

УДК 631.417:631.445.2(282.247.13)

КИНЕТИКА ТРАНСФОРМАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

И. М. ЯШИН, В. А. ЧЕРНИКОВ, И. С. КАУРИЧЕВ

(Кафедра физической и коллоидной химии
и кафедра почвоведения)

Представлены фактические данные о трансформации свежих растительных остатков в поверхностных слоях подзолистых почв подзон южной и средней тайги, полученные с помощью модификации метода сорбционных лизиметров. Определены порядок реакций и константа скорости трансформации свежих растительных остатков. Изучен состав водорастворимых органических веществ, мобилизованных в водный раствор в летний период полевого опыта 1988 г.

Трансформация наземного растительного опада (в том числе компонентов оторфованной лесной подстилки) в биоклиматической обстановке таежно-лесной зоны европейского Севера сопровождается активной мобилизацией водорастворимых органических веществ (ВОВ) кис-

лотной природы в водный раствор [1, 3—6, 8, 11]. Новообразованные и сосуществующие в природных растворах группы ВОВ отличаются неоднородным составом. Они изменяются во времени и пространстве, частично минерализуясь до конечных элементарных продуктов (воды, газов и минеральных солей), и участвуют в сложных реакциях формирования собственно гумусо-

Аналитические исследования выполнены аспиранткой С. Л. Блашенконой.

вых соединений, а также в водной миграции продуктов почвообразования, синтезе комплексных металлоорганических соединений, обновлении педогенного органического вещества почвы и т. д. [3, 4, 13]. Указанные процессы были диагностированы при использовании модифицированного метода сорбционных лизиметров, в котором сочетаются приемы лизиметрического и хроматографического исследования жидкой фазы почвы [4]. Накопленный нами экспериментальный материал позволяет констатировать, что с помощью этого метода можно изучать трансформацию не только различных органогенных субстратов растительной фотосинтетической природы, являющихся биогенным энергетическим материалом (опад растений, лесные подстилки, торф, навоз, коромысты, древесные опилки), но и целевых антропогенных химических соединений (минеральных удобрений, мелиорантов и т. д.) и др. При этом можно установить количественные закономерности и, что особенно актуально, сопряженно выявить характер формирующихся водорастворимых продуктов. Именно водных фактических материалов в почвенно-агрохимической литературе явно недостаточно.

Анализ количественных закономерностей изменения процесса трансформации опада растений предопределяет экспериментальное установление порядка реакции и константы скорости превращения органических веществ того или иного органогенного субстрата [10, 11].

Интерес к исследованию кинетики почвенных реакций обусловлен возможностью получения новых сведений, необходимых для более полного обоснования вопросов генезиса и плодородия почв. Информация о кинетике позволяет так-

же глубоко познать природу почвенных химических реакций, установить, например, их обратимый или необратимый характер. В первом случае химическая система находится в неравновесном состоянии, со временем стремящаяся к динамическому равновесию, поскольку в почве происходит непрерывный обмен веществ с компонентами биосферы Земли. Необратимый характер частных химических реакций наблюдается при смещении положения равновесия в сторону формирования продуктов реакции (процесс идет до конца). Состояние равновесия может наступать при различных концентрациях исходных органических веществ и продуктов реакции (подчиняясь принципу Ле-Шателье), поэтому с термодинамических позиций химические реакции вообще обратимы [11, 13].

Данная проблема рассматривалась в ряде почвоведческих работ [2, 8, 9, 12, 14]. Отмечается, что кинетика разложения хвойной молодой ели и корней ячменя в различных горизонтах подзолистой почвы Подмосковья (станция Белый Раст) описывается уравнением реакции 1-го порядка и имеет экспоненциальный характер [12], а скорость разложения целлюлозы в дерново-подзолистой почве — уравнением нулевого порядка [9]. Индивидуальные (неспецифические) органические вещества фотосинтетической природы разлагаются в почве весьма активно [8, 14], причем скорость их трансформации подчиняется уравнению 1-го порядка. При математической интерпретации экспериментальных данных о разложении и гумификации растительных остатков в некоторых типах почв было установлено, что эти процессы описываются как разнообразные автокаталитические ре-

акции 1-го порядка, а промежуточные продукты служат катализаторами дальнейших преобразований формирующихся органических продуктов [2].

