

УДК 631.433+621.039.85:546.264-31

НЕОБРАТИМОЕ СВЯЗЫВАНИЕ ДВУОКСИ УГЛЕРОДА РАЗЛИЧНЫМИ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ И ОРГАНИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

В. В. РАЧИНСКИЙ, Т. А. ХЕГАЙ, А. С. ПЕЛЬТЦЕР

(Кафедра прикладной атомной физики и радиохимии)

В ранее опубликованных работах [1, 5—11] дана основная характеристика необратимой сорбции двуокиси углерода почвами. С момента открытия этого явления наиболее интересным был вопрос о его природе, механизме или механизмах. Известно, что даже выяснение механизма химической реакции с индивидуальными соединениями — часто сложная задача, но она значительно усложняется при изучении процессов взаимодействия и превращения веществ в почвах.

Нами намечена определенная программа радиондикаторного исследования природы необратимой сорбции C^*O_2 почвами. Вначале изучалось взаимодействие C^*O_2 с неорганическими и органическими веществами — компонентами, входящими в состав почв. Результатам этого исследования и посвящена данная работа.

Необратимая сорбция C^*O_2 некоторыми минералами

Кварц. По литературным данным [2], кварц обладает способностью поглощать CO_2 . При нормальных условиях сорбция CO_2 кварцевым песком составляет 24 мг на 100 г. Однако эту сорбцию следует рассматривать как молекулярную.

Для изучения необратимой сорбции C^*O_2 кварцем был взят кварцевый песок, очищенный от примесей путем многократного кипячения с соляной кислотой и промывания дистиллированной водой. Песок просеивали через сито с отверстием 0,25 мм. Радиондикаторная методика определения массы необратимо сорбированной меченой ^{14}C двуокиси углерода описана ранее [9, 11]. В экспозиционную камеру помещали стандартные образцы кварцевого песка (воздушно-сухого и влажного) в плексигласовых подложках для радиометрических измерений. Предварительно было установлено, что плексиглас и плексигласовые подложки не сорбировали C^*O_2 . Концентрация C^*O_2 в камере — 0,24% об., удельная активность — 14,7 мкКи/мг. Экспозиция образцов в камере с C^*O_2 — 5 сут. Повторность опыта — 3-кратная.

После извлечения образцов из камеры контролировали радиометрически десорб-

цию меченой C^*O_2 . Установлено, что воздушно-сухой кварцевый песок потерял практически всю массу сорбированной C^*O_2 . Это свидетельствовало, что C^*O_2 сорбировалась воздушно-сухим кварцевым песком по молекулярному типу, и адсорбция была обратимой.

Для влажного песка получен иной результат. Увлажнение песка способствовало более прочному закреплению сорбированной C^*O_2 . После месяца десорбции эти образцы песка удерживали $0,74 \pm 0,03$ мг C^*O_2 на 100 г.

Окислы алюминия и железа. В опыте использовалась химически чистая окись алюминия. В качестве окислов железа были взяты образцы минералов гематита (Fe_2O_3) и лимонита ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$), наиболее часто встречающихся в почвообразующих породах. Дисперсность материалов — менее 0,25 мм.

Образцы стандартной массы (в воздушно-сухом или влажном состоянии) насыпали в плексигласовые подложки и помещали в экспозиционные камеры с концентрацией C^*O_2 0,24% об. Удельная активность C^*O_2 — 37,5 мкКи/мг. Экспозиция — 5 сут. Повторность опыта — 3-кратная.

Все образцы сорбировали C^*O_2 обменно. Постоянный уровень активности ^{14}C в образцах, поставленных на воздух на десорбцию обменной C^*O_2 , устанавливался после 30 сут.

Окись алюминия обладает наибольшей необратимой сорбируемостью C^*O_2 (табл. 1). Гематит в воздушно-сухом состоянии практически не сорбировал необратимо C^*O_2 , а во влажном — сорбировал. Лимонит и в воздушно-сухом и во влажном состоянии необратимо сорбировался C^*O_2 слабо.

