

PACS numbers: 81.16.Fg, 82.45.Tv, 82.70.Dd, 82.70.Uv, 83.80.Hj, 87.15.Nn, 87.18.Ed

Коллоидно-химические аспекты биоагрегации почвенных коллоидов

Е. Н. Борисова, Г. Н. Никовская, Э. Р. Ульберг, Л. Г. Марочко,
Н. П. Стрижак

*Институт биокolloидной химии им. Ф. Д. Овчаренко НАН Украины,
бульв. Акад. Вернадского, 42,
03680, ГСП, Киев-142, Украина*

Изучено изменение поверхностных свойств (ζ -потенциала и гидрофобности) коллоидов трех типов почв в процессе их биоагрегации под воздействием метаболизирующих микроорганизмов активного ила. Для всех типов почв отмечено повышение гидрофобности и снижение отрицательного заряда агрегатов коллоидов, особенно отчетливо выраженное в условиях культивирования микробоценоза на субстратах, обеспечивающих алкалигенную направленность метаболизма (полипептиды, ацетат).

Вивчено зміну поверхневих властивостей (ζ -потенціалу і гідрофобності) колюїдів трьох типів ґрунтів у процесі їх біоагрегації під дією метаболізуючих мікроорганізмів активного мулу. Для всіх типів ґрунтів відмічено підвищення гідрофобності та зниження негативного заряду агрегатів колюїдів ґрунту, особливо виражене в умовах культивування мікробоценозу на субстратах, що забезпечують алкалігенну спрямованість метаболізму (поліпептиди, ацетат).

Changes in surface properties (zeta potential and hydrophobicity) of three types of soil colloids during activated sludge cultivation are studied. In the course of all types of soil-colloids' bioaggregation, a lowering of negative charge values and an increase of hydrophobicity indexes are observed. Changes in surface properties of soil aggregates are mostly expressed in the case of the soil with alkaligenous metabolism trend provided by polypeptides or acetate substrates.

Ключевые слова: почвенные коллоиды, активный ил, гидрофобность, ζ -потенциал.

(Получено 28 августа 2006 г.)

1. ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация гидрофобности землепользования и техногенные катастрофы приводят к разрушению водоустойчивых агрегатов почвы, формирующих ее структуру, вымыванию богатых биогенными субстратами коллоидов и снижению почвенного плодородия. В эволюции и ремедиации почвенных экосистем выдающуюся роль играют микроорганизмы, которые в процессе развития могут синтезировать экзополисахариды, обуславливающие коагуляцию почвенных коллоидов. Нами показано [1], что агрегаты, образованные в процессе развития микроорганизмов на ацетате либо полипептидах (алкалический метаболизм) оказались более прочными (менее пептизируемые водой), чем на глюкозе (ацидогенный метаболизм).

Цель данной работы — изучить электроповерхностные и гидрофильно-гидрофобные свойства почвенных коллоидов и агрегатов, образовавшихся при развитии микробоценоза активного ила (АИ) на глюкозе либо ацетате/полипептидах.

В опытах использованы дисперсии почвенных коллоидов, полученные методом отмучивания из образцов лугово-черноземной, серой лесной и дерново-подзолистой почв, которые имели рН 5.4, 6.2, 6.7 и содержание органического углерода 1,7, 2,44, 4,24% соответственно. Установлено, что после двух суток выращивания микробоценоза АИ в почвенных дисперсиях, содержащих биогенные добавки, значительная часть коллоидов объединялась в агрегаты с диаметром ~ 5 мкм. Перед изучением поверхностных свойств коллоидов и агрегатов, полученных в различных условиях, их отмывали центрифугированием в дистиллированной воде и ресуспендировали в 0,01 н. растворе NaCl. Величину рН суспензий устанавливали растворами 0,1 н. HCl и NaOH. ζ -потенциал коллоидов и микроагрегатов определяли методом микроэлектрофореза [2], гидрофильность-гидрофобность анализировали методами определения контактного угла смачивания коллоидных пленок дистиллированной водой и адгезии коллоидов к капелькам углеводорода *n*-гексадекана (метод Розенберга) [3].

Сопоставлены электроповерхностные свойства коллоидов и биоагрегатов, синтезированных при альтернативных векторах метаболизма — алкалическом (на полипептидах/ацетате натрия) и ацидогенном (на углеводах). Отметим, в процессе развития микроорганизмов в 2%-х почвенных суспензиях концентрация общего органического углерода (по данным бихроматной окисляемости — ХПК) повысилась в 3–4 раза.

На трех примерах с почвами разных типов установлено (рис. 1), что в процессе биоагрегации происходит снижение отрицательного заряда почвенных коллоидов, наиболее выраженное в случае агрегатов, образовавшихся при метаболизме полипептидов/ацетата.