Таким образом, новообразованные (сопутствующие) группы ВОВ выполняют своеобразную биокаталитическую и пока еще не полностью обоснованную функциональную роль в формировании системы педогенных гумусовых соединений. На наш взгляд, кинетические задачи могут быть успешно решены с помощью метода хроматографии, од-

ним из натуральных вариантов которого является метод сорбционных лизиметров [3, 4]. Особенности его модификации с целью изучения трансформации ряда углеродсодержащих органогенных субстратов изложены в предыдущем сообщении [4]. Этот модифицированный метод использовался в настоящей работе при исследовании кинетики трансформации растительных остатков в поверхностных слоях подзолистых почв Подмосковья и юга Архангельской области.

Методика

Неизмельченные 2-недельные проростки ячменя и озимой пшеницы в воздушно-сухом состоянии помещали в капроновые мешочки, которые помещали в сорбционных лизиметрах [4]. Серии колонок с трансформирующимися растительными остатками устанавливали в профили лесных подзолистых почв на стационарах кафедры почвоведения Тимирязевской академии, в подзонах южной и средней тайги европейской территории страны (ЕТС) сообразно цели исследований. По завершении опыта почвенные траншеи вскрывали и извлекали сорбционные лизиметры. В лаборатории анализировали трансфор-

мированный органогенный субстрат, лизиметрические воды из приемных сосудов, а также изучали состав ВОВ, поглощенных активированным углем, путем использования видоизмененной нами схемы Форсита [3].

По уменьшению исходной массы изучаемых растительных остатков и количеству новообразованных продуктов рассчитывали константы скорости трансформации свежих растительных остатков, исходя из закона действующих масс [10, 11, 13].

Отметим, что летний период для натуральных опытов, в которых изучается разложение растительных остатков, был выбран не только как сезон с наиболее активной жизнедеятельностью живых организмов, но и как время года с незначительными колебаниями температуры, так как это имеет значение при расчете констант скоростей химических реакций, поскольку последние зависят от температуры и природы вещества.

Содержание органического углерода в элюатах с активированного угля и в лизиметрических водах колонок определяли по методу Тюрина после упаривания аликвота. Повторность установки сорбционных лизиметров 2-кратная, аналитического определения количества углерода — 2—3-кратная. В работе представлены средние показатели.

Поскольку в лизиметрических натуральных экспериментах в качестве сорбента широко используется активированный уголь, представляет интерес получить дополнительные сведения о его сорбционно-десорбционных параметрах.

Микропористому активированному углю (как исключительно емкому по отношению к компонентам ВОВ гидрофобного сорбента) присуще своеобразное свойство — так

называемый «отдых» поглотителя. В этой связи периодически проводятся регенерацию активированного угля при использовании различных приемов [3]. Хорошие результаты дает последовательная обработка угля в динамических условиях водными растворами ацетона, щелочи и неорганической кислоты (на последнем этапе до отрицательной реакции на ионы Fe^{3+} в элюате). Характерно, что истинно растворимые группы ВОВ практически полностью сорбируются углем и легко элюируются с этого сорбента, а компоненты ВОВ, находящиеся в водных растворах в коллоидном состоянии, сорбируются в заметно меньших количествах. Для их десорбции необходим и более длительный период времени [4]. Наиболее активно компоненты ВОВ сорбируются активированным углем в кислом интервале pH. Десорбцию ВОВ, сорбированных углем, лучше проводить в динамическом режиме. При этом полнота вытеснения ВОВ лимитируется концентрацией элюента и скоростью десорбции. Целесообразно подбирать элюенты по принципу их доступности, высокой эффективности и минимальной токсичности [3, 4].

