальпии образования, поэтому они обладают повышенным запасом свободной энергии [29, 30]. Предполагается, что если первая фаза гумификации представляет собой экзотермический процесс, то вторая фаза (синтез гумусовых веществ) — эндотермический [6]. Полученные данные хорошо согласуются с концепцией М. М. Кононовой [45].

Однако результаты калориметрических и термографических измерений поставили под сомнение эти предположения. Так, показано, что продукты с более высокой калорийностью могут быть итогом экзотермических реакций, если происходит селективное окисление веществ с более низкой калорийностью [27]. Противоречие здесь, очевидно, заключается в том, что не совсем правомерно сравнивать данные об энтальпии образования гумифицирующихся остатков и нефракционированных гумусовых соединений с отдельными фракциями последних, теплоту сгорания — с аналогичными показателями, полученными термографическим методом для этих фракций. Безусловно, постепенное окисление различных групп органического вещества при плавном повышении температуры можно рассматривать как имитацию процессов гумификации и минерализации. Однако необходимо отметить, что данные, полученные для препаратов отдельных фракций с помощью термических методов, представляют большой интерес для выявления их структурных особенностей. Это подтверждается наличием эндотермических эффектов у гуминовых кислот в высокотемпературной области, что связано с пространственно-структурными переходами [57, 67]. Следовательно, при изучении открытых систем целесообразнее пользоваться данными об

увеличении энтропии и диссипативных функциях, а не данными об энтропии и свободной энергии.

Таким образом, важно рассмотреть процессы превращения органического вещества почв с позиций термодинамики открытых систем, основываясь на современных представлениях в этой области [26, 37, 70, 71, 73, 83].

В открытых системах вместо термодинамического устанавливается стационарное состояние, в котором параметры системы, как и в равновесии, сохраняют свои значения. Однако в отличие от равновесия это достигается за счет уравнивания притока и оттока вещества и энергии в системе

$$\frac{dS}{dt} + \left(-\frac{d_e S}{dt} \right) = \frac{d_i S}{dt},$$

т. е. скорость возрастания энтропии системы + скорость оттока энтропии из системы равны скорости возникновения энтропии внутри системы. Независимо от того, с какой системой мы имеем дело (изолированной, закрытой или открытой), в соответствии со вторым принципом термодинамики в ней всегда возникает энтропия диссипации. В открытой системе $dS = d_e S + d_i S$, где $d_e S$ — поток энтропии из среды; — продукция энтропии внутри системы в результате протекания необратимых процессов. Итак, выход продукции энтропии в открытой системе, находящейся в стационарном состоянии, компенсируется потоком энтропии, идущей из среды. С другой стороны, скорость возрастания энтропии в системе равна убыли свободной энергии, т. е. в открытой системе, находящейся в стационарном состоянии, поток энтропии равен потоку свободной энергии, идущей из среды в систему. Отсюда следует, что поток энтропии (отрицательная энтропия) связан не с поддержанием упорядоченности системы, а с уменьшением свободной энергии в самой системе.

Таким образом, убыль свободной энергии в почвенной системе компенсируется за счет притока отрицательной энтропии при разложении растительных остатков, поступающих в почву. В этом случае увеличение потока отрицательной энтропии при возрастании количества поступающих растительных остатков в систему обуславливает перевод ее в новое стационарное состояние с более высоким энергетическим уровнем.

По теореме И. Пригожина, эволюция открытой системы (к стационарному состоянию) описывается неравенством

$$\frac{d\psi}{dt} \leq 0, \quad \psi = \frac{1}{V} \frac{d_i S}{dt},$$

где ψ — удельная диссипативная функция системы; V — объем системы.

Гумусовые соединения почв можно отнести к диссипативным структурам, для существования которых необходим постоянный обмен энергии и вещества; они сохраняют свои параметры до тех пор, пока имеется связь с окружающей средой [51]. Этим обосновывается необходимость постоянного притока органического материала независимо от содержания гумуса в почве для поддержания соответствующего уровня стабилизации как состояния гумуса, так и самой его структуры. С другой стороны, диссипация энергии, возникающая за счет разложения гумусовых соединений, крайне нужна и микроорганизмам, и растениям. По В. Р. Вильямсу, задача сельского хозяйства состоит в том, чтобы «... непрерывно создавать органическое вещество, в котором воплощается скрытая энергия жизни человечества» [15, с. 114]. Л. Больцман отмечает, что «борьба за существование живых существ не является борьбой за вещество или энергию, ... а является борьбой за энтропию, ... возможность использования которой появляется в результате перехода энергии от горячего солнца к холодной земле [по 52, с. 11].