Монтмориллонит и каолинит. Для опыта были взяты образцы монтмориллонита $Al_4Si_8O_{20}(OH)_4$ и каолинита $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ в воздушно-сухом и влажном виде (дисперсность меньше 0,25 мм). Образцы минералов помещали в камеру для радиометрических измерений на плексигласовых подложках. Концентрация C^*O_2 в камере — 0,24% об., удельная активность — 37,5 мкКи/мг. Экспозиция — 5 сут. Повторность опыта — 3-кратная. Постоянный уровень активности ^{14}C в образцах устанавливался через 30 сут.

Необратимая сорбция $C^*O_2(S)$ окислами алюминия и железа, монтмориллонитом и каолинитом

Сорбент	S, мг на 100 г	Сорбент	S, мг на 100 г
Окись алюминия (Al_2O_3):		Монтмориллонит	
воздушно-сухая	16,9±0,6 (3)	воздушно-сухой	23,47±0,48 (2)
влажная	34,5±1,0 (3)	влажный	63,84±0,70 (1)
Гематит (Fe_2O_3):		Каолинит:	
воздушно-сухой	0	воздушно-сухой	5,88±0,25 (4)
влажный	10,0±0,2 (2)	влажный	9,19±0,61 (7)
Лимонит ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$):			
воздушно-сухой	0,50±0,01 (2)		
влажный	0,59±0,04 (7)		

Примечание. В этой и остальных таблицах в скобках указаны значения коэффициента вариации, %.

Монтмориллонит как в воздушно-сухом, так и во влажном состоянии обладает высокой способностью необратимого связывания C^*O_2 (табл. 1). При этом увлажнение усиливает этот тип сорбции примерно в 3 раза. Каолинит также необратимо сорбирует C^*O_2 , однако его сорбционная активность значительно ниже и находится на уровне сорбционной способности почв при тех же условиях [9, 11]. Монтмориллонит — сильно набухающий минерал, каолинит — слабонабухающий. При набухании создается большая возможность для проникновения C^*O_2 в межплоскостные пространства минералов. Вполне вероятно, что некоторая часть необратимой сорбции C^*O_2 почвами обусловлена наличием в ней почвенных минералов, особенно сильнонабухающих.

Опыт с образцами монтмориллонита, содержащими необратимо сорбированную C^*O_2 , был продолжен. Их взбалтывали в дистиллированной воде в течение 15 мин и оставляли на сутки или кипятили в дистиллированной воде и перекиси водорода. При всех способах обработки образцы монтмориллонита теряли практически всю массу (около 99%) сорбированной C^*O_2 . Даже простое взбалтывание монтмориллонита в воде приводило к практически полной десорбции необратимо сорбированной C^*O_2 .

Итак, вода существенно влияет на необратимую сорбцию C^*O_2 минералами. С одной стороны, она, вероятно, через набухание, а также активацию поверхности частиц минерала увеличивает необратимую сорбцию C^*O_2 , а с другой — может превращать необратимую, необратимую сорбцию C^*O_2 в обменную, обратимую. Частицы минерала в водной среде легко отдают сорбированную C^*O_2 . О механизме этого процесса можно делать пока только предположения. Возможно, например, обмен молекул C^*O_2 , находящихся в межплоскостных пространствах частиц минерала в свободном (не связанном химически) состоянии, на молекулы H_2O , диффундирующие внутрь частиц. Если же C^*O_2 находится внутри частиц минерала в химически связанном состоянии, то возможен обмен CO_2 и H_2O как лигандов (замещение лигандов или лигандный обмен).

Необменное связывание C^*O_2 некоторыми органическими веществами

В опытах ставилась пока наиболее простая задача — установить, связывается ли меченый углерод из C^*O_2 с данным органическим веществом.