Результаты

Ранее нами рассматривались некоторые кинетические закономерности трансформации свежих (и зрелых) растительных остатков в условиях таежно-лесной зоны [4]. В частности, было установлено, что процесс минерализации протекает поэтапно: вначале наблюдается активная мобилизация в водный раствор различных сопутствующих групп ВОВ, а затем происходит неоднозначная по глубине и интенсивности минерализация компонентов ВОВ (в том числе до

конечных элементарных продуктов — газов¹, воды и минеральных солей). Сопряженно с этим процессом в водных растворах подзолистых почв (как и в лесных подстилках) осуществляется перегруппировка органических соединений, специфичная во времени и почвенном пространстве. На наш взгляд, подобная направленность трансформации свежих органических остатков фотосинтетической природы обусловлена, с одной стороны, их составом и свойствами (способностью активно гидролизываться в водных растворах), а с другой — участием новообразованных компонентов ВОВ в функционировании комплекса живых организмов как незаменимого компонента почвы.

В то же время немаловажно знать специфику трансформации в почве органических веществ незрелых растительных остатков (например, проростков высших растений). Подобные сведения позволили бы конкретизировать сложившиеся представления о механизме и скорости процессов формирования различных групп ВОВ, в том числе и фульвосоединений.

Изучение кинетики реакций в водных растворах почв подзолистого типа дает возможность получить интересующую нас информацию. Как и все другие химические реакции, процессы трансформации органических веществ растительного опада подчиняются общим термодинамическим и кинетическим закономерностям [13].

Все кинетические реакции различаются по молекулярности и порядку реакции. Молекулярность реакции определяется числом моле-

¹ Газообразные углеродсодержащие продукты вступают в реакции с низкомолекулярными органическими кислотами. Эти взаимодействия актуальны и требуют экспериментального обоснования.

кул, одновременно участвующих в элементарном акте химического взаимодействия. По форме зависимости $v=f(C)$ диагностируют реакции 0, 1, 2 и 3-го порядков. Например, скорость реакции 1-го порядка пропорциональна концентрации исходных веществ в 1-й степени [11].

Порядок² химической реакции часто не совпадает с ее молекулярностью. Это обусловлено, как правило, стадийностью химических реакций или избытком одного из реагентов. В частности, бимолекулярные реакции гидролиза эфиров и сахаров являются реакциями 1-го порядка [10].

Установление порядка реакции важно для последующих расчетов величин константы скорости и периода полураспада разлагающегося органогенного субстрата. Частный порядок реакции в опыте определяли с помощью дифференциального метода Вант-Гоффа, основанного на использовании уравнения

$$\lg v = \lg k + n \lg a, \quad (1)$$

которое получается после логарифмирования выражения для скорости реакции $v=k \cdot a^n$. В координатах $\lg v$ — $\lg a$ полученную зависимость можно изобразить прямой линией с тангенсом угла наклона к оси $\lg a$, соответствующим порядку реакции ($\operatorname{tg} \varphi = n$).

Скорость процесса трансформации растительного опада можно дифференцировать на среднюю и истинную. Первая отражает отношение трансформированной массы опада в сорбционных лизиметрах ко времени опыта $\bar{v}=x/t$; истинная скорость представляет собой

производную разлагающейся массы опада в определенный момент времени $v=-da/dt=k \cdot a^n$, где k — коэффициент пропорциональности (или константа скорости превращения растительных остатков); n — порядок реакции, равный 1. Константа скорости соответствует той доле исходного органогенного субстрата, которая успела бы трансформироваться в единицу времени, если бы концентрация субстрата оставалась равной 1 [13].

Знак минус в приведенном выше выражении скорости процесса указывает на убыль массы органогенного субстрата во времени (т. е. исходных реагентов).

В связи с этим в уравнение скорости реакции 1-го порядка $-dC/dt=k \cdot C^n$ (т. е. $n=1$) вместо концентрации (C) можно подставить значения масс исследуемых растительных остатков, находящихся в момент времени (t) в реакциях трансформации:

$$-\frac{d(a-x)}{dt} = k_1(a-x), \quad (2)$$

где a — исходная масса органогенного субстрата, г; $(a-x)$ — масса органогенного субстрата в конце опыта, г; x — трансформированная масса органогенного субстрата, г. Коэффициент k зависит от природы органогенного субстрата, закладываемого в сорбционный лизиметр, а также от гидротермических условий опыта [4].

