Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. Т. 4. Вып. 1 • 2013
Специальный выпуск СИСТЕМА ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ
Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time vol. 4, issue 1 Special issue 'The Earth Planet System'
Elektronische wissenschaftliche Auflage Almabtrieb 'Raum und Zeit' Band 4, Ausgabe 1 Spezialausgabe 'System Planet Erde'

УДК 631.4

Зубкова Т.А.

Почвенная матрица

Зубкова Татьяна Александровна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова
E-mail: dusy.taz@mail.ru

Матрица в почве — поверхность твердых частиц. Именно на матрице происходят все взаимодействия в почве. Матричный подход учитывает всю смесь твердых веществ почвы в отличие от традиционного подхода с разделением компонентов почвы на органические, неорганические, алюмосиликаты, глинистые минералы, легкорастворимые соли, микроорганизмы, питательные элементы и другие. Главная функция матрицы — организовывать в определенном порядке химические соединения, вещества, частицы, микроорганизмы и иммобилизацию ферментов.

В статье изложены основные положения матричного подхода, рассмотрены общие принципы матричной организации почв, ее влияние на протекающие в почве процессы.

Ключевые слова: почвенная матрица, минеральная, органическая и органоминеральная матрица, размеры и активность матрицы, матричный гумус, матричные процессы в почве, адгезия микроорганизмов, иммобилизация ферментов, каталитическая активность, агрегатное структурообразование, матричный механизм миграции частиц, степень межчастичного контактирования в почве.

Матрицы и матричные процессы

Термин «матрица» широко используется в различных областях науки и производства для обозначения явлений, имеющих место в природе и в искусственных средах. В полиграфии, литографии матрица — это основа, сделанная из металла, дерева, гипса и других материалов с каким-либо изображением на поверхности (рисунок, текст и т.п.). В результате ее использования получают копию изображения на бумаге, металле, дереве. В математике матрица — это таблицы, где данные располагаются в определенном порядке. В биохимии матричный синтез — процессы полимеризации и поликонденсации, при которых строение образующегося полимера или кинетика процесса определяются другими макромолекулами (матрицами). «Узнавание» матрицы растущей цепью — необходимая стадия матричного синтеза. Термин «матричный синтез» обычно используют при описании синтеза нуклеиновых кислот и белков, а при рассмотрении способов получения других полимеров пользуются такими терминами, как матричные полиреакции, полимеризация, поликонденсация.

В химии к матричному синтезу относятся химические реакции, в которых строение образующегося мономолекулярного органического соединения или кинетика процесса могут определяться атомом металла (темплатный синтез). Атом металла входит в состав соли или комплексного соединения и выполняет в матричном синтезе различные функции. Он координирует молекулы и тем самым ориентирует их реагирующие фрагменты; в этом случае образование целевого продукта без участия в реакции атома металла вообще не происходит. В ряде реакций образование целевого продукта может происходить и в отсутствии металла, хотя под влиянием последнего выход реакции существенно возрастает.

Работа ферментов (энзимов) также относится к матричным процессам. «Матричный эффект» в гетерогенном катализе — это когда строго упорядоченное расположение активных центров на поверхности катализатора, например, полимера, обусловливает расположение реагирующих молекул, способствующее их взаимодействию *[Иоффе и др. 1985]*. В общем случае катализатор избирательно действует на продукты реакции, задает направление процесса.

Обычно матричные реакции связывают с появлением жизни на Земле и воспроизводством генов, клеток, создания себе подобных живых структур. Но матричные процессы происходили еще задолго до появления жизни. В абиотической среде можно наблюдать и процессы воспроизводства себе подобных структур — это рост кристаллов. Кристаллизация представляет собой репликационный процесс, запрограммированный в активной структуре поверхности кристалла — подложки. На матрицах — поверхностях твердых тел — «записана» программа кристаллизации, включающая возникновение зародышей и их рост, повороты и миграцию образующихся на ранних стадиях осаждения микрокристаллов *[Дистлер и др. 1978]*. Кристаллы образуются в результате эпитаксиального роста: ориентированного наращивания чужого вещества на кристаллической поверхности, когда осаждающийся слой имеет ту же ориентировку, что и слой, лежащий под ним. Влияние кристалла имеет дальнодействующий эффект, что выражается в ориентирующем влиянии кристаллической поверхности на граничные жидкие слои, в результате которого последние приобретают полуупорядоченную структуру. Протяженность слоя исчисляется десятками ангстрем *[Дерягин 1964]*. Активность поверхности может проявляться через аморфные пленки толщиной до 100—150 нм *[Дистлер 1974]*. Таким образом, в процессах кристаллизации действуют механизмы, подобные механизмам в живой клетке: репликация, эпитаксия, дальнодействие и др.

В абиотической среде минералы как катализаторы участвуют в различных геохимических процессах. Глины могли играть важную роль в появлении жизни на Земле, в частности в образовании полимеров из *L, D, LD* форм аминокислот *[Degens et al. 1970, Jackson 1971]*. Каолинитовые глины катализировали преимущественно полимеризацию из *L*-изомеров аминокислот *[Degenset al. 1970]*. Возможно, именно этот факт избирательной каталитической активности каолинитовых глин сыграл положительную роль в создании хиральной чистоты биологических объектов. Минеральные наноматрицы (алюмосиликатная, силикатная) могли участвовать в сборке нуклеиновых кислот *[Кузнецов 2011]*. А.А. Кузнецов считает основную строительную единицу алюмосиликатов $[SiO_4]^{4-}$ переносчиком наследственной информации в процессах силификации, «ге́ном» неживой природы — условным аналогом ДНК *[Кузнецов 2011]*[1].

[1] См. также гипотезу о зарождении жизни в глине (clay hypothesis) А.Г. Кайрнс-Смита (Alexander Graham Cairns-Smith) *[Cairns-Smith, Hartman 1987].* Согласно концепции «мир РНК» (*RNA world*) живая материя возникла в результате матричного процесса, — когда на монтмориллонитовой матрице произошла первичная (спонтанная) полимеризации нуклеотидов, сорбированных монтмориллонитовой глиной *[Franchi, Gallori 2005; Ferris, Ertem 1992, 1993; Ertem. Ferris 1998; Ertem 2004; Hashizume et al. и мн. др.]*. При характерном для слоистых алюмосиликатов высоком сродстве к полинуклеотидам монтмориллонитовые и каолинитовые глины отличает повышенное сродство именно к одноцепочечным молекулам по сравнению с двуцепочечными *[Franchi et al. 2003]*. Более того, именно монтмориллонитовые и каолинитовые глины могут рассматриваться как первичная матрица не только неживой, но и живой природы.*[Cairns-Smith, Hartman 1987; Williams et al. 2005; Arizona State University 2005]*. (*Прим. ред.*).

Из вышеперечисленного следует, что матрицы и матричные процессы существуют в живой и неживой (абиотической) природе. Иными словами, все эти понятия о матрице объединяет следующее: любая матрица (твердое тело или часть его) способна формировать в определенной ориентации адсорбционный слой веществ, в котором проявляются ее свойства, т.е. организует все вокруг себя.