В качестве низкомолекулярных органических веществ были взяты: яблочная кислота, аминокислоты, ароматические соединения, углеводы. В качестве высокомолекулярных органических веществ использовали препараты гуминовых и фульвокислот, выделенных из дерново-подзолистой почвы. Препараты водорастворимых веществ изготавливали как в форме воздушно-сухих порошков, так и в форме водных растворов. В последнем случае для измерения активности ^{14}C изготавливали препараты с «бесконечно тонким слоем». Эффективность радиометрических измерений по способу «бесконечно тонкого слоя» была примерно в 40 раз выше, чем по способу «бесконечно толстого слоя». Все опыты проводили в 3-кратной повторности.

Органические кислоты и аминокислоты. Яблочную кислоту — 1 мл с концентрацией 2,5 мг/мл — помещали в стандартных плексигласовых подложках в экспозиционные камеры с C^*O_2 . Концентрация меченой C^*O_2 — 0,24% об., удельная активность — 14,7 мкКи/мг, экспозиция — 5 сут.

По истечении 5 сут препараты вынимали из камеры, доводили до воздушно-сухого состояния под холодным феном, получали «бесконечно тонкий слой» вещества, после чего приступали к радиометрическому контролю десорбции C^*O_2 . Через 30 сут активность препарата снизилась примерно на 10% и затем в течение 60 сут оставалась постоянной. Необратимое связывание C^*O_2 яблочной кислотой составило $1,05 \pm 0,04$ мг C^*O_2 на 1 г.

В следующем опыте в плексигласовые подложки было внесено по 1 мл растворов валлина и лейцина с концентрацией 2,5 мг/мл. Часть образцов под холодным феном доводили до «бесконечно тонкого слоя» в воздушно-сухом состоянии, другую — не высу-

Необратимое связывание $C^*O_2(S)$ аминокислотами в водной среде

Аминокислота	S, мг $C^*O_2/г$	Аминокислота	S, мг $C^*O_2/г$
Глицин	$0,20 \pm 0,02$ (10)	Аргинин	$2,57 \pm 0,014$ (5)
Серин	$0,53 \pm 0,02$ (5)	Фенилаланин	$1,46 \pm 0,07$ (5)
Аланин	$2,26 \pm 0,04$ (2)	Метнионин	$0,33 \pm 0,02$ (5)
Валин	$4,24 \pm 0,07$ (2)	Аспарагиновая	$0,35 \pm 0,03$ (8)
Лейцин	$0,76 \pm 0,02$ (3)	Глютаминовая	$1,55 \pm 0,14$ (9)

шивали. Препараты выдерживали в атмосфере с C^*O_2 18 ч. Концентрация C^*O_2 в камере — 0,24% об., удельная активность — 14,7 мкКи/мг. После заданной экспозиции жидкие препараты доводили до воздушно-сухого состояния. Через 6 сут десорбции определяли активности препаратов.

В воздушно-сухом состоянии валин и лейцин связывали меньше C^*O_2 , чем в водной среде, соответственно $0,10 \pm 0,01$ и $0,040 \pm 0,003$ против $0,13 \pm 0,1$ и $0,10 \pm 0,1$ мг C^*O_2 на 1 г соединения.

В дальнейших опытах использовали препараты водных растворов глицина, серина, аланина, валина, лейцина, аргинина (солянокислого), фенилаланина, метнионина, аспарагиновой и глютаминовой кислот. Количество и концентрация растворов и удельная активность C^*O_2 в экспозиционной камере были теми же, что и в опытах с валином и лейцином. Экспозиция — 5 сут. Время выдерживания препаратов на десорбцию C^*O_2 — 30—60 сут.

Сравнение величин S для валина и лейцина (водные растворы), полученных при разных экспозициях, показало, что S зависит от времени нахождения растворов аминокислот в камере с C^*O_2 . В течение 5 сут связывание C^*O_2 валином и лейцином было примерно на порядок выше, чем при экспозиции 18 ч.