Для вывода формулы расчета k_1 уравнение (2) следует преобразовать с учетом того, что a — величина постоянная. Тогда

$$\frac{dx}{a-x} = k_1 dt = > \int_0^x \frac{dx}{a-x} = k_1 \int_0^t dt,$$

$$\text{откуда } k_1 = \frac{1}{t} \ln \frac{a}{a-x}. \quad (3)$$

Подставив в уравнение (3) фактические данные, например по 1-му

² Порядок химической реакции зависит от условий ее протекания. Наряду с молекулярными диагностируются ионные реакции, а также процессы, в которых участвуют радикалы.

варианту опыта ($t=102$ сут; $a=40$ г, $x=3,35$ г), рассчитаем значение k_1 :

$$k_1 = \frac{2,303}{102} \cdot \lg \frac{4,00}{0,65} = 0,023 \times \\ \times 0,791 = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ сут}^{-1}. \quad (4)$$

Поскольку для различных исходных масс растительных остатков получены достаточно близкие величины k , то в первом приближении можно допустить, что рассматриваемый процесс трансформации свежих остатков растений в поверхностном слое подзолистой почвы отвечает реакции 1-го порядка (табл. 1 и 2).

Количественной мерой скорости реакции 1-го порядка наряду с величиной k могут служить период полураспада ($T_{1/2}$) и среднее время

трансформации органического субстрата [11, 13].

При превращении половины исходной массы органического субстрата, т. е. $x=a/2$ и $t=T_{1/2}$, уравнение (3) после подстановки этих значений примет вид

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,693}{k}. \quad (5)$$

Подставив в формулу (5) фактическое значение k_1 , получим

$$T_{1/2} = 0,693/0,018 = 38,5 \text{ сут}. \quad (6)$$

Среднее время разложения растительных остатков в почве определяется как время, необходимое для уменьшения исходной массы в e раз.

Уравнение (3) можно представить в экспоненциальной форме

$$a-x = a \cdot \exp(-kt), \quad (7)$$

Таблица 1
Трансформация растительных остатков в сорбционных лизиметрах натурального модельного опыта в летний период 1988 г.

Вариант опыта и глубина (см) закладки лизиметров	Средний объем воды, профильтровавшейся в лизиметры, л	Исходная масса растительных остатков, г	Убыль массы растительных остатков		рН лизиметрических вод в сорбционных колонках
			г	%	
<i>Подзона южной тайги.</i>					
Стационар в учхозе ТСХА «Михайловское» Московской обл.					
Вырубка в смешанном лесу. Разр. 6, гор. А ₁ (3 см):					
корни проростков ячменя	0,52	24,0	13,0	54,2	Не опр.
корни и старые зерновки без проростков ячменя	0,39	10,0	6,70	67,0	»
проростки оз. пшеницы и ячменя	0,24	4,0	3,35	83,8	»
<i>Подзона средней тайги (Архангельская обл.)</i>					
Стационар в колхозе «Восход» Няндомского района					
Вырубка в еловом лесу. Разр. 25, гор. А ₂ (3 см); проростки оз. пшеницы					
	0,95	5,2	4,37	84,0	5,20
	1,00	4,0	3,05	76,3	5,00
Стационар в совхозе «Каргопольский»					
Вырубка в смешанном лесу. Разр. 25, гор. А ₁ (3 см):					
проростки ячменя	1,0	5,5	4,75	86,4	5,40
корни и старые зерновки без проростков ячменя	1,0	10,0	6,70	67,0	4,90

Кинетические параметры процесса трансформации свежих растительных остатков* в дерново-подзолистой почве Подмосковья (экспозиция 102 сут)

Исходная масса растительных остатков (а), г	Трансформированная масса растительных остатков, г		k, сут ⁻¹	T _{1/2} , сут	Средняя скорость трансформации растительных остатков, г·сут ⁻¹	Порядок реакции разложения растительных остатков по k ₁
	фактическая (x)	расчетная (x ₁)**				
4,0	3,35	3,34	1,8 · 10 ⁻²	38,5	3,3 · 10 ⁻²	
10,0	6,70	6,70	1,1 · 10 ⁻²	63,0	6,6 · 10 ⁻²	1
24,0	13,00	13,10	7,8 · 10 ⁻³	88,8	12,8 · 10 ⁻²	
		Среднее	0,012 ± 0,0052	63,4	—	—