В одних случаях она может на 100% определять выход продуктов реакции (копия, типа печатная продукция в полиграфии или ДНК и белки в клетке организмов). В ряде случаев 10—20% воздействия матрицы перекрывается другими факторами (реакции в лабораторных условиях или в химико-технологических процессах). В процессах роста кристаллов влияние первоначальной матрицы далеко от 100%-ного копирования себя. Здесь многое зависит от свойств окружающей среды (температура, состав примесей, концентрация растворов и др.). Влияние матрицы на организацию веществ может проявляться и по какому-нибудь одному признаку. Например, по структуре образующегося полимера — матричный структурный эффект, по количеству точек роста на поверхности кристалла, по цвету и т.п..

Почвенная матрица: компоненты и характеристики

Матрица в почве — это поверхность твердых частиц, которая организует вещества вокруг себя в определенной закономерности, согласно свойствам самой поверхности этих частиц.

Необходимость выделения матрицы в почве продиктована следующими причинами. Во-первых, не вся почвенная масса участвует во взаимодействиях с растением, водой, воздухом, микроорганизмами, активна их тонкая оболочка — поверхность. Этот поверхностный слой почвенных частиц измеряется десятыми долями нанометров (ангстремами), и толщина его соотносится с диаметром почвенного коллоида как $1:10^4$—10^6. Следует обратить внимание на совпадение — в соотношении между литосферой и почвой наблюдается такой же порядок $1:10^6$.

Во-вторых, матричный подход учитывает всю смесь твердых веществ почвы в отличие от традиционного подхода с разделением компонентов почвы на органические, неорганические, алюмосиликаты, глинистые минералы, легкорастворимые соли, микроорганизмы, питательные элементы и др. Вопрос смесей — очень сложный. Дело в том, что выделенные из почвы конкретные компоненты, например, гуминовые кислоты, путем многочисленных экстракций и очищения от минеральных веществ, представляют собой нечто «третье», которого в почве нет. И свойства этого «третьего» вещества в почве могут «не работать» из-за присутствия других компонентов, смесей веществ.

Компоненты почвенной матрицы. Итак, матрица в почве — это поверхность твердых частиц, организующая вокруг себя определенным образом различные вещества: органические, минеральные, газы, организмы, иммобилизованные ферменты. Толщина такого поверхностного слоя — несколько молекулярных слоев. В зависимости от химического состава матрицы могут быть органическими, минеральными, органоминеральными. Причем органоминеральная матрица — это более высокая по организации структура, образующаяся в результате взаимодействия минеральной и органической матриц. Например, органическая матрица может быть представлена опадом, детритом, торфом. В нижних горизонтах, где нет органических веществ, — минеральная матрица, а в верхних гумусовых горизонтах — органоминеральная. Как правило, почвообразование начинается с исходной минеральной матрицы горной породы, которую условно принимают за почвенный «ноль-момент».

Характеристика почвенной матрицы. Матрица характеризуется размерами и активностью. За размер почвенной матрицы принимается ее удельная поверхность (по воде). Поверхность разная в зависимости от адсорбата: вода, бензол, азот, аммиак, пиридин, диоксиды серы, углерода и др. *[Тарасевич, Овчаренко 1975]*, однако для почв традиционно поверхность измеряется по адсорбции воды. По азоту и другим адсорбтивам данных значительно меньше. Минеральные матрицы с поверхностью порядка 5—15 м^2/г, и органоминеральные порядка 20—35 м^2/г можно отнести к слаборазвитым. Сильно развитая матрица имеет удельную поверхность — 40—60 м^2/г (минеральная) и 90—150 м^2/г (органоминеральная). Для сравнения, поверхность гумуса составляет несколько сотен метров: 300—600 м^2/г *[Орлов 1974]*, поэтому органическое вещество увеличивает размеры почвенной матрицы. Размеры матрицы — очень важная характеристика почвы и почвообразовательных процессов. Она отражает гранулометрический состав, степень межчастичного контактирования, порозность агрегатов и их механическую прочность (**табл. 1**).

Таблица 1

Размеры матрицы и физические свойства почвы

<table>
<tr><th>Размеры минеральной матрицы, м²/г</th><th>Размеры почвенной матрицы, м²/г</th><th>Гранулометрический состав</th><th>Степень межчастичного контактирования</th><th>Порозность агрегатов, %</th><th>Число контактов, 10¹⁰ см⁻²</th><th>Механическая прочность агрегатов, кПа</th></tr>
<tr><td>5—20</td><td>10—40</td><td rowspan="2">Легкий суглинок, средний суглинок</td><td rowspan="2">Минимальное</td><td rowspan="2">40—50 и ></td><td rowspan="2"><10</td><td rowspan="2">10—30</td></tr>
<tr><td>20—45</td><td>40—100</td></tr>
<tr><td rowspan="2">50—70</td><td rowspan="2">80—170</td><td>Тяжелый суглинок</td><td>Среднее</td><td>30—40</td><td>30—60</td><td>30—110</td></tr>
<tr><td>Глина</td><td>Максимальное</td><td>20—30</td><td>120—200</td><td>120—150</td></tr>
</table>

Оценить **активность почвенной матрицы**, т.е. химические свойства, сложнее, поскольку активность в почвенных процессах связана и со свойствами реагирующих с ней веществ (конфигурация, химический состав). Казалось бы, разбив условно почвенную частицу на две резко отличные по реакционной способности зоны: поверхность и внутренний объем, мы уже выделяем активную зону — матрицу. Но далеко не вся поверхность задействована в реакциях, участвуют лишь ее наиболее активные элементы, представляющие собой или отдельные центры или группу центров, или кластеры *[Пинский, 1999]*. К кластерам относятся также новообразованные на поверхности почвенных минералов ферромагнетики, парамагнетики *[Васильев и др. 1985; Бабанин и др.1995]*, оксиды и гидроксиды, разные соли. Активные центры составляют менее 1% от общей геометрической поверхности минеральных частиц. Эта их доля и представляет реальную активную зону в почвенной матрице.

Распределение центров по силе характеризует активность матрицы *[Зубкова, Карпачевский 2001]*. Влияние активных центров на формирование контактов между реагирующими веществами распространяется на расстояния до 150 нм *[Дистлер 1974, Degens et al. 1970]*. На активных центрах образуются контакты разной прочности с реагирующими веществами, а также осуществляются взаимодействия матриц друг с другом, происходит рост кристаллов, новообразований и формирование эпитаксиальных пленок *[Дистлер 1974, Козлова 1991]*. Причем, энергетическая неоднородность активных центров (**рис. 1**) создает пространство своего влияния (С—С1—А1—А), которое не совпадает с геометрической поверхностью минералов (В—В1) и расширяет ее (пунктирная ломаная линия, **рис. 1**).