Таким образом, запасенная в гумусе энергия представляет собой источник дополнительной отрицательной энтропии. Увеличение потока данной энергии микроорганизмам и растениями играет огромную роль, поскольку растения усваивают лишь $\sim 1\%$ солнечной энергии [16]. Коэффициент использования микроорганизмами энергии, освобождающейся при окислении органических веществ, не превышает 20% [89]. Поэтому установление количества энергии, связанной в биомассе, и степени ее использования имеет первостепенное значение для разработки приемов управления биологической продуктивностью с целью наиболее полного использования солнечной радиации [5].

Благодаря постоянному потоку вещества и энергии, проходящих через систему, флуктуации могут стабилизироваться и обеспечивать поддержание структуры гумусовых соединений. При этом исходные структуры несут на себе отпечаток исходных флуктуаций, т. е. обладают некоторым видом примитивной памяти с функцией самодостройки [13]. Все это приводит к спонтанной самоорганизации системы. Такой подход позволяет рассматривать почвенную систему как «почва — память» и «почва — момент» [76, 77, 82]. При этом квази-равновесное состояние, в понимании авторов, очевидно, адекватно стационарному, в то время как полный климакс (равновесие в закрытой системе) почвы представляется маловероятным [82].

При истощении источников энергии стационарное состояние становится нестабильным и система стремится к равновесию, что, по всей видимости, можно наблюдать в варианте с бессменным паром в длительном опыте ТСХА, а определенные уровни стационарного состояния — в вариантах с бессменными культурами.

Системный подход к изучению процессов почвообразования, когда каждый элементарный биогеоценоз рассматривается как система, состоящая из блоков, обменивающихся веществом и энергией, с учетом интенсивных и экстенсивных параметров, в наибольшей степени приближается к рассмотрению этого процесса с термодинамических позиций открытых систем [10, 38, 54, 84, 88]. Поэтому с его помощью достигаются наибольшие успехи в решении различных вопросов функционирования не только биогеоценозов, но и агропочвоведения [9, 85—87].

Стационарное гумусовое состояние в данный момент времени будет определяться современными биоклиматическими условиями, принятой системой обработки почвы, количеством применяемых минеральных и органических удобрений в севообороте и другими факторами. В этой связи правомерно говорить о некотором предельном, возможном для данных условий уровне накопления органического вещества, что было подмечено еще П. А. Костычевым и С. П. Кравковым и обсуждено в работах [6, 7, 21, 31, 47, 61, 98].

Л. О. Карпачевским [38] обосновывается предельность развития многих свойств почв в данных природных условиях. Идет ли речь об уровне стабилизации запасов гумуса [21], или об уравновешенном балансе гумусонакопления [6], или о емкости насыщения гумусом [47], или о пределе насыщения гумусом для каждого типа почвы [98], следует иметь в виду необходимость определения этих параметров не только для того или иного типа почвы, но и для конкретной культуры в севообороте. И тогда конечной целью всех мероприятий будет создание оптимального гумусового состояния (содержание гумуса и качественный состав), при котором проявятся максимальные возможности наиболее требовательной культуры в севообороте. При этом регулировать свойства гумусовых соединений целесообразно после завершения работы системы в накопительном режиме, на этапе стабилизации содержания гумуса.

Не менее важной задачей является поиск путей регулирования гумусового состояния. Как отмечает С. П. Кравков: «...вырастают две основные (по своему внутреннему смыслу, можно сказать, противоположные) проблемы: с одной стороны, изыскание приемов обогащения, насыщения и закрепления в почвах органического вещества (с одновре-

менным, конечно, изысканием и изучением соответствующих материалов, могущих служить в качестве закрепляемых комплексов); с другой — изыскание приемов, с помощью которых мы могли бы интенсифицировать и направлять в желательную сторону процессы разложения органического вещества, уже имеющегося в почвах» [48, с. 226].

Таким образом, количество органического вещества можно регулировать имитацией степени открытости системы, «закрывая» ее, например, минимализацией обработки почвы после многолетних трав в севообороте, что позволяет создать оптимальные условия для увеличения запасов гумуса и усиления процессов закрепления разлагающихся растительных остатков, или «открывая» систему при необходимости усиления процессов минерализации путем внесения большего количества минеральных удобрений и повышения доли пропашных культур в севообороте.