* Растительные остатки в сорбционных лизиметрах — воздушно-сухие неизмельченные проростки ячменя и оз. пшеницы.
 ** Расчетная величина трансформированной массы растительных остатков в момент времени (t) при реакции 1-го порядка вычислялась по формуле $x_1 = a [1 - \exp(-kt)]$ или для 1-го варианта опыта $x_1 = 4,0 \cdot [1 - \exp(-0,018 \cdot 102)] = 4,0 \cdot 0,835 = 3,34$ г.

откуда

$$x = a [1 - \exp(-kt)]. \quad (8)$$

Значения x рассчитывали для сравнения с фактическими результатами полевого эксперимента (табл. 2). Отметим, что величина $a - x$, в частности во 2-м варианте опыта ($a = 10,0$ г, $x = 6,70$ г), достигает значений $a/e = 10,0/2,718 = 3,67$ г в момент среднего времени $t = 1/k_2 = 90,9$ сут. Следовательно, среднее время трансформации единицы исходной массы исследуемых растительных остатков в условиях таежно-лесной зоны равно обратной величине константы скорости. При этом точно нельзя предсказать, когда полностью трансформируется (минерализуется и гумифицируется) в почве тот или иной органогенный субстрат. Можно лишь говорить о вероятном времени превращения исходных растительных остатков в конечные химические продукты (табл. 3). Исходя из формулы (5), эта вероятность равна $\exp(-T_{1/2}/t)$, где $t = 1/k$.

Примечательно, что выражение [8], отражающее количественные закономерности, которые происхо-

дят с материальной системой (в зависимости от ее первоначального состояния), в свою очередь, является следствием того, что стадийные акты превращения (свежего или гумифицирующегося органогенного материала) в конечные продукты почвообразования (в частности, гумусовые соединения) реализуются в конкретном почвенном пространстве самопроизвольно, независимым образом и в известной мере случайно.

На основании накопленного фактического материала нами разработана принципиальная кинетическая схема стадийной трансформации растительного опада в гумусовые соединения почв подзолистого типа, в которой k_1 , k_2 , k_3 , k_{-3} — константы скорости соответственно трансформации (разложения) растительного опада; формирования водорастворимых групп гумусовых соединений (гуминоподобных и фульвосоединений); минерализации компонентов ВОВ, гумификации (формирование термодинамически устойчивых педогенных гумусовых соединений); минерализации педогенных гумусовых соединений.

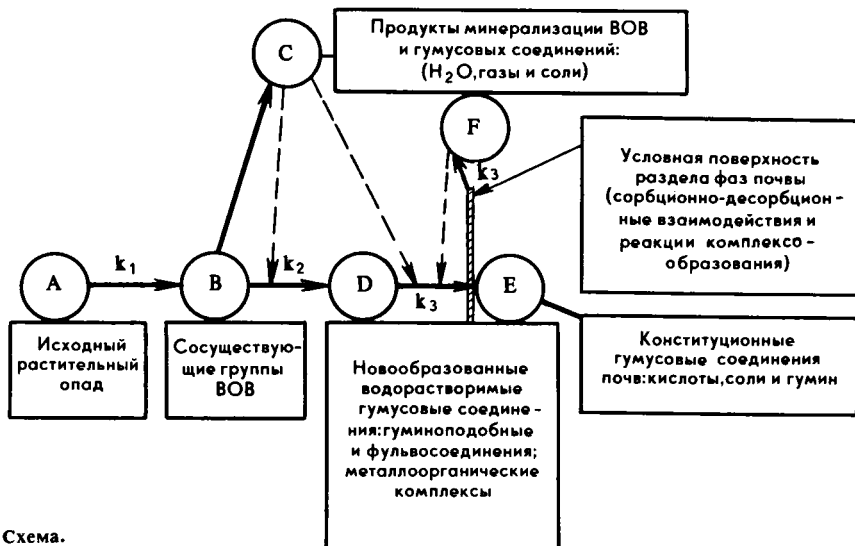


Схема.