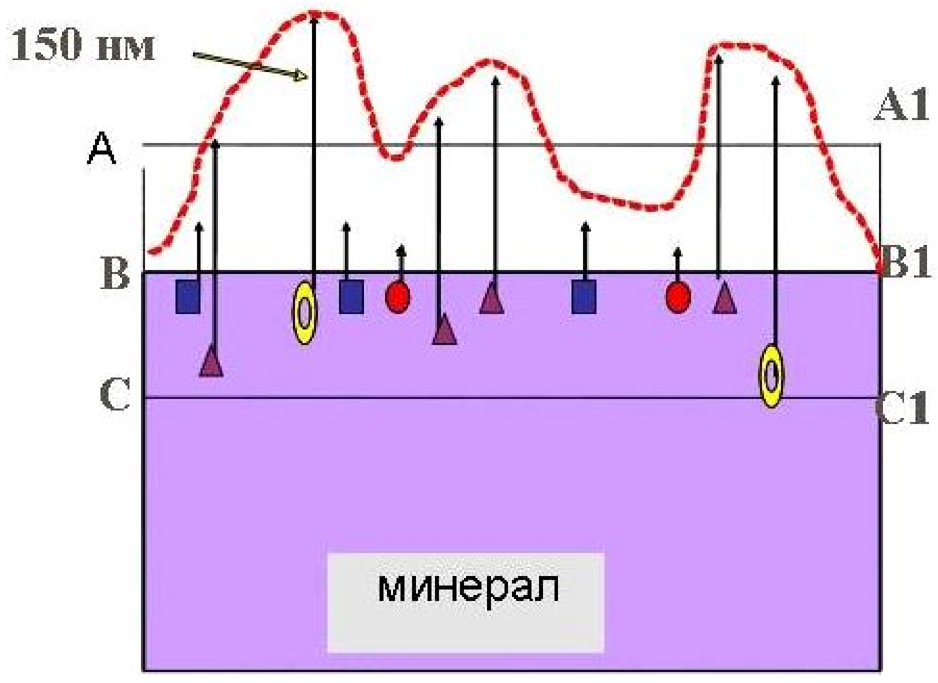
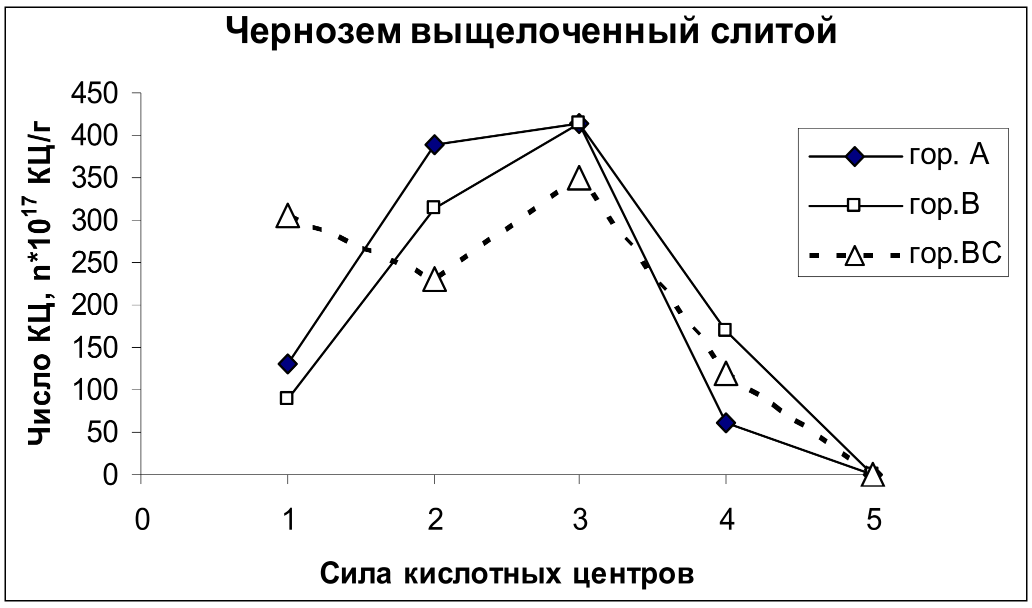
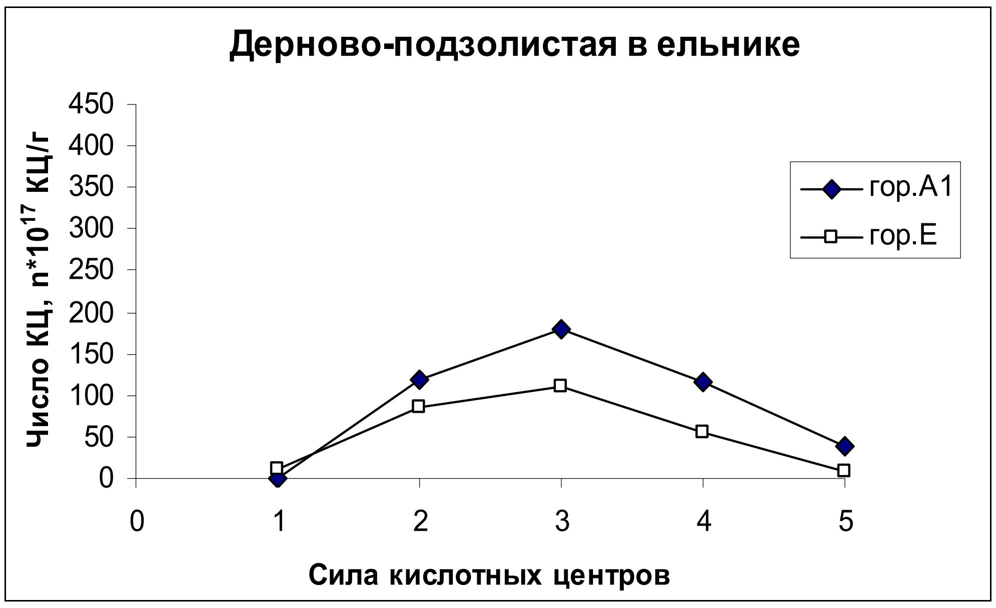


Рис. 1 Схема дальнодействия энергетически неоднородных активных центров минеральной матрицы

Таким образом, эффективная активная поверхность почвенных частиц как бы приподнята на некоторое расстояние от его геометрической поверхности. **Размеры матрицы** зависят от вещества, с которым она взаимодействует. В этом смысле эффективные размеры матрицы динамичны и определяются реагирующим веществом. Несмотря на то, что химическая активность матрицы переменчива и зависит от многих факторов, ее все-таки можно количественно оценить. Существуют индикаторы-тесты, соединения, по взаимодействию с которыми судят о степени кислотности, или основности матрицы, степень гидрофильности оценивают по воде.

Кислотность минеральной матрицы. Кислотно-основные свойства — одно из фундаментальных свойств минералов. С позиций кислотно-основных взаимодействий все соединения можно расположить в ряд по степени кислотности и основности, включая и твердые вещества *[Танабе1973]*. Это дает возможность прогнозировать характер их взаимодействий. Вода относится к слабым кислотам. Почвенная минеральная матрица проявляет кислотные свойства и характеризуется распределением кислотных центров по «силе» *[Зубкова, Карпачевский 2001]*. Причем, чем контрастнее свойства минеральной матрицы всего почвенного профиля, тем более дифференцирован почвенный профиль по горизонтам (**рис. 2**). Т.е. неоднородность исходного геологического субстрата сохраняется в почвенном профиле.