Углеводы. Необратимое связывание C^*O_2 углеводами изучалось на примере таких моносахаридов, как арабиноза, глюкоза, рамноза, маннит, галактуроновая кислота, дисахарида — сахарозы и полисахарида — крахмала. Опыт проводили при тех же условиях и по той же методике, как и предыдущий с аминокислотами. Результаты его

представлены в табл. 3. Низкомолекулярные углеводы необратимо связывают C^*O_2 порядка 1 мг/г. Наибольшее связывание C^*O_2 наблюдалось для галактуроновой кислоты. Крахмал необратимо сорбировал весьма незначительное количество C^*O_2 .

Ароматические соединения. Изучение связывания C^*O_2 ароматическими соединениями проводили на примере трех веществ, наиболее распространенных и находящихся в почве в свободном состоянии, — пирокатехин, флороглюцин и резорцин. Условия и методика проведения опыта с этими соединениями были такими же, как и с аминокислотами.

Для пирокатехина величина S была равна $0,31 \pm 0,02$ мг/г при коэффициенте вариации 6%, для флороглюцина и резорцина — соответственно $0,52 \pm 0,04$ и $0,71 \pm 0,04$ мг/г при коэффициентах вариации 8 и 6%.

Как видно из приведенных данных, связывание C^*O_2 взятыми ароматическими соединениями составляет такой же порядок величин S, как и у аминокислот и низкомолекулярных углеводов.

Гумусовые вещества. Выделение гумусовых кислот из дерново-подзолистой почвы проводили путем многократных обработок 0,1 н. NaOH. Гуминовые кислоты осаждали из раствора гумусовых кислот H_2SO_4 при pH 1, затем промывали на угле H_2SO_4 при pH 1 до отрицательной реакции на поливалентные катионы, снимали с угля аммиаком, пропусkali через катионит КУ-2 в H-форме, высушивали, хранили в эксикаторе. Фульвокислоты очищали электролизом, высушивали и хранили в эксикаторе.

Готовили в флексигласовых подложках препараты гуминовых и фульвокислот (2,5 мг гумусового вещества + 1 мл воды). Опыт проводили при тех же условиях и по той же методике, как и предыдущие.

Необратимое связывание C^*O_2 гуминовыми кислотами было значительно больше, чем фульвокислотами, и составило соответственно $4,07 \pm 0,22$ и $0,28 \pm 0,03$ мг/г при коэффициентах вариации 5 и 11%.

Обсуждение результатов

В качестве рабочей может быть принята гипотеза, что необратимая сорбция CO_2 минералами и вообще твердыми телами обусловлена двумя одновременно идущими процессами — диффузией молекул CO_2 или атомов углерода внутрь твердых тел и химическими необратимыми реакциями превращения CO_2 в твердых телах. Связывание

Т а б л и ц а 3

Необратимое связывание $C^*O_2(S)$ углеводами в водной среде

Соединение	S, мг/г
Арабиноза	$0,64 \pm 0,03$ (5)
Глюкоза	$1,02 \pm 0,06$ (6)
Рамноза	$0,36 \pm 0,01$ (3)
Маннит	$0,38 \pm 0,01$ (7)
Галактуроновая кислота	$2,56 \pm 0,06$ (2)
Сахароза	$0,69 \pm 0,03$ (4)
Крахмал	$0,030 \pm 0,001$ (3)

CO₂ органическими веществами в водных растворах также обусловлено химической реакционной способностью CO₂.

Вопрос о взаимодействии CO₂ с твердыми телами и вообще о реакционной способности CO₂ не может быть рассмотрен подробно в рамках данной статьи. Для этого необходим специальный аналитический обзор. Отметим лишь, что в химической литературе утвердилось мнение о слабой реакционной способности CO₂. По-видимому, этим обусловлено и малое внимание исследователей к изучению данного вопроса.

Двуокись углерода — очень прочное химическое соединение. Диссоциация CO₂ наступает только при 1200° [3]. Молекула CO₂ имеет структуру, близкую к линейной. Среднее межъядерное расстояние между атомами углерода и кислорода 1,16 А. Таким образом, размеры CO₂ в длину близки к межплоскостным расстояниям кристаллических структур некоторых почвенных минералов, и молекулы CO₂ могут проникать внутрь решеток последних.