Отметим, что указанные в схеме последовательные стадии *A, B, C* и *D* изучались нами применительно к подзолистым почвам южной и средней тайги с помощью модификации метода сорбционных лизиметров [3, 4 и др.].

Количество и состав новообразованных ВОВ, мобилизующихся в водный раствор из незрелых растительных остатков, зависят от почвенно-географических условий: в подзолистых почвах средней тайги из растительных остатков мобилизуется в 4—8 раз больше ВОВ, чем в дерново-подзолистых почвах юго-запада Подмосковья. Очевидно, в почвах южной тайги формирующиеся массы ВОВ в летний период более активно минерализуются до конечных элементарных продуктов. При этом из молодых (2-недельных) проростков озимой пшеницы и ячменя в условиях юга Архангельской области в водный раствор мобилизовались преимущественно индивидуальные органические вещества, а также компоненты, слабо сорбируемые активиро-

ванным углем (в частности, углеводы). Количество специфических органических соединений (фульвокислот) диагностировано в небольших количествах (8,0—22,1 %) в составе новообразованных групп ВОВ.

Очевидно, в формировании новообразованных групп ВОВ важную роль играет биохимический состав трансформирующегося органического (растительного) субстрата. В связи с этим можно допустить, что в зрелых вегетативных органах высших растений синтезируются и накапливаются характерные группы органических соединений (целлюлоза, лигнин, смолы, пектиновые вещества и т. д.), отличающиеся, с одной стороны, способностью к гидролизу (относительно активно поставляют в водный раствор компоненты ВОВ), а с другой — сорбционной активностью (удерживают от интенсивного выщелачивания атмосферной влагой мобилизованные компоненты ВОВ). В водных растворах

Таблица 3

Содержание и состав ВОВ, мобилизованных в растворимое состояние из растительных остатков в натурном модельном опыте в летний период 1988 г. (числитель — количество новообразованных ВОВ по С, мг; знаменатель — состав ВОВ, %)

Вариант опыта и глубина (см) закладки лизиметров с растительными остатками	$S_{\text{общ}}$ ВОВ, % убыли массы С растительных остатков	Идентифицированная масса ВОВ (по С), г	В приемнике лизиметрических вод	В водо-ацетоновой фракции	В аммиачной фракции
--	---	--	---------------------------------	---------------------------	---------------------

Подзона южной тайги.

Стационар в учхозе ТСХА «Михайловское» Московской обл.

Вырубка в смешанном лесу. Разр. 6, гор. А₁ (5 см):

корни проростков ячменя	0,9	0,060*	Не обн.	$\frac{21,5}{35,8}$	$\frac{23,9}{39,8}$
корни и старые зерновки без проростков ячменя	0,7	0,023*	»	$\frac{12,1}{52,6}$	$\frac{10,0}{43,5}$
проростки оз. пшеницы и ячменя	2,1	0,035*	»	$\frac{17,5}{50,0}$	$\frac{9,5}{27,1}$

Подзона средней тайги (Архангельская обл.)

Стационар в колхозе «Восход» Няндомского района

Вырубка в еловом лесу. Разр. 25, гор. А₂ (6 см); проростки оз. пшеницы

	7,9	0,172	$\frac{107,1}{62,3}$	$\frac{51,0}{29,7}$	$\frac{13,5}{8,0}$
	11,9	0,181	$\frac{70,4}{38,9}$	$\frac{76,4}{42,2}$	$\frac{34,0}{18,9}$

Стационар в совхозе «Каргопольский»

Вырубка в смешанном лесу. Разр. 35, гор. А₁ (6 см):

проростки ячменя	7,6	0,181	$\frac{137,8}{76,3}$	$\frac{32,1}{17,8}$	$\frac{10,7}{5,9}$
корни и старые зерновки без проростков ячменя	4,5	0,150	$\frac{42,8}{28,6}$	$\frac{73,6}{49,1}$	$\frac{33,4}{22,1}$

* Сорбент Al_2O_3 ; десорбция 1 н. водным раствором H_2SO_4 , водой и 1 н. $NaOH$. В остальных вариантах использовали активированный уголь.