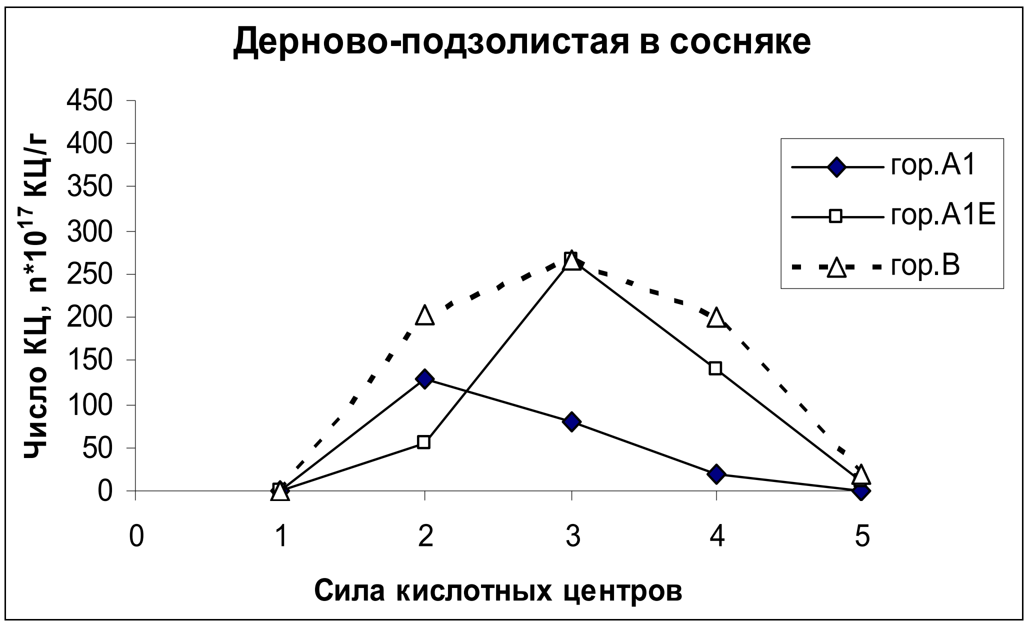


Рис. 2. Спектр кислотных центров по «силе» (**1**— очень слабые, **2** — слабые, **3** — средней силы, **4** — сильные и **5** — очень сильные) минеральных матриц разных почв и горизонтов.

Кислотность минеральной матрицы (концентрация кислотных центров) рассматривается не как неизменное свойство, а как некоторая потенциальная способность почвенной микроструктуры, которая может в той или иной мере проявиться при известных обстоятельствах. Таким образом, в почве есть матрица, и на ней происходят матричные процессы.

Матричные процессы в почве

К матричным процессам в почве относятся такие, в которых влияние матрицы прослеживается в образовании адсорбционных слоев, структур. Причем влияние может быть по какому-либо одному признаку, как, например, по количеству адсорбированных соединений, микроорганизмов, по высоте адсорбционного слоя, по кислотным свойствам (кислотная минеральная матрица формирует органоминеральную матрицу также с кислотными свойствами), по пористости и разветвленности адсорбционного слоя и т.п.

1. Матричный синтез в почвенных микроорганизмах — это предмет изучения молекулярной биологии, биохимии. Однако существуют чисто почвенные процессы, связанные с жизнедеятельностью организмов в почве — адгезия микроорганизмов на почвенной матрице и иммобилизация ферментов.

2. Адгезия микроорганизмов. Почти вся жизнь микроорганизмов (бактерии, актиномицеты, грибы, дрожжи, водоросли, простейшие) в почве тесно связана с почвенной матрицей. Они закреплены на ней, поэтому ограничены в передвижении и др. миграционных процессах. В дерново-подзолистых, подзолистых и серых лесных почвах около 50—60% клеток находятся в адгезированном состоянии. В богатой гумусом и тяжёлой по гранулометрическому составу перегнойно-глеевой почве и в черноземах уже более 90% клеток закреплено на поверхности твердых частиц *[Звягинцев 1987]*.Было обнаружено, что бактерии располагаются крайне неравномерно, причем нередко они занимают площадь в несколько процентов от общей поверхности. Это не связано с недостатком клеток, так как повторное насыщение клетками, а также использование более концентрированных суспензий микроорганизмов не приводит к увеличению адгезии. Артробактер занимает несколько процентов геометрической поверхности частиц, а клубеньковые бактерии — лишь сотые доли процента *[Звягинцев 1987]*. Вероятнее всего, именно на активных центрах почвенной матрицы и происходит удерживание микроорганизмов в почве, поскольку активные центры также составляют единицы процентов от общей геометрической поверхности матрицы. На почвенной матрице образуются микробные кластеры, играющие важную роль в фиксации азота из воздуха, в питании растений и пр. И возникает вопрос: так ли уж свободны микроорганизмы в почве, если они закреплены на матрице и ограничены в передвижении?

3. Иммобилизация ферментов также зависит от размеров матрицы *[Звягинцев 1973]*. Их фиксация на почвенной матрице связана с гибелью микроорганизмов и представляет собой эволюцию микробного кластера в ферментный. Иммобилизованные ферменты связаны с матрицей и способны катализировать сравнительно простенькие реакции (разложения, окисления, обмена, гидратации). Фактически отсутствуют (не удалось пока обнаружить) синтетазы.

4. Формирование матричного гумуса тесно связано с минеральной матрицей. 50% гумуса (диапазон колебаний 40—70%) прочно связано с минеральными компонентами. Водорастворимые органические соединения составляет лишь доли процента *[Яшин 1993]*, и почти весь гумус находится в адсорбированном состоянии *[Зубкова, Карпачевский 2001]*. Причем минеральная матрица определяет количество закрепленного на ней гумуса и некоторые его свойства. Так, верхние горизонты подзолистых почв содержат 1,5—3% гумуса, дерново-подзолистые — 3—6, черноземы — 5—12,светло-каштановые — до 3, лугово-каштановые — 4—6, бурые полупустынные — 1—1,5, желтоземы — 2—7, красноземы — 6—9, сероземы 1—3,5%. Этот предел определяется размерами матрицы: в почвах со слаборазвитой матрицей содержание гумуса всегда меньше по сравнению сболее развитой матрицей. Формирование гумуса происходитна минеральной матрице, которая проявляет каталитические свойства (хелатные соединения, оксиды, гидроксиды металлов, алюмосиликаты, глины).

5.Каталитические реакции. В почве каталитические реакции осуществляются как ферментами, так и минеральными катализаторами. Так, глинистые минералы (смектиты, каолиниты и др.) ускоряют процессы формирования высокомолекулярных гумусоподобных веществ; оксиды, гидроксиды марганца, железа — реакции разложения, окисления *[Зубкова, Карпачевский 2008]*.

6. Структурообразование. Почвенные матрицы взаимодействуют друг с другом и с растворенными веществами с образованием контактов разной прочности (**рис. 3**).На макроуровне это проявляется в формировании агрегатной структуры. Механическая прочность агрегатов пропорциональна размерам матрицы и числу контактов (**рис. 4**).