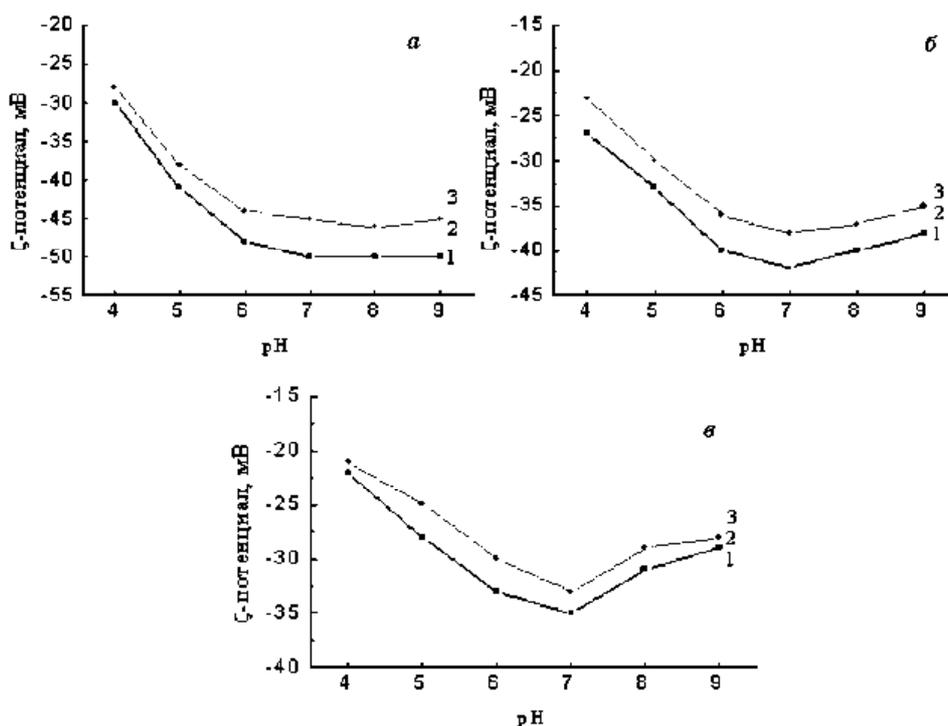


Рис. 1. ζ-потенциал коллоидов лугово-черноземной почвы (а), серой лесной (б) и дерново-подзолистой (в) — кривая 1, а также их агрегатов, полученных при метаболизме глюкозы (2) или полипептидов (3).

Заряд исследованных коллоидов, вероятно, тесно связан с присутствием органического вещества в их составе, и поэтому наиболее высокие отрицательные заряды обнаруживают коллоиды и агрегаты лугово-черноземной почвы, наиболее гумусированной из испытанных. Это предположение подтверждается результатами исследования [4], продемонстрировавшего повышение заряда коллоидов каолинита при взаимодействии с гуминовой кислотой.

Заряд изученных коллоидных частиц обусловлен ионизацией многочисленных поверхностных групп. В процессе агрегации происходит их частичное взаимное блокирование, приводящее к закономерному снижению количества заряженных групп и, соответственно, поверхностного заряда агрегатов.

Изучено также изменение показателей гидрофобности коллоидов трех типов почв в процессе биоагрегации. Методами анализа контактных углов/смачивания и Розенберга установлено, что в процессе биоагрегации происходит повышение показателей гидрофобности и контактного угла смачивания, особенно заметное в условиях алкалического метаболизма в лугово-черноземной почве (рис. 2). В

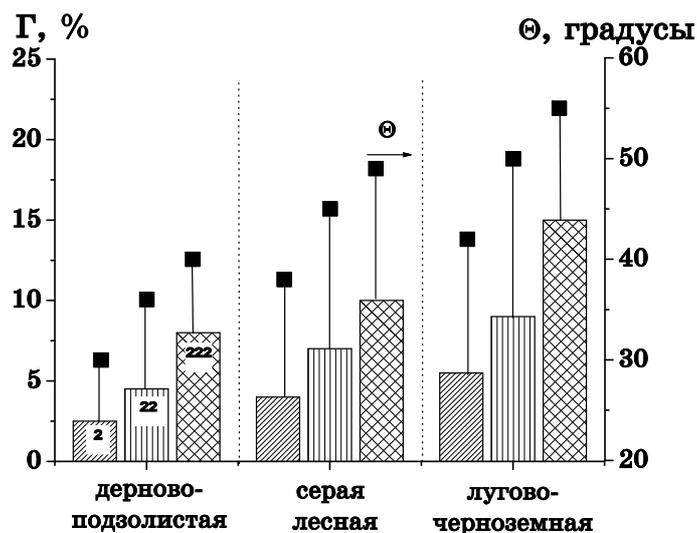


Рис. 2. Показатели гидрофобности (Γ , %) и контактные углы смачивания (θ) коллоидов дерново-подзолистой (а), серой лесной (б) и лугово-черноземной почв (в) — 1, а также их агрегатов, синтезированных в условиях ацидогенного (2) или алкалигенного (3) метаболизма.