Стационарное гумусовое состояние характерно для целинных почв, и по запасам гумуса в них, очевидно, можно судить о максимальной возможности почв. При окультуривании почвы системы выходит из этого состояния и в зависимости от направленной деятельности человека может прийти в новое стационарное состояние, для которого свойственны либо меньшие запасы гумуса (что чаще всего и бывает), либо более высокие, значительно превышающие исходный уровень, что, естественно, требует и больших усилий. При этом «характерное время», необходимое для достижения того или другого уровня стационарного состояния [8, 82], будет определяться интенсивностью воздействия изменяющихся факторов почвообразования.

Можно утверждать, что процесс гумификации осуществляется по принципу отбора термодинамически устойчивых структур [25, 44, 60, 62, 63, 94, 95], причем наибольшая сложность возникает при рассмотрении кинетических закономерностей гумификации растительных остатков и трансформации самих гумусовых соединений почв. Отсюда понятна важность разработки кинетической теории данных процессов [25, 60, 61].

С кинетической точки зрения установление в системе стационарного состояния означает, что концентрация ее компонентов не изменяется во времени:

$$\frac{dC_n}{dt} = 0.$$

При этом по мере перехода от неустойчивой системы к устойчивой первоначальные флуктуации будут со временем увеличиваться и по мере приближения к стационарному состоянию исчезать. Следовательно, нет оснований сомневаться в правомерности и возможности балансовых расчетов на каждый конкретный год или меньший период [21]. Так, критический анализ кинетических закономерностей гумификации позволил вывести оригинальную формулу, по которой можно вычислить ход разложения растительных остатков на любой период времени [4].

Гумификация растительных остатков и минерализация гумуса являются наиболее «узким местом» в цепи процессов трансформации органического вещества в почве. Отсюда следует, что ее общая скорость будет определяться этими двумя наиболее медленными звеньями и что последние представляют собой те рычаги, при помощи которых можно управлять поведением всех сопряженных процессов трансформации органического вещества в почве. Таким образом, наиболее эффективным способом кинетического управления системой является учет изменения скорости гумификации и минерализации.

Для исследования трансформации растительных остатков по мере их превращения в гумусовые соединения, с одной стороны, и изменения самого гумуса, с другой, необходимо скрупулезное изучение кинетики всех многочисленных процессов, протекающих в почве. При этом следует иметь в виду, что особенно сложно выявить степень сопряженности двух основных процессов, обуславливающих итоговый результат — гу-

мификацию и минерализацию. Вполне понятно, что скорость превращения различных соединений, составляющих растительные остатки, будет определяться их составом и свойствами [1, 4, 12, 45, 59, 89], напряженностью и динамикой деятельности различных организмов, ферментов и абиотических факторов [39, 45—47, 55, 56, 97]. Поэтому измерение скорости трансформации всех компонентов с учетом того, что одни и те же соединения могут не раз включаться и в цикл гумификации, и в цикл минерализации, представляется весьма трудоемким и сложным. В этом отношении исключительно ценными являются работы, в которых проводилась тщательная количественная оценка интенсивности биологических и абиотических потоков из блока в блок почвенной системы [9, 11, 85, 87, 88].

Скорость разложения растительных остатков в различных условиях [по 87]

Условия разложения	Потери за год, %	Условия разложения	Потери за год, %
Разложение отмытых корней в мешочках (закрытая система)	23	Разложение подстилки без поступления растительных остатков (закрытая система)	30
То же, но смешанных с почвой (приоткрытая система)	41	То же с добавлением ветоши в соответствии с интенсивностью потока органического вещества из блока «ветошь» в блок «подстилка» (полуоткрытая система)	41
Разложение в почве без нарушения сложения при отсутствии поступления от фитомассы (полуоткрытая система)	53	То же относительно входного потока	59
Разложение в условиях, максимально приближенных к природным, с учетом прироста подземных органов (открытая система):		Разложение в условиях, максимально приближенных к природным, с учетом ежемесячных входных потоков (открытая система)	63
относительно суммы запаса корней на начало опыта и их прироста	57	То же относительно входного потока	87
относительно входного потока органического вещества в блок «корни»	100		