Потенциальной причиной реакционной способности CO₂ при взаимодействии с органическими соединениями могут быть электронодонорные свойства молекул CO₂. Учитывая особенности строения органических соединений, в основе образования которых лежит способность атомов углерода к полимеризации и образованию полимерных углеродных цепочек, можно предположить, что подсоединяющаяся к органическим соединениям молекула CO₂ в процессе реакции претерпевает структурную перегруппировку и теряет свою индивидуальность. Такие реакции присоединения CO₂ к органическим соединениям с образованием карбоксильных групп, вероятно, возникают только при условии ненасыщенности каких-либо связей молекул органических соединений и должны носить необратимый характер.

В литературе отсутствуют сведения о непосредственном стехиометрическом связывании CO₂ органическими кислотами, аминокислотами, углеводами и ароматическими соединениями, но есть данные о способности многих металлоорганических соединений

связывать CO₂ через координационную связь с металлом (образование комплексных соединений) или путем образования солей угольной кислоты (карбонатов). В работе [3] указывается на связывание CO₂ аминами, однако природа этого явления точно не выяснена. Предполагается координационная связь CO₂ с азотом или образование эфиров. Имеются также данные о связывании CO₂ некоторыми аминокислотами (например, аргинином) через α-карбонильную и α-аминную группы [4]. Можно предположить, что во всех отмеченных случаях связывание CO₂ должно носить обратимый характер.

Связи С—С, С—N, а также кратные связи этих атомов очень прочны, атомы углерода в них практически необменны. Однако точных данных о степени необменности или обменности атомов углерода в органических соединениях нет. В частности, не выяснены возможности изотопного обмена углерода или группы CO₂ в карбоксильных группах органических соединений.

Рассмотрим теперь полученные нами данные о необратимом связывании С*O₂ органическими веществами. Прежде всего сопоставим полученные порядки величин связывания С*O₂, выраженных в массовых и мольных отношениях (табл. 4).

Массовое отношение $\alpha = m_1/m_2$, где m_1 — масса связанной С*O₂, m_2 — масса органического соединения, связавшего С*O₂. Мольное отношение $\beta = (m_1/\mu_1)/(m_2/\mu_2)$, где μ_1 — молекулярная масса CO₂, μ_2 — молекулярная масса взятого органического соединения. Связь между отношениями α и β следующая: $\beta = \alpha(\mu_2/\mu_1)$. Массовые отношения (масс %) характеризуют как бы удельную степень связывания, а мольные — в какой-то мере степень стехиометричности связывания.

Для всех взятых низкомолекулярных соединений порядок связывания С*O₂ при заданных условиях составляет 0,01—0,4 масс %. Как правило, связывание С*O₂ значительно меньше 1 масс %. Среди углеводов наибольшей величиной прочного связывания отличается галактуроновая кислота, наименьшей — рамноза и маннит. Мольные

Т а б л и ц а 4

Необратимое связывание С*O₂ низкомолекулярными органическими соединениями, выраженное в массовом и мольном отношениях

Соединение	Массовое отношение, %	Мольное отношение, %	Соединение	Массовое отношение, %	Мольное отношение, %	
Яблочная кислота	0,10	0,32	Ароматические соединения:			
Аминокислоты:				пирокатехин	0,03	0,08
глицин	0,02	0,03		флороглюцин	0,05	0,15
серин	0,05	0,10	резорцин	0,07	0,18	
аланин	0,23	0,46	Углеводы:			
валин	0,42	1,00		глюкоза	0,10	0,42
лейцин	0,08	0,23		сахароза	0,07	0,54
аргинин	0,26	1,24		маннит	0,04	0,16
фенилаланин	0,15	0,55		арабиноза	0,06	0,22
метионин	0,03	0,11		рамноза	0,04	0,23
аспарагиновая	0,04	0,11		галактуроновая		
глутаминовая	0,16	0,52	кислота	0,26	1,14	