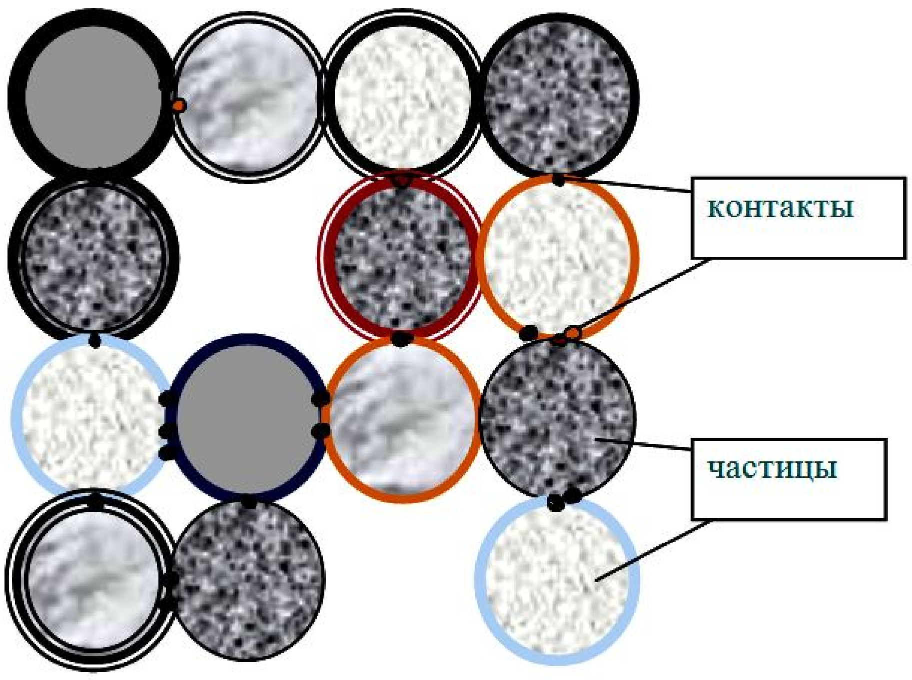


Рис. 3. Схема взаимодействия матриц с формированием контактов

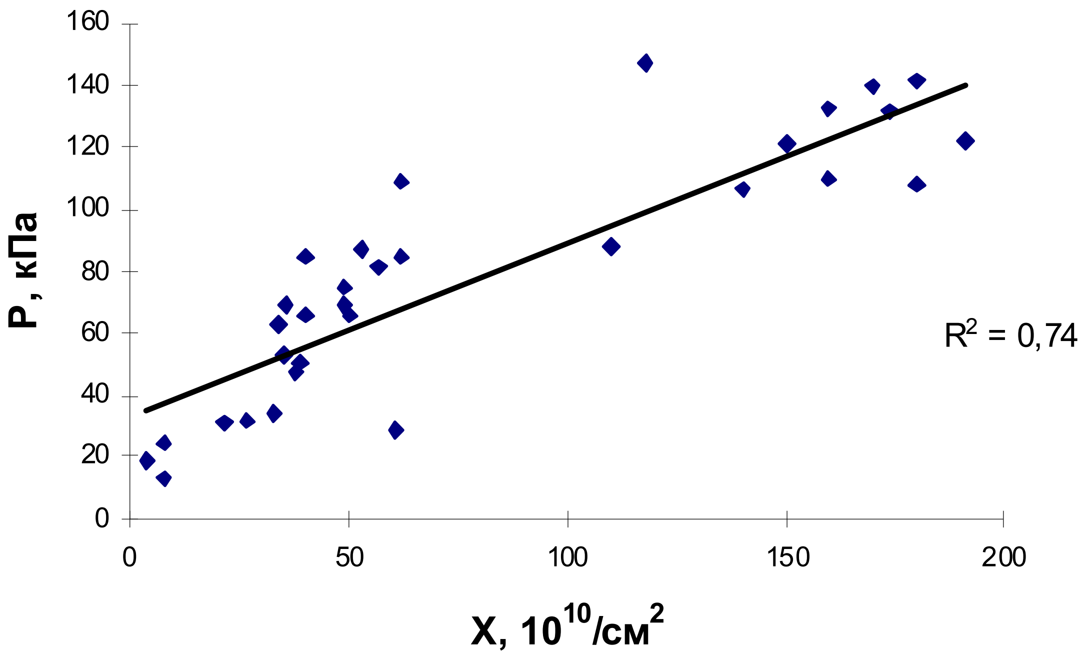


Рис. 4. Механическая прочность агрегатов в зависимости от числа контактов.

Контакты определяют и степень межчастичного контактирования: чем больше контактов, тем ближе частицы друг к другу, меньше объем порового пространства, плотнее структура (**рис. 1**). С межчастичным контактированием связана важная функция почвы — трансляция молекулярных свойств, и матричных в том числе, на более высокие структурные уровни (агрегатный, горизонтный) *[Зубкова, Карпачевский 2001]*. **Рис. 5** показывает механизм трансляции единицы информации с молекулярного уровня на агрегатный и связь со степенью межчастичного контактирования, которая обусловлена матрицей.

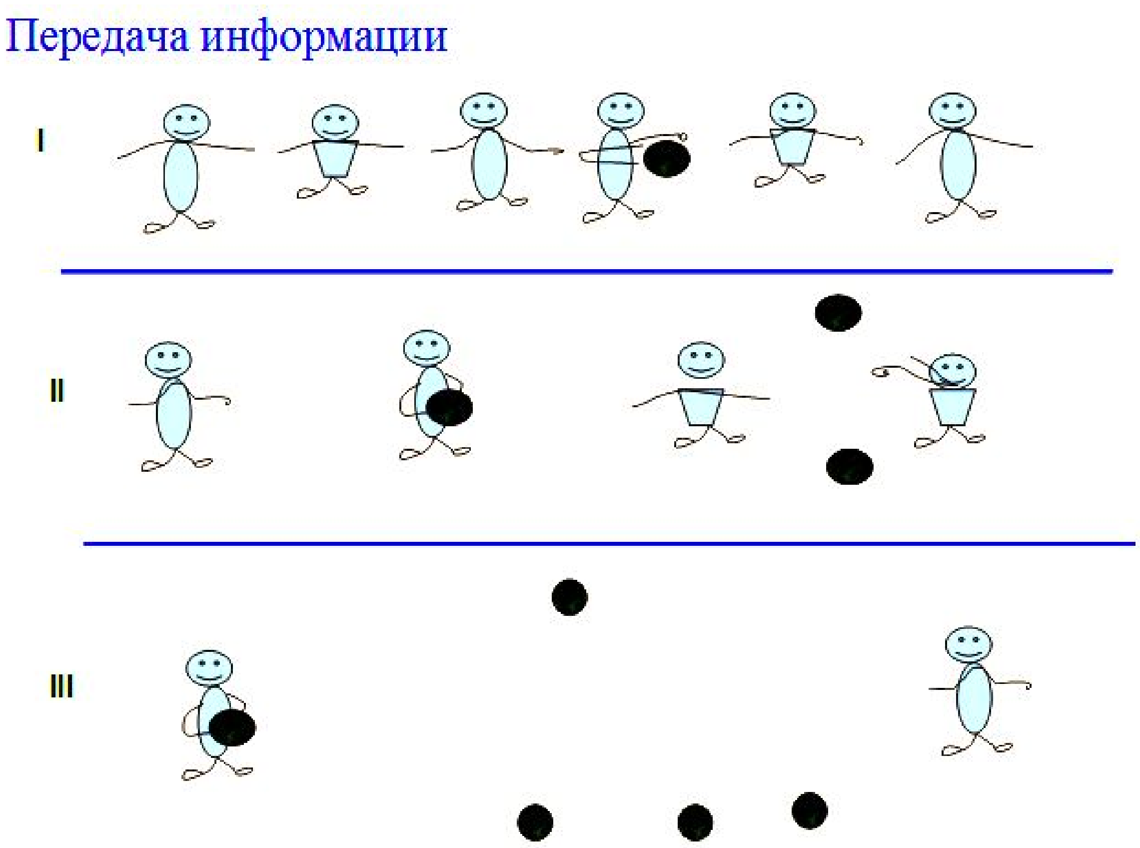


Рис. 5. Схема передачи информации (на рисунке символически изображена в виде арбузов) в 3-х вариантах: **I** — максимальное межчастичное контактирование, **II** — среднее, **III** — минимальное.