Данные, приведенные в таблице и классифицированные нами по степени открытости системы, убедительно показывают, что скорость разложения растительных остатков определяется как степенью открытости системы, так и качеством материала. Наибольшая скорость разложения достигается в условиях открытых систем, максимально приближенных к природным, в которых вводится в действие весь комплекс процессов, ответственных за трансформацию исходного растительного материала. Темпы трансформации надземных растительных остатков выше, чем корневых остатков. Это свидетельствует о том, что первые являются, с одной стороны, источником лабильного, подвижного гумуса, служащего в основном легкодоступным энергетическим материалом для микроорганизмов, с другой — основным выходным потоком из системы, увеличивающим потери органического вещества. Понятно, что при окультуривании почв по мере повышения степени открытости системы интенсивность этого потока будет возрастать. Корневые остатки, наоборот, служат источником как лабильного, так и стабильного гумуса (масса корней в 64 раза больше, чем надземная масса растительности [4, 6]). Поэтому при критической оценке скоростей трансформации растительного материала следует учитывать его качество и условия разложения [21, 47, 91]. Скорость трансформации растительных остатков в течение 2 лет может быть нулевой (цвет растительных остатков за это время не изменился) [21] и составлять 60—100 % к потерям за год [47, 87]. Исходя из данных таблицы, также можно заключить, что судить об общей скорости процесса надо по самым медленным стадиям.

Для изучения процесса трансформации различных соединений, определения коэффициентов гумификации и минерализации существует

немало способов, которые достаточно хорошо освещены в литературе, но предпочтение следует отдавать методу меченых атомов [22, 32, 40, 41, 58, 91—93]. При этом в большинстве случаев многие процессы, протекающие в почве, и трансформация соединений в ней в интегральном выражении подчиняются кинетическому уравнению первого порядка, что дает возможность выражать их скорость вполне конкретными величинами и определять время полупревращения при известной скорости, и наоборот. Очевидно, в данном случае основой является знание скоростей трансформации растительных остатков и вносимых органических удобрений. Наиболее результативными можно считать такие показатели, как накопление гумуса и оптимальное соотношение лабильной и стабильной его частей. Знание их динамики позволит разработать мероприятия, с помощью которых можно управлять гумусовым состоянием.

Определение коэффициентов гумификации и минерализации в конкретных условиях является весьма сложной задачей, поскольку они зависят от комплекса природных и техногенных факторов. Поэтому данные о коэффициентах минерализации приводятся лишь в единичных работах. В большинстве из них в основном говорится о коэффициентах гумификации, хотя и подразумевается степень сопряженности указанных процессов. Особую сложность представляет вычленение отдельных стадий и частных процессов трансформационных изменений. В результате правильнее оценивать интенсивность гумификации, используя данные о глубине гумификации, о которой судят, сопоставляя определенные параметры [60].

Для культурных агроценозов (систем земледелия) представляется целесообразным ввести интегрирующие показатели трансформации, отражающие процессы превращения растительных остатков, вносимых органических удобрений и процессы изменения самого гумуса и учитывающие отношение всех входных и выходных биотических и абиотических потоков вещества и энергии. Критериями этих показателей должны быть изменение содержания и состава гумуса, глубина гумификации, прочность закрепления органического вещества, соотношение лабильной и стабильной частей. Накапливать сведения об интегрирующих показателях трансформации необходимо с учетом каждого конкретного севооборота в стационарных длительных опытах. Указанные показатели легко оценивать не только в имитирующих моделях (вегетационные, микрополевые опыты), но и в полевых условиях с помощью разнообразных методов (оптическая спектроскопия, термография, измерение биологической активности и т. п.), что даст возможность более часто (даже ежегодно) проводить оценку гумусового состояния почв. Все это позволит получить данные о динамике состава и свойства гумуса, правильно и своевременно регулировать его состояние.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. — Л.: Наука, 1980. — 2. Алешин С. Н. Термодинамика превращений органических веществ в почвах. — В сб.: Биохимия и плодородие почв. — М.: Изд-во МГУ, 1967, с. 19—20. — 3. Алешин С. Н., Шевцова Л. К., Черников В. А. К вопросу об изменении органического вещества почвы при длительном применении удобрений. — Агрохимия, 1971, № 6, с. 49—54. — 4. Алиев С. А. Условия накопления и природа органического вещества почв. — Баку: АН Азерб. ССР, 1966. — 5. Алиев С. А. Биоэнергетика органического вещества почв. — Баку: Элм, 1973. — 6. Алиев С. А. Методы определения биоэнергетических балансов органического вещества почв. — Почвоведение, 1975, № 4, с. 27—32. — 7. Алиев С. А. Экология и энергетика биохимических процессов превращения органического вещества почв. — Баку: Элм, 1978. — 8. Арманд А. Д., Таргульян В. О. Некоторые принципиальные ограничения эксперимента и моделирования в географии (принцип дополнителности и характерное время). — Изв. АН СССР, Сер. геогр. наук, 1974, № 5, с. 129—137. — 9. Базилевич Н. И. Опыт концептуального моделирования почвы. — Докл. АН СССР, 1978, т. 240, с. 959—962. — 10. Базилевич Н. И. Продуктивность, биогеохимия современной биосферы и функциональные модели экосистемы. — Почвоведение, 1979, № 2, с. 5—21. — 11. Базилевич Н. И., Титлянова А. А. Происхождение сибирского чернозема (функциональные модели). — В кн.:

Проблемы почвоведения (советские почвоведы к XI Межд. конгр. в Канаде, 1978 г.). — М.: Наука, 1978, с. 218—224. —

12. Ваксман С. А. Гумус. Происхождение, химический состав и значение его в природе. — М.: Сельхозгиз, 1937. —

13. Васильев В. А. Стационарные диссипативные структуры. — В кн.: Термодинамика биологических процессов. — М.: Наука, 1976, с. 186—197. — **14.** Вильямс В. Р. Почвоведение. Земледелие с основами почвоведения. — М.: Гос. Изд-во с.-х. лит-ры, 1949. — **15.** Вильямс В. Р. Избр. соч. — М.: Московский рабочий, 1950. — **16.** Волобуев В. Р. Введение в энергетику почвообразования. — М.: Наука, 1974. — **17.** Волобуев В. Р. Термодинамические характеристики генетических типов почв. — В кн.: Проблемы почвоведения (советские почвоведы к XI Межд. конгр. в Канаде, 1978 г.). — М.: Наука, 1978, с. 191—196. — **18.** Волобуев

В. Р. Мировая почвенная зональность в энергетическом аспекте. — В сб.: Исследования по биоэнергетике в Азербайджане. — Баку: Наука, 1979, с. 122—130. — **19.** Волобуев В. Р., Пономарев Д. Г., Микайлов Ф. Д. Связь между термодинамическими функциями почв, их минералогическим составом и фильтрационной способностью. — Почвоведение, 1980, № 3, с. 102—105. — **20.** Гаджиев И. М., Дергачева М. И. Изменения органического вещества дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом под влиянием зимнего промерзания. — В сб.: Проблемы сиб. почвоведения. — Новосибирск: Наука, 1977, с. 97—106. — **21.** Ганжара Н. Ф. О коэффициенте гумификации и методическом подходе к определению гумусового баланса в почвах. — Почвоведение, 1979, № 4, с. 139—147. — **22.** Глонти Г. Г., Лабадзе Н. А., Кварацхелия Н. Г. Применение радиоуглерода в исследованиях гумусообразования. — В сб. тр. к X Межд. конгр. почвоведов. — М.: Наука, 1979, с. 111—129. — **23.** Головенко С. В. Экологическое почвоведение — предмет и метод. — В сб.: Методология и методика почв и ландшафтно-геохим. исслед. — М.: Наука, 1977, с. 25—37. —

24. Горбунов Н. И. Значение материалистических концепций В. И. Ленина для решения некоторых вопросов почвоведения. — Почвоведение, 1970, № 4, с. 6—12. — **25.** Гришина Л. А., Коротков К. О. Пути образования специфических органических веществ в почве. — Докл. АН СССР, 1978, т. 238, № 5, с. 1218—1221. — **26.** Гроот С. Р. Термодинамика необратимых процессов. — М.: Гос. изд-во технико-теоретич. лит-ры, энергетические явления в процессах гумификации. — Почвоведение, 1979, № 11, с. 68—75. — **28.** Диденко А. В., Соколенко Э. А. Понятие энтропии и мелиорации засоленных почв. — В сб.: Количественные методы в мелиорации засоленных почв. — Алма-Ата: Наука, 1974, с. 136—139. — **29.** Драгунов С. С. Химическая характеристика гуминовых кислот и их физиологическая активность. — В сб.: Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Т. VII, Днепр. СХИ, 1980, с. 5—21. — **30.** Драгунов С. С., Каба-