отношения находятся в пределах примерно 0,1—1%. Они более нивелированы. Самые высокие значения мольного отношения были получены для аргинина, валина, фенилаланина, глутаминовой кислоты, аланина, самые низкие — для глицина, серина, метионина и аспарагиновой кислоты. У использованных в опыте углеводов значения мольных отношений связывания $C^{*}O_2$ относительно близкие — 0,1—0,5%. В общем для рассмотренных групп органических соединений характерна прямая корреляция между массовыми и мольными отношениями. Это обусловлено тем, что в формуле $\beta = \alpha(\mu_2/\mu_1)$ при заданном μ_1 (молекулярная масса CO_2) их молекулярные массы находятся в относительно узком интервале значений.

Можно было сделать ряд предположений о механизме связывания $C^{*}O_2$ низкомолекулярными органическими соединениями в приведенных опытах:

1) возможно диффузионное проникновение или закрепление $C^{*}O_2$ в кристаллических структурах соединений;

2) какую-то роль могут играть микропримеси металлов (загрязнение) в составе органических соединений; эти примеси металлов способны довольно прочно связывать CO_2 через координационную связь;

3) возможно установление каких-то маловероятных ковалентных связей присоединения CO_2 к атомам углерода, кислорода или азота (в аминокислотах); кинетика такого вида реакций присоединения может быть очень медленной, и реакция обнаруживается только благодаря высокой чувствительности метода радиоактивных индикаторов;

4) возможно, происходит очень медленный изотопный обмен меченого углерода в органических соединениях на меченый углерод $C^{*}O_2$;

5) наконец, связывание $C^{*}O_2$ может быть обусловлено деятельностью микроорганизмов, поскольку опыты проводились в нестерильных условиях.

Проверка этих гипотез и выяснение истинного механизма наблюдаемого эффекта могут стать предметом самостоятельного исследования в области органической химии. Однако ряд предположений был нами частично проверен.

Для проверки возможности диффузионного проникновения $C^{*}O_2$ в кристаллическую решетку (экспозиция соединения в воздушно-сухом виде) и закрепления $C^{*}O_2$ при высушивании раствора был проведен следующий опыт. Воздушно-сухой препарат валина с остаточной прочносвязанной $C^{*}O_2$ растворяли в воде, высушивали и вновь измеряли активность, затем опять растворяли, высушивали, измеряли активность и так повторяли операции 3 раза. Во всех контрольных измерениях активность ^{14}C препаратов в течение 40 сут оставалась постоянной (в пределах ошибок измерений менее 5%). Это свидетельствовало о действительно прочном химическом связывании меченого углерода.

Другой опыт был проведен для проверки возможности связывания $C^{*}O_2$ примесями металлов, находящимися в составе органических соединений, с образованием карбонатных комплексов. Под действием кислоты такие комплексы должны разлагаться, и меченная $C^{*}O_2$ должна переходить в газовую фазу. В воздушно-сухой препарат валина с остаточной неабсолютно связанной $C^{*}O_2$ на плексигласовой подложке вводили 1 мл 10% HCl и затем доводили препарат до воздушно-сухого состояния. Активность препарата после такой обработки в течение 40 сут контрольных измерений оставалась постоянной. Это можно рассматривать как признак отсутствия связывания $C^{*}O_2$ металлами с образованием комплексов или карбонатов.

Многие взятые для опытов низкомолекулярные соединения входят как структурные компоненты в состав гумусовых веществ. Поэтому не удивительно, что гуминовые и фульвокислоты также связывают $C^{*}O_2$. Они обладают довольно высоким уровнем необратимого связывания $C^{*}O_2$: 407 и 28 мг $C^{*}O_2$ на 100 г вещества, что на 1—2 порядка выше этой величины для почв. Но гумус в почве содержится в относительно небольших количествах (1—10 масс %).