подзолистых почв, как показывают результаты опытов, осуществляются весьма динамичные и своеобразные процессы гумусообразования, особенно на начальном этапе формирования и функционирования системы водорастворимых гумусовых соединений.

Выводы

1. Трансформация 2-недельных растительных остатков ячменя и озимой пшеницы в летний период в условиях юго-запада Подмосквы характеризуется константой скорости разложения порядка $1,2 \cdot 10^{-2} \pm \pm 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ сут}^{-1}$.

2. Период полураспада незрелых остатков растений в среднем составляет 63,4 сут.

3. Из трансформирующихся простокосток ячменя и озимой пшеницы в водный раствор мобилизуются преимущественно индивидуальные органические соединения; новообразованные фульвосоединения были диагностированы в весьма незначительных количествах.

4. Превращение остатков растений в поверхностных слоях подзолистых почв юга Архангельской области по сравнению с аналогичными почвами Подмосквы сопровождается более высокой мобилизацией групп ВОВ в водный раствор.

5. В почвах подзоны южной тайги формирующиеся из опада индивидуальные органические вещества активно минерализуются и сопряженно трансформируются в специфические новообразованные продукты, в том числе и фульвосоединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова Л. Н. Промежуточные продукты разложения.— В кн.: Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980, с. 97—105.— 2. Ионенко В. И., Бацула А. А., Головачев Е. А. О кинетике процесса гумификации.— Почвоведение, 1986, № 2, с. 25—33.— 3. Кауричев И. С., Яшин И. М. Фракционирование водорастворимых органических веществ растительных остатков методом адсорбционной хроматографии на угле.— Изв. ТСХА, 1973, вып. 1, с. 122—128.— 4. Кауричев И. С., Яшин И. М. образо-

вание водорастворимых органических веществ в почвах как стадия превращения растительных остатков.— Изв. ТСХА, 1989, вып. 1, с. 47—57.— 5. Кравков С. П. Исследования в области изучения роли мертвого растительного покрова в почвообразовании.— В кн.: Биохимия и агрохимия почвенных процессов. Л.: Наука, 1978, с. 103—127.— 6. Мишустин Е. Н., Петрова А. Н. Образование свободных аминокислот из разрушающейся в почве целлюлозы.— Микробиология, 1966, т. 35, вып. 3, с. 491—496.— 7. Орлов Д. С. Кинетическая теория гумификации и схема вероятного строения гуминовых кислот.— Научн. докл. высш. шк. Биол. науки, 1977, № 9, с. 5—16.— 8. Паников Н. С., Асеева И. В. Скорость микробного разложения нуклеиновых кислот в почве.— Вестн. МГУ. Сер. почвоведения, 1977, № 3, с. 93—99.— 9. Паников Н. С., Асеева И. В., Асеева И. В. Кинетика разложения целлюлозы в почве.— Почвоведение, 1984, № 1, с. 56—63.— 10. Практические работы по физической химии. Ч. 2 (Методы обработки экспериментальных данных в химической кинетике) / Под ред. проф. Я. И. Герасимова. М.: Изд-во МГУ, 1969, с. 5—29.— 11. Практикум по физической химии (Гл. XV. Кинетика реакций в растворах. Экспериментальные методы определения скорости и порядка реакции) / Под ред. профессора И. В. Кудряшова.— М.: Высш. шк., 1986, с. 328—332.— 12. Фокин А. Д. Динамическая характеристика гумусового профиля подзолистой почвы.— Изв. ТСХА, 1975, вып. 4, с. 80—88.— 13. Черников В. А. Оценка гумусового состояния почв с термодинамических и кинетических позиций.— Изв. ТСХА, 1988, вып. 5, с. 49—58.— 14. Murayama S.— J. Soil Sci., 1984, vol. 35, N 2, p. 231—242.

Статья поступила 8 июля 1990 г.

SUMMARY

Actual data about transformation of fresh plant residues in surface layers of podzolic soils in sub-areas of south and middle taiga obtained by modification of sorption lysimeters technique are presented.

The order of reactions and the rate constant of fresh plant residues transformation are determined. The composition of water-soluble organic substances mobilized into water solution in summer period of the field experiment of 1988 has been studied.