лова Н. Г. Биохимическое исследование торфяных гуминовых кислот. — Почвоведение, 1975, № 5, с. 52—57. — **31.** Егоров В. В. Органическое вещество почвы и ее плодородие. — Вестник с.-х. науки, 1978, № 5, с. 12—20. — **32.** Завельс к и й Ф. С. Радиоуглеродное датирование почв и других объектов с учетом углеродного обмена. — Науч. докл. высш. шк. биол. науки, 1979, № 6, с. 87—95. — **33.** Звягинцев Д. Г. Проблемы биохимии почв. — Вестник МГУ. Сер. Почвоведение, 1977, № 1, с. 74—84. — **34.** Звягинцев Д. Г. Основные принципы функционирования комплекса почвенных микробов. — В кн.: Проблемы почвоведения (советские почвоведы к XI Межд. конгр. в Канаде, 1978 г.). — М.: Наука, 1978, с. 97—102. — **35.** Зонн С. В. Пропаганда достижений советского почвоведения. — Почвоведение, 1977, № 10, с. 15—21. —

36. Зонн С. В. В. В. Докучаев и современные проблемы почвоведения. — Почвоведение, 1979, № 9, с. 5—14. — **37.** Зотин А. И. Термодинамический подход к проблеме развития, роста и старения. — М.: Наука, 1974. — **38.** Карпачевский Л. О. Почва — компонент разных породных систем. Методологические вопросы. — В сб.: История и методология естественных наук. — М.: Наука, 1980, № 24, с. 55—61. — **39.** Карпачевский Л. О., Бобкова Г. В., Бязров Л. Г., Иванушкина К. Б., Чернова Н. М. О связи некоторых свойств почв с различными компонентами биогеоценоза. — В сб.: Проблемы и методы биолог. диагност. и индикации почв. — М.: Наука, 1976, с. 224—229. — **40.** Кауричев И. С., Ганжара Н. Ф. Скорость и направленность процессов превращения органических веществ в дерново-подзолистых почвах. — Докл. ТСХА, 1971, вып. 162, с. 5—9. — **41.** Кауричев И. С., Карпунин А. И., Степанова Л. П. Изучение состава и устойчивости водорастворимых железоорганических комплексов. — Почвоведение, 1979, № 2, с. 39—52. — **42.** Ковда В. А. Земельные ресурсы и перспективы их дальнейшего освоения. — Почвоведение, 1977, № 10, с. 5—14. — **43.** Ковда В. А. Биосфера и почвенный покров. — Тр. биогеохим. лабор. Ин-та геохимии и аналит. химии АН СССР. — М., 1979, т. 17, с. 46—54. —

44. Комиссаров И. Д. Обработка почвы и трансформация органического вещества в ней. — Проблемы земледелия. — М.: Наука, 1978, с. 161—168. — **45.** Кононова М. М. Органическое вещество почвы. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — **46.** Коротков А. А., Завьялова Е. Ф. Трансформация органических удобрений при их разложении в дерново-подзолистых почвах. — Науч. тр. ЛСХИ, 1979, т. 383, с. 42—52. — **47.** Коротков А. А., Новицкий М. В. Процессы гумификации растительных остатков в дерново-подзолистых почвах. — Почвоведение, 1969, № 6, с. 72—80. — **48.** Крачков С. П. Биохимия и агрохимия почвенных процессов. — Л.: Наука, 1978. — **49.** Крупеников И. А. О законах почвоведения. — В сб.: Бонитировка, генезис и химия почв Молдавии. — Кишинев: Штинца, 1979, с. 3—9. — **50.** Кудеяров В. Н. Компенсационные стороны азотного баланса в почве при вне-