При минимальной степени межчастичного контактирования (на **рис. 5** человечки стоят далеко друг от друга, вариант III) часть информации (на **рис. 5** схематично изображена в виде шаров-«арбузов») теряется при передаче от одного человека к другому. При тесном контактировании (на рисунке человечки стоят на расстоянии вытянутой руки, вариант I), скорее всего, все шары дойдут до цели. Так наше схематичное изображение позволяют визуализировать вывод о том, что размеры почвенной матрицы играют существенную роль в процессах трансляции молекулярных свойств на макроуровень.

Структурные параметры почвы задают направленность этого процесса, а также могут ставить запреты на некоторые из них: при «минимальном» межчастичном контактировании они играют роль барьера, при максимальном — наблюдается трансляция молекулярных взаимодействий на свойства агрегатов. Подтверждением тому многообразие агрегатов и их приуроченность к типам почвообразования: зернистая структура характерна для черноземов, ореховатая — для серых лесных почв, комковатая — для пахотных горизонтов, призматические агрегаты — для иллювиальных горизонтов. Все это — итог матричных взаимодействий, в которых остается много неясного. К матричным процессам в почве относятся также и многие другие — кристаллизация, старение, формирование почвенных новообразований, **новых матричных кластеров** (соединений железа, фосфора, легкорастворимых солей).

Таким образом, матрица ответственна за многие почвообразовательные процессы — формирование матричного гумуса, агрегатной структуры, иммобилизации микроорганизмов и ферментов и проч. Менее известен матричный механизм миграции частиц в почве.

Матричный механизм миграции частиц в почве. Почвенная матрица образует вокруг себя адсорбционный слой из воды, органических, минеральных соединений, а также из микроорганизмов и ферментов. Адсорбционный слой является диффузионной границей раздела фаз: «твердый» атом и «жидкий» атом, частицы в нем сохраняют значительную свободу в передвижении по поверхности твердой частицы. Миграция частиц и соединений в почве возможна не только в почвенном растворе, но и по матрице — так называемая поверхностная диффузия. М.К. Мельникова и С.В. Ковеня *[Мельникова, Ковеня 1974]* в опытах с радиоактивной меткой $BaSO_4$ показали, что перенос высокодисперсных частиц в почве размером менее 0,5 мк происходит не с раствором, а диффузионным путем в адсорбционном матричном слое (в слое пленочной воды). Формирование этих слоев — прямая функция почвенной матрицы.

Матрица и экологические функции почвы. В почву поступают загрязняющие вещества. Токсичность некоторых соединений связывают с функциональными группами. Если эти соединения (ПАУ, пестициды и др.) закрепляются на активных центрах почвенной матрицы с образованием связи по типу «ключ-замок», то их функциональные группы могут блокироваться с потерей токсичных свойств. Но реально возможны и другие варианты. Так, токсичность прионов (инфекционных частиц белковой природы) в связке с минералами возрастала, а не снижалась, причем с монтмориллонитом — в 700 раз *[Зубкова и др. 2013]*. Матричный подход в изучении поведения веществ в почве показывает, что не вся почвенная масса участвует в аккумуляции загрязнителей, а лишь тонкая оболочка-матрица. Поэтому в почве образуются локальные участки, где концентрация ксенобиотиков может значительно превышать концентрацию, рассчитанную на общую массу почвы.

Заключение

Почвенная матрица как поверхность почвенных частиц — это арена, на которой осуществляются все взаимодействия в почве. Основная функция матрицы — организовывать в определенном порядке вокруг себя химические соединения, вещества, частицы, микроорганизмы и иммобилизацию ферментов. Матрица имеет размеры и химическую активность, часть из них унаследованы почвой от горной породы. К матричным процессам в почве относятся такие, в которых прослеживается влияние матрицы. Это — адгезия микроорганизмов, иммобилизация ферментов, формирование матричного гумуса, каталитические реакции, агрегатное структурообразование, Матричный механизм миграции частиц в почв. К матричным процессам в почве относятся также и многие другие: кристаллизация, старение, формирование почвенных новообразований, новых матричных кластеров (соединений железа, фосфора, легкорастворимых солей).

Матричная организация почвы позволяет проследить взаимодействия частиц разных структурных уровней, установить закономерности передачи информации о молекулярных контактах на макросвойства (агрегаты, горизонт, почвенный профиль). Структурные параметры почвы задают направленность этого процесса, а также могут ставить запреты на некоторые из них: при «минимальном» межчастичном контактировании они играют роль барьера, при максимальном — наблюдается трансляция молекулярных взаимодействий на свойства агрегатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В. Магнетизм почв. М. — Ярославль: Издательство ЯГТУ, 1995. 222 с.
2. Васильев С.В., Бабанин В.Ф., Соловьев А.А. Исследования переходов $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ в процессе выветривания методом ядерной гамма-резонансной спектроскопии // Литология и полезные ископаемые. 1986. № 2. С. 136—141.
3. Дерягин Б.В. Исследования в области поверхностных сил. М.: Наука, 1964. 363 с.
4. Дистлер Г.И. Информационные свойства твердых и жидких граничных слоев // Поверхностные силы в тонких пленках и устойчивость коллоидов. М.: Наука, 1974. С. 273—285.
5. Дистлер Г.И., Власов В.П., Герасимов С.А., Кобзарева С.А., Кортукова Е.И., Лебедева В.Н., Москвин В.В., Шенявская Л.А. Декорирование поверхности твердых тел. М.: Наука, 1976. 112 с.
6. Звягинцев Д.Г. Взаимодействие микроорганизмов с твёрдыми поверхностями. М.: Изд-во МГУ, 1973. 215 с.
7. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.
8. Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Катализаторы в почве // Химия и жизнь XXI век. 2008. № 6. С. 26—29.
9. Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. Матричная организация почв. М.: Русаки, 2001. 298 с.
10. Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О., Ашинов Ю.Н. Почва как фактор здоровья человека // Пространство и Время. 2013. № 2(12). С. 207—219.
11. Иоффе И.И., Решетов В.А., Добротворский А.М. Гетерогенный катализ. Л.: Химия, 1985. 224 с.
12. Козлова О.Г. Морфолого-генетический анализ кристаллов. М.: Изд. МГУ, 1991. 224 с.
13. Кузнецов А.А. Что такое жизнь с точки зрения петролога? (К космогеобиохимической модели возникновения преджизни) // Система "Планета Земля". М.: ЛЕНАНД, 2011. С. 172—210.
14. Мельникова М.К., Ковеня С.В. Влияние физико-химических свойств почвы на перемещение глинистых суспензий по профилю // Почвоведение. 1974. № 11. С. 45—50.
15. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почвы. М.: Изд. МГУ, 1974. 332 с.
16. Пинский Д.Л. Физико-химические взаимодействия в почвах и их роль в поведении и функциях загрязняющих веществ // Экология и почвы. Избранные лекции VIII—IX Всероссийских школ. М.: ПОЛ-ТЕКС. 1999. С. 81—89.
17. Танабе К. Твердые кислоты и основания. М.: Мир, 1973. 184 с.
18. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. Киев: Наукова думка, 1975. 351 с.
19. Яшин И.М. Водорастворимые органические вещества почв таежной зоны и их экологические функции: Автореф. дисс. … докт. биол. наук. М.: МСХА. 1993. 32 с.
20. Arizona State University. "Clay Material May Have Acted As 'Primordial Womb' For First Organic Molecules." *ScienceDaily*, 12 Nov. 2005. Web. 18 Nov. 2013. <http://www.sciencedaily.com/releases/2005/11/051112125422.htm>.