литературе имеются косвенные указания на возможную повышенную гидрофобность фракции агрегатов по сравнению с иловой фракцией, которые были выделены из природной почвы методом ситового анализа в столбе жидкости [5].

Если заряд поверхности коллоидов связан с наличием и ионизацией ионогенных химических групп, то гидрофобность — напротив, с их отсутствием и локализацией на поверхности коллоидов участков гидрофобной природы (липополисахариды, полипептиды и т.д.). Известно [3], что даже химически идентичные коллоиды могут отличаться по показателю гидрофобности. Так, полисахариды с жесткой, плотной конформацией являются гидрофобными в отличие от рыхлых аналогов. Бактерии одного и того же вида с шероховатой поверхностью имеют более высокие показатели гидрофобности и заряда, чем клетки с гладкой поверхностью. Природные биокolloиды могут быть гетерогенны по показателю гидрофобности и величине ζ -потенциала. Например, в популяции дрожжей наибольшую гидрофобность обнаруживают слабозаряженные клетки [6]. У большинства микробных клеток наблюдается тенденция к возрастанию степени гидрофобности при старении [6]. Приведенная информация свидетельствует о сложном характере феномена гидрофобности и его связи с электроповерхностными свойствами в природных коллоидных системах.

Использование экспериментальных величин ζ -потенциалов поч-

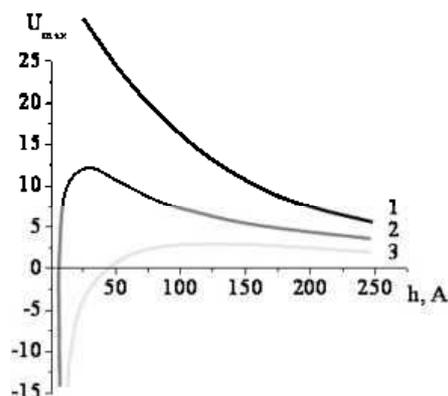


Рис. 3. Энергия ионно-электростатического взаимодействия частиц почвы и клеток/ассоциатов активного ила: 1) $\varphi_{\delta 1} = -47$ мВ, $\varphi_{\delta 2} = -35$ мВ (*B.cereus* ВКМ 4368–почва); 2) $\varphi_{\delta 1} = -47$ мВ, $\varphi_{\delta 2} = -12$ мВ (активный ил–почва, рН = 6); 3) $\varphi_{\delta 1} = -32$ мВ, $\varphi_{\delta 2} = -5$ мВ (активный ил–почва, рН = 4).

венных коллоидов, клеток *Bacillus cereus* ВКМ 4368 и активного ила для расчета энергии ионно-электростатического взаимодействия в многокомпонентных дисперсиях с помощью уравнения Hogg R., Nealy N., Fuerstenau D. [7] показало (рис. 3), что наиболее эффективно гетерокоагуляция будет происходить в системе активный ил–почвенные коллоиды, где компоненты существенно различаются по размерам, величине поверхностного заряда, гидрофобности.

При этом потенциалопределяющими являются частички меньших размеров — почвенные, которые при формировании агрегатов могут покрывать достаточно равномерным слоем более крупные коллоидные ассоциаты активного ила. Данный механизм определяет начальную стадию — преимущественно необратимую коагуляцию — процесса образования биоминеральных агрегатов.

Таким образом, установлена корреляция между повышенным содержанием органического вещества в почвах, увеличением гидрофобности и ослаблением поверхностного заряда почвенных коллоидов. В процессе биоагрегации коллоидов в почвенных системах, синтезируется значительное количество биоматериала, и для всех типов почв отмечено повышение гидрофобности и снижение отрицательного заряда почвенных агрегатов, особенно отчетливо выраженное в случае наиболее гумусированной лугово-черноземной почвы в условиях алкалического вектора метаболизма.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Н. Никовская, З. Р. Ульберг, Е. Н. Борисова, А. Г. Савкин, *Коллоидн. журн.*, **68**, № 3: 345 (2006).

2. В. С. Гузев, Г. Г. Жарикова, Д. Г. Звягинцев, *Микробиология*, **41**, № 4: 723 (1972).
3. R. J. Neufeld, J. E. Zajic, and D. F. Gerson, *Applied and Environmental Microbiology*, **39**, № 5: 511 (1980).
4. R. Kretzschmar, D. Hesterberg, and H. Sticher, *Soil Science Society of American Journal*, **61**, № 1: 101 (1997).
5. C. Chenu, Y. L. Bissonnais, and D. Arrouays, *Soil Science Society of American Journal*, **64**, № 6: 1474 (2000).
6. Е. В. Стабникова, А. С. Гордиенко, Б. С. Ксенофонтов, *Взаимодействие клеток с поверхностью раздела жидкость-газ* (Киев: Наукова думка: 1999).
7. R. Hogg, N. Healy, and D. Fuerstenau, *Trans. Farad. Soc.*, **18**: 85 (1954).