сении удобрений. — В сб.: Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. — Пушино: Ин-т почв. и фотосинтеза АН СССР, 1979, с. 39—46. — **51.** Лампрехт И. Диссипативные структуры в физике, химии и биологии. — В кн.: Термодинамика биолог. процессов. — М.: Наука, 1976, с. 175—185. — **52.** Лампрехт И. Использование понятий классической термодинамики в биологии. — В кн.: Термодинамика биолог. процессов. — М.: Наука, 1976, с. 11. — **53.** Лиштван И. И., Круглицкий Н. Н., Третинник В. Ю. Физико-химическая механика гуминовых веществ. — М.: Наука и техника, 1976. — **54.** Ляпунов А. А., Титлянова А. А. Системный подход к изучению круговорота веществ и энергии в биогеоценозе. — В кн.: О некоторых вопросах кодирования и передачи информации в управляющих системах живой природы. — Новосибирск: Наука, 1971, с. 99—188. — **55.** Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. — М.: Наука, 1972. — **56.** Мишустин Е. Н., Емцев В. Т. Почвенные азотфиксирующие бактерии рода *Clostridium*. — М.: Наука, 1974. — **57.** Накиташвили А. П., Коичиц В. А., Черников В. А. Термографическая характеристика гумусовых кислот коричневых почв Грузии. — Изв. ТСХА, 1975, вып. 6, с. 113—126. — **58.** Неунылов Б. А., Хавкина Н. В. Изучение скорости разложения и процессов превращения в почве органического вещества, меченного ^{14}C . — Почвоведение, 1968, №2, с. 103—108. — **59.** Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв. — М.: Изд-во МГУ, 1974. — **60.** Орлов Д. С. Кинетическая теория гумификации и схема вероятного строения гуминовых кислот. — Науч. докл. высш. шк. Сер. биолог. науки, 1977, № 9, с. 5—16. — **61.** Орлов Д. С. Химия почв. Содержание, успехи и задачи. — Почвоведение, 1979, № 5, с. 28—41. — **62.** Орлов Д. С., Бирюкова О. Н. Состав и свойства гумуса как функции биоклиматических условий. — VII Межд. симп. Брно, 1979, с. 28—32. — **63.** Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Садовников Л. К., Фридлянд Е. В. Использование группового состава гумуса и некоторых биохимических показателей для диагностики почв. — Почвоведение, 1979, № 4, с. 10—22. — **64.** Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. — М.: Наука, 1972. — **65.** — Перельман А. И. Почва и другие биосферные системы биосферы. — Почвоведение, 1978, № 7, с. 15—18. — **66.** Пинский Д. Л. Определение энергетических характеристик обменной сорбции ионов Са и NH_4 в содовозасоленных почвах. — Почвоведение, 1973, № 8, с. 33—38. — **67.** Плоткина Ю. М., Юркевич Е. А. Гуминовые кислоты торфяно-болотных почв долины р. Яхромы. — Почвоведение, 1979, № 9, с. 53—60. — **68.** Пономарев Д. Г. Некоторые термодинамические характеристики почв субтропического ряда Азербайджана. — Изв. АН АзССР. Сер. биолог. наук, 1977, № 4, с. 60—66. — **69.** Пономарев Д. Г. О связи термодинамических функций с энергией почвообразования в биогеоценозе. — В сб.: Исследования по биоэнерг. в Азербайджане. — Баку: 1979, с. 103—110. — **70.** Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. — М.: ИЛ, 1960. — **71.** Пригожин И., Дэфей. Химическая термодинамика. — Новосибирск: Наука, 1966. — **72.** Роде А. А. Система методов исследования в почвоведении. — Новосибирск: Наука, 1971, — **73.** Рубин Б. А. Термодинамика биологических процессов. — М.: Изд-во МГУ, 1976. — **74.** Савич В. И. Теоретические основы определения фракционного состава соединений ионов в почве с применением комплексонов. — Изв. ТСХА, 1980, вып. 6, с. 83—94. — **75.** Соколов И. А. Основные почвенные географо-генетические понятия и термины. — Почвоведение, 1976, № 12, с. 3—15. — **76.** Соколов И. А. Классификационная проблема в почвоведении. — Итоги науки и техники. — М.: ВИНТИ АН СССР Сер. почвовед. и агрохим., 1979, т. 2, с. 4—57. — **77.** Соколов И. А., Таргульян В. О. Взаимодействие почвы и среды: почва—память и почва—момент. — В кн.: Изучение и освоение природной среды. — М.: Наука, 1976, с. 150—165. — **78.** Соколова Т. А. О термодинамической устойчивости глинистых минералов в сульфидных подзолистых почвах. — Почвоведение, 1977, №3, с. 108—117. — **79.** Сотников Г. Ф. Влияние температуры на разложение минералов фульвокислотами красной почвы при сквозном промывании. — Почвоведение, 1975, № 1, с. 53—60. — **80.** Старостин А. Н., Христева Л. А., Реутов В. А., Улитина В. П. Влияние гуминовых кислот и некоторых витаминов на термодинамические процессы в растениях. — В сб.: Биохимия и плодородие почв.—М.: Изд-во МГУ, 1967, с. 65—66. — **81.** Таргульян В. О., Арманд А. Д., Роде А. А., Дмитриев Е. А. Почва как компонент биогеоценоза и ее изучение в биосферных заповедниках. — В сб.: Биосферные заповедники. — Л.: Наука, 1977, с. 51—63. — **82.** Таргульян В. О., Соколов И. А. Структурный и функциональный подход к почве: почва—память и почва—момент. — Мат. моделир. в экологии. — М.: Наука, 1978, с. 17—33. — **83.** Термодинамика биологических процессов. — М.: Наука, 1976. — **84.** Титлянова А. А. Обменные процессы азота и зольных элементов в подстилке почва — растение. — В сб.: О почвах Сибири. — Новосибирск: Наука, 1978, с. 198—209. — **85.** Титлянова А. А., Базилевич Н. И. Функциональная модель обменных процессов. — В сб.: Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Т. 2. — Новосибирск: Наука, 1976, с. 449—467. — **86.** Титлянова А. А., Кирюшин В. И., Охинько И. П. и др. Круговорот углерода и азота в агроценозах на южных черноземах Казахстана. — Изв. Сиб. отд. АН СССР. Сер. биолог. наук, 1979, № 15/3, с. 23—39. — **87.** Титлянова А. А., Тихомирова Н. А. Биологический круговорот углерода в травяных экосистемах. — В сб.: Проблемы сиб. почвоведения. — Новосибирск: Наука, 1977, с. 73—96. — **88.** Трофимов С. С., Титлянова А. А., Клевенская И. Л. Системный подход к изучению процессов почвообразования в техногенных ландшафтах. — В сб.: Почвообразование в техногенных ландшафтах. — Новосибирск: Наука (Сибирское отделение)