21. Baldock J.A, Skjemstad J.O "Role of the Soil Matrix and Minerals in Protecting Natural Organic Materials Against Biological Attack." *Organic Geochemistry* 31.7–8 (July 2000): 697—710.
22. Barthel M,, Sturm P,, Knohl A. "Soil Matrix Tracer Contamination and Canopy Recycling Did Not Impair $^{13}CO_2$ Plant-soil Pulse Labelling Experiments." *Isotopes Environ. Health Stud*. 47.3 (Sept. 2011): 359—371. doi: 10.1080/10256016.2011.587610.
23. Cai P., Huang Q.-Y., Zhang X.-W. "Interactions of DNA with Clay Minerals and Soil Colloidal Particles and Protection Against Degradation by DNase." *Environ. Sci. Technol*. 40.9 (2006): 2971—2976. doi: 10.1021/es0522985.
24. Cairns-Smith A.G. and Hartman H. eds. *Clay Minerals and the Origin of Life*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 208 p.
25. Degens E.T., Matheja J., Jackson T.A. "Template Catalysis: Asymmetric Polymerization of Amino Acids on Clay Minerals." *Nature* 277 (1970): 492—493.
26. Ertem G. "Montmorillonite, Oligonucleotides, RNA and Origin of Life." *Orig. Life Evol. Biosph*. 34 (2004); 549—570.
27. Ertem G., Ferris J.P. "Formation of RNA Oligomers on Montmorillonite: Site of Catalysis." *Orig. Life Evol. Biosph*. 28 (1998): 485—499.
28. Ertem G., Lagaly G. "Matrix Effects of Solid Surfaces on Bimolecular Films." *J. Colloid Interface Sci*. 66 (1978): 12—19.
29. Ferris J.P., Ertem G. "Oligomerization of Ribonucleotides on Montmorillonite: Reaction of the 5'-phosphorimidazolide of Adenosine." *Science* 257 (1992): 1387—1389.
30. Ferris J.P., Ertem G. "Montmorillonite Catalysis of RNA Oligomer Formation in Aqueous Solution. a Model for the Prebiotic Formation of RNA." *J. Am. Chem. Soc*. 115 (1993): 12270—12275.
31. Franchi M., Ferris J. P., Gallori E. "Cations as Mediators of the Adsorption of Nucleic Acids on Clay Surfaces in Prebiotic Environments." *Orig. Life Evol. Biosph.* 33 (2003): 1—16.
32. Franchi M., Gallori E. "A Surface-mediated Origin of the RNA World: Biogenic Activities of Clay-adsorbed RNA Molecules." *Gene*. 346 (2005): 205—214.
33. Hashizume H., van der Gaast S., Theng B.K.G. "Adsorption of Adenine, Cytosine, Uracil, Ribose, and Phosphate by Mg-exchanged Montmorillonite." *Clay Minerals* 45.4 (December 2010): 469—475.
34. Jackson T.A. "Preferential Polymerization and Adsorption of L-optical Isomers on Kaolinite Templates." *Chemical Geology*. 7 (1971): 295—306.
35. Turkall R.M.; Skowronski G.A., Abdel-Rahman M.S. "Effects of Soil Matrix and Aging on the Dermal Bioavailability of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Soil." *International Journal of Soil Sediment and Water* 2.1 (2009): article 4. Web. <http://scholarworks.umass.edu/intljssw/vol2/iss1/4>.
36. Williams L.B., Canfield B., Voglesonger K.M., Holloway J.R. "Organic Molecules Formed in a “Primordial Womb”." *Geology*, November 33 (2005): 913—916.

Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11—2011:
Зубкова, Т. А. Почвенная матрица [Электронный ресурс] / Т.А. Зубкова // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. — 2013. — Т. 4. — Вып. 1: Система планета Земля — Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-aprovr_e-ast4-1.2013.51

SOIL MATRIX

Tatiana A. Zubkova, D.Sc. (Biology), Leading Researcher at Pedology Department of Lomonosov Moscow State University
E-mail: dusy.taz@mail.ru

Soil matrix is a surface of particles. There are all interactions in the soil on a matrix. Matrix approach takes into account the whole mixture soil solids as opposed to the traditional approach with a separation of soil components on the organic, inorganic, aluminum silicate, clay minerals, highly soluble salts, microorganisms, nutrients and other.

This article focuses on the structural and spatial organizing role of soil matrix. Article is a conceptual generalization of some Russian and foreign researching in this field and my own previous studies. Object of my researches is a mineral matrix in different soils, the horizons and soil formation rocks. Based on an analysis of data from these studies in my article, I show that the main function of a matrix is to organize chemical compounds, substances, particles, microorganisms and enzymes immobilization in a certain order. The matrix has the sizes and chemical activity, part of ones is inherited by the soil from rock. I determined the matrix sizes by isotherms of adsorption-desorption of water vapors (BET method), and acidity by a method of the programmed thermal ammonia desorption. the effect of soil matrix in terms of the matrix processes, such as adhesion of microorganisms, immobilization of enzymes, formation of a humic matrix, catalytic reactions, aggregates formations, the matrix mechanism of particles migration in the soil. Crystallization, genesis of new soil formations and new matrix clusters (compounds of iron, phosphorous, soluble salts) is also the matrix processes.

I conclude the matrix organization of soil allows determining consistent patterns of information transfer about molecular contacts on macro level (aggregates, the horizons, a soil profile). Structural parameters of the soil set the direction of this process, and it may be subject to bans on some of ones. These parameters play a barrier role at the minimal interparticle interaction, and its translation on properties of aggregates takes place at maximal one.

Keywords: soil matrix, mineral, organic and organic-mineral matrix, matrix sizes and activity, humic matrix, matrix processes in soil, adhesion of microorganisms, enzymes immobilization, catalytic activity, aggregate structure formation, matrix mechanism of particles migration, degree of interparticle interaction in soil.