На основании полученных результатов можно утверждать, что необратимая сорбция $C^{*}O_2$ почвами [1,5—12] наряду с биологическим поглощением обусловлена также необратимым связыванием $C^{*}O_2$ почвенными минералами, полуторными оксидами, а также низкомолекулярными и высокомолекулярными органическими веществами почвы, т. е. практически всеми неорганическими и органическими компонентами почвы.

Выводы

1. Установлено, что величина необратимой сорбции $C^{*}O_2$ для кварцевого песка, оксидов алюминия и железа, монтмориллонита и каолинита имеет примерно тот же порядок (1—10 мг $C^{*}O_2$ на 100 г вещества), что и для почв. Указанные вещества, как и почва, во влажном состоянии необратимо сорбируют $C^{*}O_2$ больше, чем в воздушно-сухом состоянии. Меченая двуокись углерода, необратимо сорбируемая из газовой фазы монтмориллонитом, десорбируется при обработке монтмориллонита водой или перекисью водорода.

2. Органические кислоты, аминокислоты, ароматические соединения, углеводы — возможные низкомолекулярные компоненты органического вещества почвы — как в сухом состоянии, так и в форме водных растворов необратимо связывают $C^{*}O_2$. Высокомолекулярные вещества — крахмал, гуминовая кислота и фульвокислота — также необратимо связывают $C^{*}O_2$. Величина необратимого связывания $C^{*}O_2$ органическими веществами колеблется от 10 до 100 мг $C^{*}O_2$ на 100 г вещества, что на порядок больше величин необратимого связывания $C^{*}O_2$ неорганическими веществами почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьева Н. Д., Хегай Т. А. Влияние микрофлоры на необратимое поглощение двуокиси углерода почвами. — Изв. ТСХА, 1974, вып. 6, с. 128—133. — 2. Виленский Д. Г. Почвоведение. М., Учпедгиз, 1954. — 3. Некрасов Б. В. Основы общей химии. М., «Химия», 1973. — 4. Пейве Я. В. Биохимия почв. М., Сельхозгиз, 1961. — 5. Пельтцер А. С. Поглощение двуокиси углерода почвой (опыты с $^{14}\text{CO}_2$). — Докл. ТСХА, 1969, вып. 154, с. 117—122. — 6. Пельтцер А. С. Исследование включения меченого углерода из ^{14}C -мочевины в состав почвы. — Изв. ТСХА, 1973, вып. 2, с. 106—110. — 8. Пельтцер А. С., Рачинский В. В. Включение ^{14}C из ^{14}C -мочевины в органические вещества почвы. — Изв. ТСХА, 1973, вып. 4, с. 98—104. — 9. Пельтцер А. С., Хегай Т. А. Необратимое поглощение углерода (^{14}C -) дерново-подзолистой почвой. — Изв. ТСХА, 1974, вып. 5, с. 103—109. — 10. Хегай Т. А., Ананьева Н. Д. Кинетика необратимого поглощения двуокиси углерода, меченой ^{14}C , различными почвами. — Докл. ТСХА, 1975, вып. 208, с. 77—80. — 11. Хегай Т. А. Радиоиндикаторное исследование необратимой сорбции двуокиси углерода почвами. Автореф. канд. дис. М., 1976.

Статья поступила 7 февраля 1979 г.

SUMMARY

It has been found that the value of irreversible sorption of ^{14}C labelled carbon dioxide by quartz sand, aluminium and iron oxides, montmorillonite and kaolinite is about of the same order (1—10 mg of $\text{C}^*\text{O}_2/100$ g) as in the case of soils. If wet, the substances mentioned irreversibly absorb C^*O_2 more intensively then if dry. The same is found in case of soils.

Organic acidis, amino acids, aromatic compounds, carbohydrates—probable low-molecular components of soil organic matter—irreversibly bind C^*O_2 , both in dry state and in the form of water solutions. High-molecular organic substances—starch, humic acid and fulvoacids—irreversibly bind C^*O_2 , too. For organic substances the value of irreversible binding of C^*O_2 makes 10—100 mg of C^*O_2 per 100 g of the substance, which is one order higher than the value of irreversible binding for inorganic substances of the soil.