- ние), 1979, с. 3—19. — **89.** Тюрин И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. — М.: Наука, 1965. — **90.** Филэп Д., Харгитаи И. Термодинамический анализ процессов катионного обмена в системе почва—раствор. — Почвоведение, 1977, № 9, с. 81—91. — **91.** Фокин А. Д. Динамическая характеристика гумусового профиля почвы. — Изв. ТСХА, 1975, вып. 4, с. 80—88. — **92.** Фокин А. Д. Участие различных соединений растительных остатков в формировании и обновлении гумусовых веществ почвы. — В кн.: Проблемы почвоведения (советские почвоведы к XI Межд. конгр. в Канаде, 1978 г.). — М.: Наука, 1978, с. 60—65. — **93.** Фокин А. Д., Карпухин А. И. Включение продуктов разложения растительных остатков (меченных ^{14}C) в гумусовые вещества. — Почвоведение, 1974, № 11, с. 72—78. — **94.** Черников В. А. Диагностика трансформации гуминовых кислот интенсивно исследуемой дерново-подзолистой почвы методом пиролитической масс-спектрометрии. — Докл. ВАСХНИЛ, 1981, № 6, с. 19—21. — **95.** Черников В. А. Структурно-групповой состав как показатель трансформации гуминовых кислот интенсивно используемой дерново-подзолистой почвы. — Почвоведение, 1984, № 5, с. 48—55. — **96.** Черников В. А., Алешин С. Н. Органическая часть почвенного поглощающего комплекса. — IV Всес. делегат. съезд. почвоведов. Тез. докл. — Алма-Ата, 1970, с. 143—144. — **97.** Чернова Н. М. Экологические сукцессии при разложении растительных остатков. — М.: Наука, 1977. — **98.** Шаймухаметов М. Ш. Закрепление органического вещества в дерново-подзолистых почвах как прием их окультуривания. — Почвоведение, 1971, № 8, с. 47—55. — **99.** Эвальд Э. О взаимоотношении исследований в области генезиса и экологии почв (на примере изучения органического вещества). — Почвоведение, 1972, № 2, с. 22—28. — **100.** Kleinherp e l D. — Pedobiologia, 1971, vol. 11, N 5, p. 425—429.

SUMMARY

Humic state of soils is estimated in terms of thermodynamic and kinetic conceptions. The conception on indispensable continuous supply of organic matter to keep proper stable state of humus and its structure is grounded. Theoretical principles of humic state of soils are formulated in terms of open system thermodynamics.