References:

1. Arizona State University. "Clay Material May Have Acted As 'Primordial Womb' For First Organic Molecules." *ScienceDaily*, 12 Nov. 2005. Web. 18 Nov. 2013. <http://www.sciencedaily.com/releases/2005/11/051112125422.htm>.
2. Babanin V.F., Trukhin V.I., Karpachevskiy L.O., Ivanov A.V., Morozov V.V. *Soil Magnetism*. Moscow — Yaroslavl: YaGTU Publisher, 1995. 222 p. (In Russian).
3. Baldock J.A, Skjemstad J.O "Role of the Soil Matrix and Minerals in Protecting Natural Organic Materials Against Biological Attack." *Organic Geochemistry* 31.7–8 (July 2000): 697—710.
4. Barthel M,, Sturm P,, Knohl A. "Soil Matrix Tracer Contamination and Canopy Recycling Did Not Impair $^{13}CO_2$ Plant-soil Pulse Labelling Experiments." *Isotopes Environ. Health Stud*. 47.3 (Sept. 2011): 359—371. doi: 10.1080/10256016.2011.587610.
5. Cai P., Huang Q.-Y., Zhang X.-W. "Interactions of DNA with Clay Minerals and Soil Colloidal Particles and Protection Against Degradation by DNase." *Environ. Sci. Technol.* 40.9 (2006): 2971—2976. doi: 10.1021/es0522985
6. Cairns-Smith A.G. and Hartman H. eds. *Clay Minerals and the Origin of Life.* Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 208 p.
7. Degens E.T., Matheja J., Jackson T.A. "Template Catalysis: Asymmetric Polymerization of Amino Acids on Clay Minerals." *Nature* 277 (1970): 492—493.
8. Deryagin B.V. *Research in Surface Forces*. Moscow: Nauka Publisher, 1964. 363 p. (In Russian).
9. Distler G.I. "Information Properties of Solid and Liquid Boundary Layers." *Surface Forces in Thin Films and Colloids Stability.* Moscow: Nauka Publisher, 1974, pp. 273—285. (In Russian).
10. Distler G.I., Vlasov V.P., Gerasimov S.A., Kobzareva S.A., Kortukova E.I., Lebedeva V.N., Moskvin V.V., Shenyavskaya L.A. *Decorating Surface of Solids.* Moscow: Nauka Publisher, 1976. 112 p. (In Russian).
11. Ertem G. "Montmorillonite, Oligonucleotides, RNA and Origin of Life." *Orig. Life Evol. Biosph.* 34 (2004): 549—570.
12. Ertem G., Ferris J.P. "Formation of RNA Oligomers on Montmorillonite: Site of Catalysis." *Orig. Life Evol. Biosph.* 28 (1998): 485—499.
13. Ertem G., Lagaly G. "Matrix Effects of Solid Surfaces on Bimolecular Films." *J. Colloid Interface Sci.* 66 (1978): 12—19.
14. Ferris J. P., Ertem G. "Oligomerization of Ribonucleotides on Montmorillonite: Reaction of the 5'-phosphorimidazolide of Adenosine." *Science* 257 (1992): 1387—1389.
15. Ferris J.P., Ertem G. "Montmorillonite Catalysis of RNA Oligomer Formation in Aqueous Solution. a Model for the Prebiotic Formation of RNA." *J. Am. Chem. Soc*. 115 (1993): 12270—12275.
16. Franchi M., Ferris J. P., Gallori E. "Cations as Mediators of the Adsorption of Nucleic Acids on Clay Surfaces in Prebiotic Environments." *Orig. Life Evol. Biosph.* 33 (2003): 1—16.
17. Franchi M., Gallori E. "A Surface-mediated Origin of the RNA World: Biogenic Activities of Clay-adsorbed RNA Molecules." *Gene*. 346 (2005): 205—214.
18. Hashizume H., van der Gaast S., Theng B.K.G. "Adsorption of Adenine, Cytosine, Uracil, Ribose, and Phosphate by Mg-exchanged Montmorillonite." *Clay Minerals* 45.4 (December 2010): 469—475.
19. Ioffe I.I., Reshetov V.A., Dobrotvorskiy A.M. *Heterogeneous Catalysis.* Leningrad: Khimiya Publisher, 1985, 224 p. (In Russian).

20. Jackson T.A. "Preferential Polymerization and Adsorption of L-optical Isomers on Kaolinite Templates." *Chemical Geology*. 7 (1971): 295—306.
21. Kozlova O.G. *Morphological and Genetic Crystals Analysis.* Moscow: MGU Publisher, 1991. 224 p. (In Russian).
22. Kuznetsov A.A. "What Is Life from the Point of View of Petrology? (To Cosmic and Geo-biochemical Model of a Prelife)." *System 'Planet Earth'.* Moscow: LENAND Publisher, 2011, pp. 172—210. (In Russian).
23. Melnikova M.K., Kovenya S.V. "Effect of Physical and Chemical Properties of Soil on the Movement of Clay Suspensions on the Profile." *Soil Science* 11 (1974): 45—50. (In Russian).
24. Orlov D.S. *Humic Acids of Soil.* Moscow: NGU Publisher, 1974. 332. (In Russian).
25. Pinsky D.L. "Physical and Chemical Interactions in Soils and Their Role in the Behavior and Function of Pollutants." *Ecology and Soil. Selected Lectures of VIII – IX All-Russian Schools.* Moscow: POL-TEKS Publisher, 1999, pp. 81—99. (In Russian).
26. Tanabe K. *Solid Acids and Bases.* Moscow: Mir Publisher, 1973. 184 p. (In Russian).
27. Tarasevich Yu.I., Ovcharenko F.D. *Adsorption on Clay Minerals.* Kiev: Naukova dumka Publisher, 1975. 351 p. (In Russian).
28. Turkall R.M.; Skowronski G.A., Abdel-Rahman M.S. "Effects of Soil Matrix and Aging on the Dermal Bioavailability of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Soil." *International Journal of Soil Sediment and Water* 2.1 (2009): article 4. Web. <http://scholarworks.umass.edu/intljssw/vol2/iss1/4>.
29. Vasil'ev S.V., Babanin V.F., Solov'ev A.A. "Study of the Transition $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ in the Weathering Process by Nuclear Gamma Resonance Spectroscopy." *Lithology and Mineral Resources* 2 (1986): 136—141. (In Russian).
30. Williams L.B., Canfield B., Voglesonger K.M., Holloway J.R. "Organic Molecules Formed in a 'Primordial Womb'." *Geology* 33 (November 2005): 913—916.
31. Yashin I.M. *Water-soluble Organic Matter Soils of the Taiga Zone and Their Ecological Functions.* Synopsis of Doctoral diss. Moscow: MSKhA Publisher, 1993. 32 p. (In Russian).
32. Zubkova T.A., Karpachevsky L.O. "Catalysts in the Soil." *Chemistry and Life XXI Century* 6 (2008): 26—29. (In Russian).
33. Zubkova T.A., Karpachevsky L.O. *Matrix Organization of Soil.* Moscow: Rusaki, 2001. 298 p. (In Russian).
34. Zubkova T.A., Karpachevsky L.O., Ashinov Yu.N. "Soil as the Factor of Human Health." *Prostranstvo i Vremya [Space and Time]* 2(12) (2013): 207—219. (In Russian).
35. Zvyagintsev D.V. *Microorganisms Interaction with Solid Surfaces.* Moscow: MGU Publisher, 1973 215 p. (In Russian).
36. Zvyagintsev D.V. *Soil and Microorganisms.* Moscow: MGU Publisher, 1987. 256 p. (In Russian).

Cite MLA 7:

Zubkova, T. A. "Soil Matrix." *Elektronnoe nauchnoe izdanie Al'manakh Prostranstvo i Vremya, Spetsialny vypusk Sistema planeta Zemlya [Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time. Special Issue 'The Earth Planet System']* 4.1 (2013). Web. <2227-9490e-aprovr_e-ast4-1.2013.51>. (In Russian).